



ENGENHARIA NA PRÁTICA:

IMPORTÂNCIA TEÓRICA E TECNOLÓGICA

FRANCIELE BRAGA MACHADO TULLIO
(ORGANIZADORA)

**Atena**
Editora
Ano 2020



ENGENHARIA NA PRÁTICA:

IMPORTÂNCIA TEÓRICA E TECNOLÓGICA

FRANCIELE BRAGA MACHADO TULLIO
(ORGANIZADORA)

 **Atena**
Editora
Ano 2020

Editora Chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Assistentes Editoriais

Natalia Oliveira

Bruno Oliveira

Flávia Roberta Barão

Bibliotecário

Maurício Amormino Júnior

Projeto Gráfico e Diagramação

Natália Sandrini de Azevedo

Camila Alves de Cremona

Karine de Lima Wisniewski

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

Imagens da Capa

Shutterstock

Edição de Arte

Luiza Alves Batista

Revisão

Os Autores

2020 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2020 Os autores

Copyright da Edição © 2020 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. 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.

A Atena Editora não se responsabiliza por eventuais mudanças ocorridas nos endereços convencionais ou eletrônicos citados nesta obra.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação.

Conselho Editorial

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas

Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná

Prof. Dr. Américo Junior Nunes da Silva – Universidade do Estado da Bahia

Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior – Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais

Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília

Prof. Dr. Carlos Antonio de Souza Moraes – Universidade Federal Fluminense
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Daniel Richard Sant’Ana – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia
Profª Drª Dilma Antunes Silva – Universidade Federal de São Paulo
Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá
Prof. Dr. Elson Ferreira Costa – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima
Prof. Dr. Gustavo Henrique Cepolini Ferreira – Universidade Estadual de Montes Claros
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Prof. Dr. Jadson Correia de Oliveira – Universidade Católica do Salvador
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Prof. Dr. Luis Ricardo Fernandes da Costa – Universidade Estadual de Montes Claros
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Pontifícia Universidade Católica de Campinas
Profª Drª Maria Luzia da Silva Santana – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. William Cleber Domingues Silva – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano
Profª Drª Carla Cristina Bauermann Brasil – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – Universidade Federal da Grande Dourados
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Profª Drª Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia
Prof. Dr. Écio Souza Diniz – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Fágner Cavalcante Patrocínio dos Santos – Universidade Federal do Ceará
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Jael Soares Batista – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Profª Drª Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Profª Drª Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

Ciências Biológicas e da Saúde

Prof. Dr. André Ribeiro da Silva – Universidade de Brasília
Prof^ª Dr^ª Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás
Prof^ª Dr^ª Débora Luana Ribeiro Pessoa – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Douglas Siqueira de Almeida Chaves -Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Prof^ª Dr^ª Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília
Prof^ª Dr^ª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina
Prof^ª Dr^ª Eysler Gonçalves Maia Brasil – Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira
Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof^ª Dr^ª Gabriela Vieira do Amaral – Universidade de Vassouras
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Helio Franklin Rodrigues de Almeida – Universidade Federal de Rondônia
Prof^ª Dr^ª Iara Lúcia Tescarollo – Universidade São Francisco
Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Jefferson Thiago Souza – Universidade Estadual do Ceará
Prof. Dr. Jesus Rodrigues Lemos – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Jônatas de França Barros – Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof. Dr. Luís Paulo Souza e Souza – Universidade Federal do Amazonas
Prof^ª Dr^ª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Marcus Fernando da Silva Praxedes – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof^ª Dr^ª Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma
Prof^ª Dr^ª Natiéli Piovesan – Instituto Federaci do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Dr. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados
Prof^ª Dr^ª Regiane Luz Carvalho – Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino
Prof^ª Dr^ª Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora
Prof^ª Dr^ª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof^ª Dr^ª 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. Alexandre Leite dos Santos Silva – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás
Prof^ª Dr^ª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Prof^ª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Prof^ª Dr^ª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá

Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Linguística, Letras e Artes

Profª Drª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Angeli Rose do Nascimento – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro
Profª Drª Carolina Fernandes da Silva Mandaji – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Profª Drª Denise Rocha – Universidade Federal do Ceará
Prof. Dr. Fabiano Tadeu Grazioli – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Profª Drª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná
Profª Drª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará
Profª Drª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste
Profª Drª Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia

Conselho Técnico Científico

Prof. Me. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo
Prof. Me. Adalberto Zorzo – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza
Prof. Me. Adalto Moreira Braz – Universidade Federal de Goiás
Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba
Prof. Dr. Adilson Tadeu Basquerote Silva – Universidade para o Desenvolvimento do Alto Vale do Itajaí
Prof. Me. Alexsandro Teixeira Ribeiro – Centro Universitário Internacional
Prof. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão
Profª Ma. Anne Karynne da Silva Barbosa – Universidade Federal do Maranhão
Profª Drª Andrezza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Profª Drª Andrezza Miguel da Silva – Faculdade da Amazônia
Prof. Dr. Antonio Hot Pereira de Faria – Polícia Militar de Minas Gerais
Prof. Me. Armando Dias Duarte – Universidade Federal de Pernambuco
Profª Ma. Bianca Camargo Martins – UniCesumar
Profª Ma. Carolina Shimomura Nanya – Universidade Federal de São Carlos
Prof. Me. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Ma. Cláudia de Araújo Marques – Faculdade de Música do Espírito Santo
Profª Drª Cláudia Taís Siqueira Cagliari – Centro Universitário Dinâmica das Cataratas
Prof. Me. Clécio Danilo Dias da Silva – Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Me. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará
Profª Ma. Daniela da Silva Rodrigues – Universidade de Brasília
Profª Ma. Daniela Remião de Macedo – Universidade de Lisboa
Profª Ma. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco
Prof. Me. Douglas Santos Mezacas – Universidade Estadual de Goiás
Prof. Me. Edevaldo de Castro Monteiro – Embrapa Agrobiologia
Prof. Me. Eduardo Gomes de Oliveira – Faculdades Unificadas Doctum de Cataguases
Prof. Me. Eduardo Henrique Ferreira – Faculdade Pitágoras de Londrina

Prof. Dr. Edwaldo Costa – Marinha do Brasil
Prof. Me. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita
Prof. Me. Ernane Rosa Martins – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Prof. Me. Euvaldo de Sousa Costa Junior – Prefeitura Municipal de São João do Piauí
Profª Ma. Fabiana Coelho Couto Rocha Corrêa – Centro Universitário Estácio Juiz de Fora
Prof. Dr. Fabiano Lemos Pereira – Prefeitura Municipal de Macaé
Prof. Me. Felipe da Costa Negrão – Universidade Federal do Amazonas
Profª Drª Germana Ponce de Leon Ramírez – Centro Universitário Adventista de São Paulo
Prof. Me. Gevair Campos – Instituto Mineiro de Agropecuária
Prof. Dr. Guilherme Renato Gomes – Universidade Norte do Paraná
Prof. Me. Gustavo Krahl – Universidade do Oeste de Santa Catarina
Prof. Me. Helton Rangel Coutinho Junior – Tribunal de Justiça do Estado do Rio de Janeiro
Profª Ma. Isabelle Cerqueira Sousa – Universidade de Fortaleza
Profª Ma. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia
Prof. Me. Javier Antonio Albornoz – University of Miami and Miami Dade College
Prof. Me. Jhonatan da Silva Lima – Universidade Federal do Pará
Prof. Dr. José Carlos da Silva Mendes – Instituto de Psicologia Cognitiva, Desenvolvimento Humano e Social
Prof. Me. Jose Elyton Batista dos Santos – Universidade Federal de Sergipe
Prof. Me. José Luiz Leonardo de Araujo Pimenta – Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria Uruguay
Prof. Me. José Messias Ribeiro Júnior – Instituto Federal de Educação Tecnológica de Pernambuco
Profª Drª Juliana Santana de Curcio – Universidade Federal de Goiás
Profª Ma. Juliana Thaisa Rodrigues Pacheco – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Kamilly Souza do Vale – Núcleo de Pesquisas Fenomenológicas/UFPA
Prof. Dr. Kárpio Márcio de Siqueira – Universidade do Estado da Bahia
Profª Drª Karina de Araújo Dias – Prefeitura Municipal de Florianópolis
Prof. Dr. Lázaro Castro Silva Nascimento – Laboratório de Fenomenologia & Subjetividade/UFPR
Prof. Me. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Ma. Lillian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará
Profª Ma. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ
Profª Drª Lívia do Carmo Silva – Universidade Federal de Goiás
Prof. Dr. Lucio Marques Vieira Souza – Secretaria de Estado da Educação, do Esporte e da Cultura de Sergipe
Prof. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados
Prof. Dr. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual do Paraná
Prof. Dr. Michel da Costa – Universidade Metropolitana de Santos
Prof. Dr. Marcelo Máximo Purificação – Fundação Integrada Municipal de Ensino Superior
Prof. Me. Marcos Aurelio Alves e Silva – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo
Profª Ma. Maria Elanny Damasceno Silva – Universidade Federal do Ceará
Profª Ma. Marileila Marques Toledo – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Prof. Me. Ricardo Sérgio da Silva – Universidade Federal de Pernambuco
Profª Ma. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal

Prof. Me. Robson Lucas Soares da Silva – Universidade Federal da Paraíba
Prof. Me. Sebastião André Barbosa Junior – Universidade Federal Rural de Pernambuco
Profª Ma. Silene Ribeiro Miranda Barbosa – Consultoria Brasileira de Ensino, Pesquisa e Extensão
Profª Ma. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo
Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Faculdade Regional Jaguaribana
Profª Ma. Thatianny Jasmine Castro Martins de Carvalho – Universidade Federal do Piauí
Prof. Me. Tiago Silvio Dedoné – Colégio ECEL Positivo
Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

Engenharia na prática: importância teórica e tecnológica

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira
Bibliotecário Maurício Amormino Júnior
Diagramação: Luiza Alves Batista
Edição de Arte: Luiza Alves Batista
Revisão: Os Autores
Organizadora: Franciele Braga Machado Tullio

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)

E57 Engenharia na prática [recurso eletrônico] : importância
teórica e tecnológica / Organizadora Franciele Braga
Machado Tullio. – Ponta Grossa, PR: Atena, 2020.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5706-308-8

DOI 10.22533/at.ed.088202408

1. Engenharia – Estudo e ensino. 2. Engenharia –
Pesquisa – Brasil. 3. Prática de ensino. I. Tullio, Franciele
Braga Machado.

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

Atena Editora

Ponta Grossa – Paraná – Brasil

Telefone: +55 (42) 3323-5493

www.atenaeditora.com.br

contato@atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

A obra “Engenharia na Prática: Importância Teórica e Tecnológica” contempla vinte e oito capítulos com pesquisas relacionadas a diversos temas da engenharia.

Os estudos refletem a teoria obtida em livros, normas, artigos na prática, verificando sua aplicabilidade.

O desenvolvimento de novos materiais e a utilização de novas tecnologias partem de estudos já realizados, o que garante desenvolvimento nas diversas áreas da engenharia, gerando novas alternativas.

O estudo sobre o comportamento de materiais permite o aperfeiçoamento de materiais já existentes e proporciona uma otimização na execução de novos projetos.

O uso de energia limpa também é um tema muito abordado, tendo em vista a necessidade de otimização de recursos naturais.

Esperamos que esta obra proporcione uma leitura agradável e contribua para a geração de novos estudos, contribuindo para o desenvolvimento tecnológico.

Franciele Braga Machado Tullio

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1.....	1
A CONTRIBUIÇÃO FÍSICA E MATEMÁTICA PARA O APERFEIÇOAMENTO DO TIRO COM ARCO	
Eduardo Franzoi	
Andrei Buse	
Mateus Filipi Moresco Jorge	
DOI 10.22533/at.ed.0882024081	
CAPÍTULO 2.....	14
A INFLUÊNCIA DO NIÓBIO NA MICROESTRUTURA E PROPRIEDADES MECÂNICAS DO ALUMÍNIO: UMA REVISÃO	
Márcio Valério Rodrigues de Mattos	
Gustavo Takehara Silva	
Vinicius Torres dos Santos	
Marcio Rodrigues da Silva	
Antonio Augusto Couto	
Givanildo Alves dos Santos	
DOI 10.22533/at.ed.0882024082	
CAPÍTULO 3.....	21
ANÁLISE CRÍTICA COMPARATIVA ENTRE A NORMA ISO 29110 E O MODELO MPS.BR NÍVEL G	
Nilson Salvetti	
André Rivas	
Ivanir Costa	
DOI 10.22533/at.ed.0882024083	
CAPÍTULO 4.....	33
ANÁLISE DA ADERÊNCIA AO PLANEJAMENTO ESTRATÉGICO INSTITUCIONAL: ABORDAGEM BASEADA EM REDES BAYESIANAS	
Danilo de Souza Novaes	
Roseno Nunes de Almeida Neto	
Silvana Rossy de Brito	
Aleksandra do Socorro da Silva	
DOI 10.22533/at.ed.0882024084	
CAPÍTULO 5.....	46
ANÁLISE PARAMÉTRICA DA INJEÇÃO DE POLÍMEROS EM UM CAMPO DE PETRÓLEO DA BACIA POTIGUAR	
Beatriz Ferraz Martins	
Jardel Dantas da Cunha	
Andréa Francisca Fernandes Barbosa	
Ricardo Henrique Rocha de Carvalho	
Antonio Robson Gurgel	
DOI 10.22533/at.ed.0882024085	

CAPÍTULO 6.....	55
BIOSORPTION OF OXYTETRACYCLINE FROM WATER USING MORINGA OLEÍFERA SHELLS	
Agustina De Olivera	
Ramiro Martins	
DOI 10.22533/at.ed.0882024086	
CAPÍTULO 7.....	64
COLETA SELETIVA NO UNIFOA – IMPLANTAÇÃO DE PROCESSO PILOTO NO PRÉDIO 18: SENSIBILIZAÇÃO DA COMUNIDADE INTERNA SOBRE RESÍDUOS SÓLIDOS	
Pedro Saturno Braga	
Camila Duarte Silva	
Lucas Marques Correa Ignácio	
Sabrina de Jesus Oliveira Cozzolino	
Sabrina Pires Arantes	
Roberto Guião de Souza Lima Júnior	
Ana Carolina Callegario Pereira	
Denise Celeste Godoy de Andrade Rodrigues	
DOI 10.22533/at.ed.0882024087	
CAPÍTULO 8.....	74
DESEMPENHO TÉRMICO DOS TELHADOS VERDES EM RELAÇÃO AOS TELHADOS CONVENCIONAIS	
Sergio Quezada García	
Marco Antonio Polo Labarrios	
Heriberto Sánchez Mora	
Manuela Azucena Escobedo Izquierdo	
Ricardo Isaac Cázares Ramírez	
DOI 10.22533/at.ed.0882024088	
CAPÍTULO 9.....	88
DESENVOLVIMENTO DE UMA PRÓTESE AUTOMÁTICA POR COMANDO DE SINAL ELETROMIOGRAFICO	
Jefferson Rodrigo Moreira de Sousa	
Rafael Bastos Duarte	
André Luiz Patrício França	
Sara Carreiro Beloni	
José Wanderson Oliveira Silva	
DOI 10.22533/at.ed.0882024089	
CAPÍTULO 10.....	99
EFEITOS DA RADIAÇÃO ELETROMAGNÉTICA IONIZANTE EM EQUIPAMENTOS ODONTOLÓGICOS	
Alessandro Márcio Hakme Da Silva	
Marcelo Caetano Oliveira Alves	
Thiago Augusto Neiva Spironelli	
Eduardo Souza Sims	

Patrícia Garani Fernandes
Fernanda Florian
Fabiana Florian
Marcello Cláudio de Gouvea Duarte
DOI 10.22533/at.ed.08820240810

CAPÍTULO 11.....113

ESTIMAÇÃO DE PARÂMETROS DO SINAL ATRIAL FIBRILATÓRIO NO ELETROCARDIOGRAMA

Miriam Ferraz de Paulo
Eduardo Guy Perpétuo Bock
Dalmo Antonio Ribeiro Moreira

DOI 10.22533/at.ed.08820240811

CAPÍTULO 12.....117

ESTUDIO DEL IMPACTO DE LA ADICIÓN DE GLICERINA COMO CO-SUSTRATO EN LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS A PARTIR DE RESIDUOS ORGÁNICOS

María Isabel García Rodríguez
Marcos Vinícius Konopka
Matheus Vitor Diniz Gueri
Andreia Cristina Furtado

DOI 10.22533/at.ed.08820240812

CAPÍTULO 13..... 127

ESTUDO COMPARATIVO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E EXEGÉTICA DE UM PROCESSO SPRAY DRYER ALIMENTADO POR ENERGIA ELÉTRICA E GÁS NATURAL

Antonio Rimaci Miguel Junior
Valmir da Cruz de Souza
Alex Alisson Bandeira Santos

DOI 10.22533/at.ed.08820240813

CAPÍTULO 14..... 136

ESTUDO DE APLICAÇÃO DA TURBINA DE TESLA COMO MICROGERADOR

Eloi Rufato Junior
Alison Baena de Oliveira Monteiro
Ricardo Ribeiro dos Santos

DOI 10.22533/at.ed.08820240814

CAPÍTULO 15..... 158

ESTUDO DO POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS POR DEJETOS BOVINOS

Marcos Vinícius Konopka
María Isabel Garcia Rodriguez
Denis Porfirio Viveros Rodas
Andreia Cristina Furtado

DOI 10.22533/at.ed.08820240815

CAPÍTULO 16.....	167
ESTUDO PARA CONTROLE DE EMPENAMENTO EM PEÇAS INDUSTRIAIS TEMPERADAS	
João Alfredo Scheidemantel	
Christian Doré	
Lucile Cecília Peruzzo	
DOI 10.22533/at.ed.08820240816	
CAPÍTULO 17.....	179
EXECUÇÃO DE FUNDAÇÕES DO TIPO TUBULÃO CONFORME ORIENTAÇÕES DA NOVA NR-18 DE 10 DE FEVEREIRO DE 2020	
José Henrique Maciel de Queiroz	
Fabíola Luana Maia Rocha	
Francisco Kléber Dantas Duarte	
Caio Guilherme Ferreira Abrantes	
DOI 10.22533/at.ed.08820240817	
CAPÍTULO 18.....	187
INFLUÊNCIA DE LEVEDURAS LISAS E RUGOSAS NA PRODUÇÃO DE BIOETANOL EM ESCALA INDUSTRIAL	
Teresa Cristina Vieira Viana	
Rafael Resende Maldonado	
Eliana Setsuko Kamimura	
DOI 10.22533/at.ed.08820240818	
CAPÍTULO 19.....	199
INFLUÊNCIA DO ESPAÇAMENTO DENDRÍTICO SECUNDÁRIO NA DUREZA DA LIGA CU-14AL-5NI-5FE OBTIDA POR SOLIDIFICAÇÃO UNIDIRECIONAL	
Rogério Teram	
Givanildo Alves dos Santos	
Maurício Silva Nascimento	
Antonio Augusto Couto	
Vinícius Torres dos Santos	
Márcio Rodrigues da Silva	
DOI 10.22533/at.ed.08820240819	
CAPÍTULO 20.....	211
INTERFAZ PARA LA OPERACIÓN REMOTA DE UN MANIPULADOR MITSUBISHI MOVEMASTER RV-M1	
Luini Leonardo Hurtado Cortés	
John Alejandro Forero Casallas	
DOI 10.22533/at.ed.08820240820	
CAPÍTULO 21.....	221
LA EVALUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SU INCIDENCIA EN REPROBACIÓN Y DESERCIÓN	
M. en C. Marcial Reyes Cázarez	

DOI 10.22533/at.ed.08820240821

CAPÍTULO 22..... 235

ANÁLISE DE DESEMPENHO DE ESTIMAÇÃO DE CARGA EM BATERIAS DE SÓDIO UTILIZANDO REDES NEURAS ARTIFICIAIS

Norah Nadia Sánchez Torres
Helton Fernando Scherer
Oswaldo Ando Hideo Junior
Jorge Javier Gimenez Ledesma

DOI 10.22533/at.ed.08820240822

CAPÍTULO 23..... 247

PROSPECÇÃO E ROTAS TECNOLÓGICAS PARA A ENERGIA DO HIDROGÊNIO NO BRASIL

Gustavo Sigal Macedo
Jorge Alberto Alcalá Vela

DOI 10.22533/at.ed.08820240823

CAPÍTULO 24..... 262

PROTOTIPO DE DINÂMICA DE SISTEMAS APLICADO A LA GESTIÓN DE PROYECTOS ACADÉMICOS DE PRÁCTICA PROFESIONAL SUPERVISADA EN CARRERAS DE INFORMÁTICA

Alice Raquel Rambo
Mariana Itatí Boari
Roberto Luis Sueldo
Ruben Urquijo
Hector Chripczuk
Ulises Ramirez

DOI 10.22533/at.ed.08820240824

CAPÍTULO 25..... 273

THE MAGNETIC PASSIVE AND SLIDING BEARING SYSTEM WITH AXIAL MAGNETIC REPULSION TO AVOID PIVOT WEAR

Carlos Frajuca

DOI 10.22533/at.ed.08820240825

CAPÍTULO 26..... 281

USO DA LAMA CIMENTICIA COMO SUBSTITUTO DE AGREGADO MIÚDO NA FABRICAÇÃO DE CONCRETO

Bruno Matos de Farias
Érika Teles dos Santos
Larissa Barbosa Iulianello
Sheila Maria Ferreira Campos

DOI 10.22533/at.ed.08820240826

CAPÍTULO 27.....	301
UTILIZAÇÃO DE NANOPARTÍCULAS MAGNÉTICAS NA RETIRADA DE PETRÓLEO DERRAMADO	
Ana Caroline Nasaro de Oliveira	
Júnia Ciriaco de Castro	
Rosana Aparecida Ferreira Nunes	
DOI 10.22533/at.ed.08820240827	
CAPÍTULO 28.....	315
UTILIZAÇÃO E AVALIAÇÃO DA ESPINHEIRA SANTA (<i>Maytenusilicifolia Martiusex Reissek</i>) COMO INIBIDOR DE CORROSÃO ORGÂNICO PARA APLICAÇÃO EM FLUIDOS PARA COMPLETAÇÃO	
Jardel Hugo Gonçalves Paiva	
Jardel Dantas da Cunha	
Andréa Francisca Fernandes Barbosa	
Antonio Robson Gurgel	
Keila Regina Santana Fagundes	
Rodrigo Cesar Santiago	
DOI 10.22533/at.ed.08820240828	
SOBRE A ORGANIZADORA.....	328
ÍNDICE REMISSIVO.....	329

CAPÍTULO 1

A CONTRIBUIÇÃO FÍSICA E MATEMÁTICA PARA O APERFEIÇOAMENTO DO TIRO COM ARCO

Data de aceite: 01/07/2020

Eduardo Franzoi

Centro Universitário de Brusque – UNIFEBE
Brusque-SC

Andrei Buse

Mestre em Educação Científica e
Tecnológica. Universidade Federal de Santa
Catarina - UFSC
Florianópolis-SC
Lattes: lattes.cnpq.br/1008597303652726

Mateus Filipi Moresco Jorge

Centro Universitário de Brusque – UNIFEBE
Brusque-SC

RESUMO: É desconhecido ao certo a origem do tiro com arco. Sabe-se que foi utilizado por povos muito antes dos indígenas e pelo fato de permanecer conservado apenas em condições específicas, tornou-se um artefato muito difícil para estudo histórico. A criação do arco teve de início a finalidade de caça de subsistência. Atualmente o uso do arco se dá como hobby ou para competições de tiro com arco. Obedecendo as normas da Federação Internacional de Tiro com Arco (FITA), expusemos todos os cálculos por trás de um tiro olímpico perfeito, unindo a habilidade do arqueiro, a matemática e física para obter o melhor desempenho possível. Será levado em consideração todas as variáveis presentes no disparo como: velocidade da flecha, tensão resultante da flexão do arco e da corda assim como a velocidade causada pelo impulso que o arco submete a flecha fatores que são indispensáveis para que o arqueiro

obtenha o tiro perfeito.

PALAVRAS-CHAVE: Tiro com Arco, Energia Potencial, Energia Cinética.

THE PHYSICAL AND MATHEMATICAL CONTRIBUTION FOR THE IMPROVEMENT OF THE ARCHERY SHOT

ABSTRACT: The origin of archery is unknown. It is known that it was used by peoples long before the Indians, and because it remained preserved only under specific conditions, it became a very difficult artifact for historical study. The creation of the bow had to begin the purpose of subsistence hunting. Currently the use of the bow is as a hobby or for archery competitions. Obeying the standards of the International Fierce Archery Federation (FITA), we exposed all the calculations behind a perfect Olympic shooting, uniting archer skill, math and physics for the best possible performance. It will take into account all the variables present in the shot as: velocity of the arrow, tension resulting from the flexing of the bow and the rope as well as the speed caused by the impulse that the bow submits to the factors that are indispensable for the archer to get the perfect shot .

KEYWORDS: Archery, Potential energy, Kinetic energy.

1 | INTRODUÇÃO

A prática do tiro com arco vem sendo utilizado desde a pré-história, onde era utilizado para a caça. Apesar de atualmente sua função ser destinada a competições, o arco já foi também uma poderosa arma de guerra, pois era facilmente carregado por

qualquer soldado. Era também, a única arma cujo projétil alçava longas distâncias em batalhas. O registro mais antigo do uso do arco em batalhas é datado de 7000 anos atrás oriundo de uma vala onde foram encontrados 34 corpos com ferimentos de flecha. É somente a partir de 1688 que se deu início do uso do arco para fins esportivos, com a criação dos clubes de tiros. A partir de 1840 começou a se tornar um esporte moderno, com a criação da Grand National Society Archery (Grande Sociedade Nacional de Tiro com Arco) na cidade de York, no Reino Unido.

Em 1900, o tiro com arco teve sua primeira aparição nas Olimpíadas de Paris, na França, e permaneceu até 1920, não ocorrendo em 1912 por falta de padronização das competições nos países. Retornou em 1972 e permanece até hoje. Até 1984 havia apenas competições individuais e em 1988 foi acrescentada a disputa por equipes.

Nos EUA, o tiro com arco como esporte, nasceu em 1911 com a criação da sociedade já existente no Reino Unido. A partir de 1920, os engenheiros se interessaram pelo tiro com arco que até então era uma área exclusiva de especialistas artesanais. Os engenheiros lideraram o desenvolvimento comercial do arco com novas formas, incluindo o recurvo e o arco composto moderno.

O arco recurvo utiliza o efeito elástico do material nele utilizado na composição de suas lâminas para impulsionar a flecha. Já no arco composto, para impulsionar o projétil, utiliza a corda juntamente com o uso de polias que tencionam as lâminas. A função da polia no arco composto é reduzir a tração da corda fazendo com que o arqueiro mantenha o arco em posição de tiro sem tanta vibração. Tal vibração é resultante dos músculos do corpo do arqueiro que estão agindo para manter o arco armado.

Temos com objetivo expor todos os cálculos necessários para a obtenção de um tiro perfeito. Os cálculos que aqui serão apresentados respeitam as limitações impostas pela Federação Internacional de Tiro com Arco (FITA) levando em consideração um disparo a uma distância de 25 metros.

2 | REFERENCIAL TEÓRICO

O desenvolvimento dos cálculos aqui apresentados partem do estudo da energia mecânica armazenada no arco composto. A palavra energia, do grego *έν*, “dentro”, e *εργον*, “trabalho, obra”, pode ser traduzida como “dentro do trabalho”. Foi citada pela primeira vez em 1807 por Thomas Young (1773-1829). Ao adotar este termo, Young referenciava o produto $m.v^2$ (“vis-viva”), que estava associado ao que ele chamava de energia: a capacidade para realizar um trabalho.

As energias presentes no arco são energia potencial e energia cinética. O que hoje denominamos de energia cinética e energia potencial deve-se a obra de Galileu Galilei (1564-1642), ao afirmar que a velocidade máxima adquirida por um corpo que, partindo do repouso começa a cair (relevando a ausência de atrito), é capaz de elevar-se apenas a sua altura inicial nunca ultrapassando está.

Halliday, Resnick e Walker definem a Energia Cinética como sendo “associada ao estado de movimento de um objeto” (HALLIDAY, RESNICK e WALKER, 2009,

154). Podemos então concluir que a energia cinética está relacionada diretamente com o movimento dos corpos e que o resultado da energia cinética está ligado à sua velocidade de movimento e também da sua massa.

Já o conceito de energia potencial para Halliday, Resnick e Walker é definido da seguinte forma: “energia potencial é qualquer energia que pode ser associada à configuração de um sistema de objetos que exercem forças uns sobre os outros” (HALLIDAY, RESNICK e WALKER, 2009, p. 181). Portanto, a Energia Potencial é a energia que pode ser armazenada em um sistema físico tendo a capacidade de ser transformada em ‘trabalho’, termo usado para representar a Energia Cinética.

3 | PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Os componentes de um arco composto se comparados a um arco recurvo possuem uma rigidez muito maior. Como a distribuição da energia fornecida pela corda não afeta com tanta influência os outros componentes do arco, a sua eficiência no armazenamento de energia em relação aos arcos tradicionais tem um rendimento muito maior. Porém, a ação do arqueiro sobre a corda em relação à vibração se torna mais difícil devido ao fato do arco possuir uma rigidez maior.

Diante deste fato se faz necessário o uso de polias distribuídas nas extremidades de cada lâmina do arco. A corda de um arco composto é posicionada de forma que uma das pontas seja posicionada contraposto à lâmina de origem. Quando a corda é levada para trás, as polias puxam a corda que por sua vez fazem com que as lâminas se curvem acumulando a energia necessária para o disparo.

A utilização de polias no arco composto faz com que as lâminas se curvem e armazenem energia até um ponto máximo onde essa energia é armazenada pelo próprio arco. Dessa forma, o arqueiro exerce uma força bem menor manter o arco armado, até chegada a hora de transferir toda essa energia para a flecha, transformando a energia potencial do arco em energia cinética da flecha (a energia do movimento).

A redução da força exercida pelo arqueiro se dá totalmente pelo uso das polias que são excêntricas, ou seja, os eixos das polias estão fixados na sua borda e não no seu centro, fazendo com que as polias ao girarem, forcem as lâminas do arco a se curvarem. Depois do giro completo da polia em seu eixo, uma força menor é aplicada a corda devido ao fato de que o ângulo em relação ao braço do atirador e a polia diminuirá conforme figura 1.

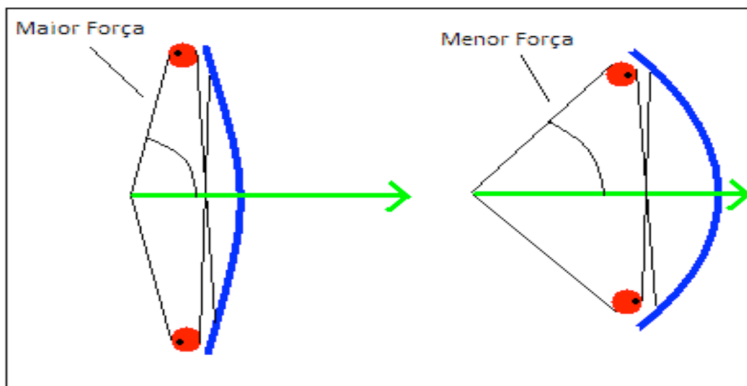


Figura 1 – Tração exercida pela corda do arco

Analisando mais detalhadamente o funcionamento dos sistemas de polias de um arco conforme Figura 2, podemos observar que, pelo fato de seu eixo ser excêntrico, ocorre uma variação de altura (h) em relação a extremidade de cada lâmina. Todavia, como o arco contrai as lâminas quando armado, acaba ocorrendo uma equivalência de alturas em relação ao ponto observado que é o braço do atirador. Feitas as aferições no arco utilizado para os testes concluímos que essa diferença de altura pode ser desconsiderada por ser extremamente pequena.

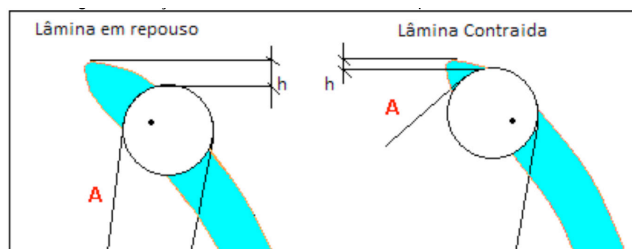


Figura 2 - Ação da não excentricidade das polias sobre a corda

Fonte- Simple Machines – Levers (adaptado)

Como a redução da carga armazenada pelo arco se dá pelas polias, o formato dela interfere na energia armazenada pelo arco. Utilizando um gráfico podemos perceber como a força necessária para puxar o arco varia com a distância que este é puxado.

Para melhor exemplificar a curva de força resultante do uso de polias em um arco iremos utilizar o arco recurvo sem utilização de polias contra a polia excêntrica e redonda e a polia excêntrica oval.

A curva representada no gráfico um, refere se a energia armazenada, quando um arco recurvo é armado. A força de puxada deste arco aumenta gradativamente

à medida que a corda é puxada para trás. A área ao longo do eixo X representa a quantidade de energia que foi armazenada no arco durante a puxada.

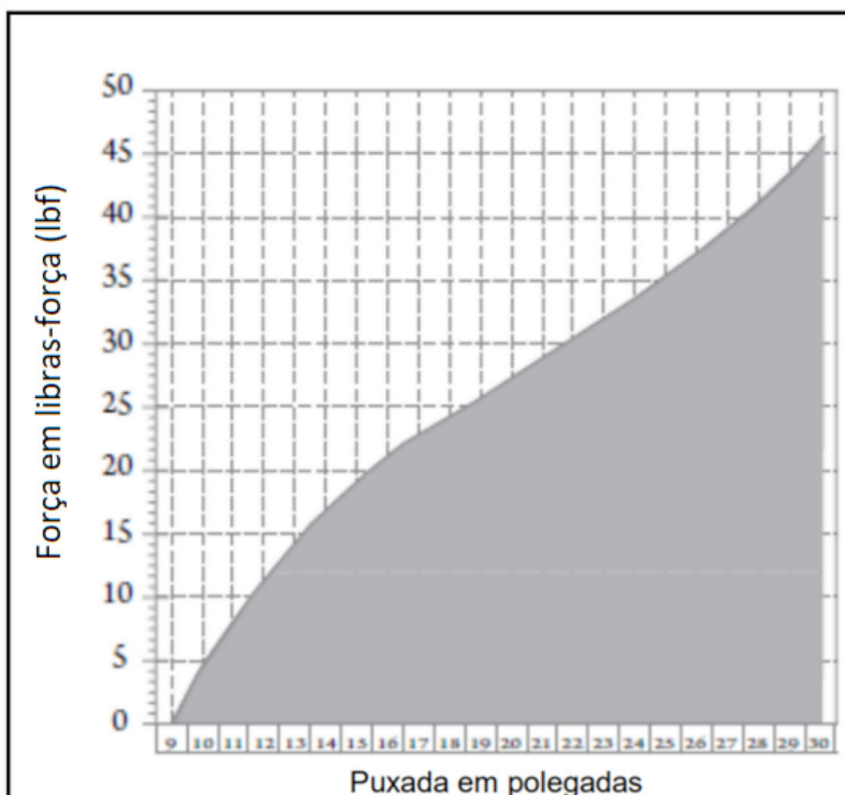


Gráfico 1 - Curva de Força de um arco Recurvo

Fonte- FITA Coaching Manual Level 2 – Intermediate Level – Module COMPOUND BOW

A curva no gráfico dois representa a energia armazenada quando a polia redonda de um arco composto entra em movimento de rotação. A força de puxada deste arco aumenta, até o ponto de pico de força e depois é reduzida até uma força denominada de sustentação.

A área ao longo do eixo X representa a quantidade de energia que foi armazenada no arco durante a puxada. Podemos observar que a área sombreada é maior, indicando o aumento da energia armazenada, em comparação com um arco recurvo, o que ocasionará um arraste mais forte sobre a flecha, consequentemente a aceleração será maior.

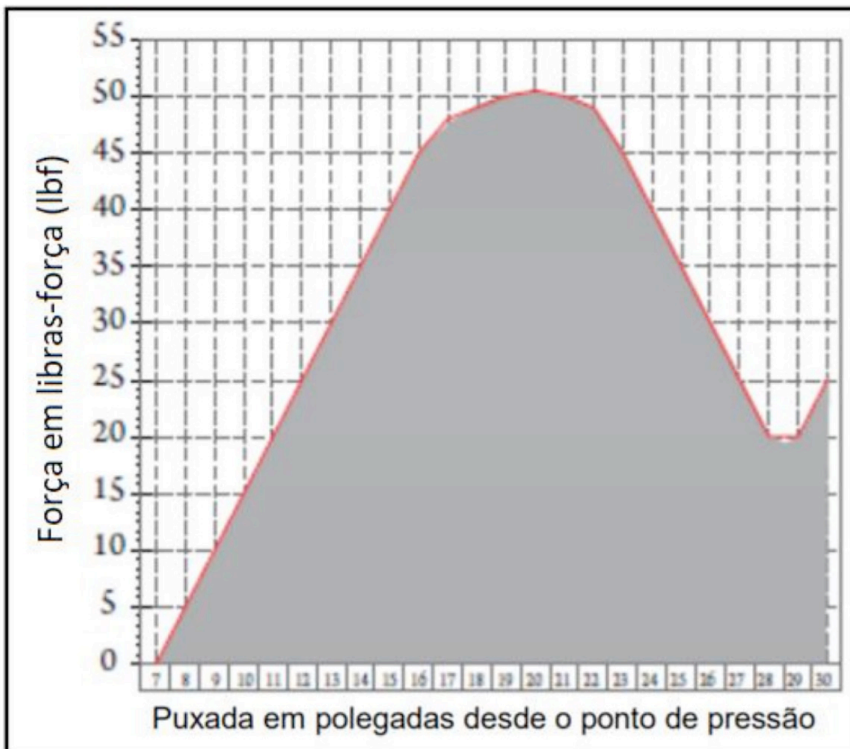


Gráfico 2 - Curva de força de um arco Composto com polia Oval

Fonte - FITA Coaching Manual Level 2 - Intermediate Level - Module COMPOUND BOW

A curva no gráfico três representa a energia armazenada quando a polia oval de um arco composto entra em movimento de rotação. A força de puxada deste arco aumenta, até o ponto de pico de força e depois é reduzida até uma força denominada de sustentação.

A área ao longo do eixo X representa a quantidade de energia que foi armazenada no arco durante a puxada. Podemos observar que o design oval da polia resulta em um aumento de energia muito alto proporcionando a flecha o maior arraste possível em um arco composto o que aumenta a aceleração.

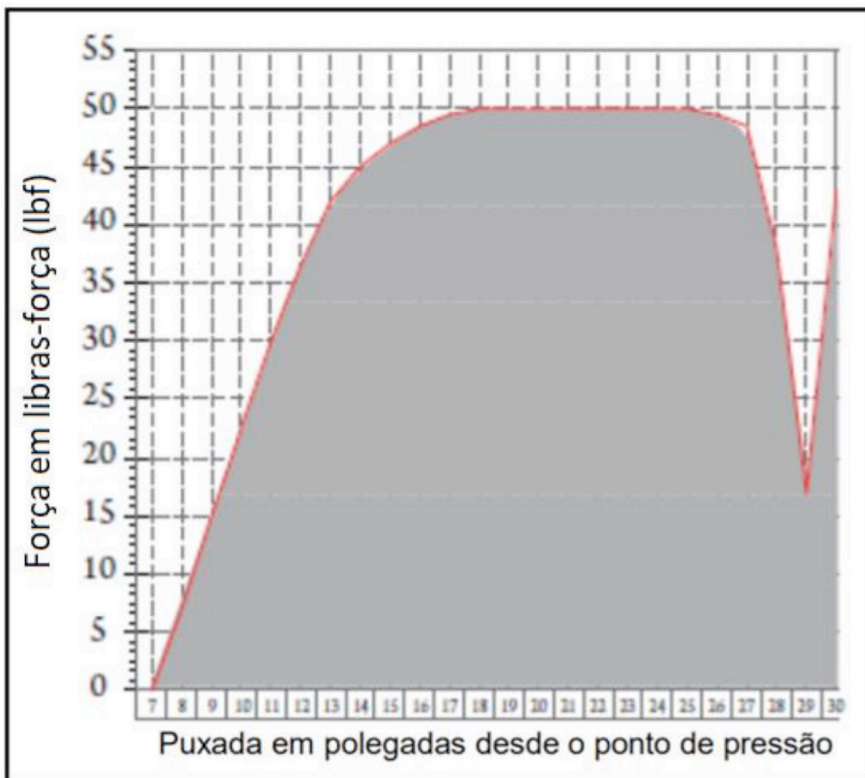


Gráfico 3 – Curva de força de um arco Composto com polia oval

Fonte- FITA Coaching Manual Level 2 – Intermediate Level – Module COMPOUND BOW

Conclui-se que a melhor configuração que um arco composto pode ter é com o uso de polias ovais. A aceleração resultante da energia armazenada do arco que é aplicada diretamente a flecha se mantém estável em uma maior distância.

4 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para efetuar o disparo de teste o atirador precisa ficar com o corpo paralelo à linha de tiro. O arco puxado forma com os braços um triângulo retângulo, onde o braço que segura o arco e o que puxa a corda formam um ângulo de 90° com a cabeça alinhada com o braço que segura o arco.

A postura correta traz uma maior precisão pelo fato do braço que segura a corda ficar alinhado com a flecha. Após concluído o disparo e ter coletados todos os dados necessários, verificou-se que ocorreu durante o disparo.

A partir do disparo efetuado foi possível extrair os seguintes dados:

DADOS COLETADOS	
Tempo de voo do projétil (s)	0,303
Distância de tiro (metros)	25
Força do arco lbf (libras força)	50
Força do arco (kgf)	22,69
Ângulo formado pela corda (graus)	90
Massa da flecha (kg)	0,032
tempo de arraste (s)	0,01187

Tabela 1 – Dados coletados durante o disparo

Fonte – Os autores

A partir dos dados coletados pode-se calcular a tração em cada lado da corda do arco. Para o desenvolvimento desse cálculo, convertemos a força do arco para unidades do sistema internacional.

$$(50 * 0,45392) * 9,8 = 222,42N$$

Convertida a grandeza, fizemos a decomposição das forças do arco conforme Figura 3. A força aplicada pelo arqueiro onde ele segura as cordas, somada à força exercida pelo arco sobre o arqueiro deve ser igual a zero uma vez que antes do disparo o sistema arco mais arqueiro estão em equilíbrio. Contudo, somadas a tração de cada corda, obtemos a força total da puxada. Temos então:

$$C1 + C2 = 222,42N$$

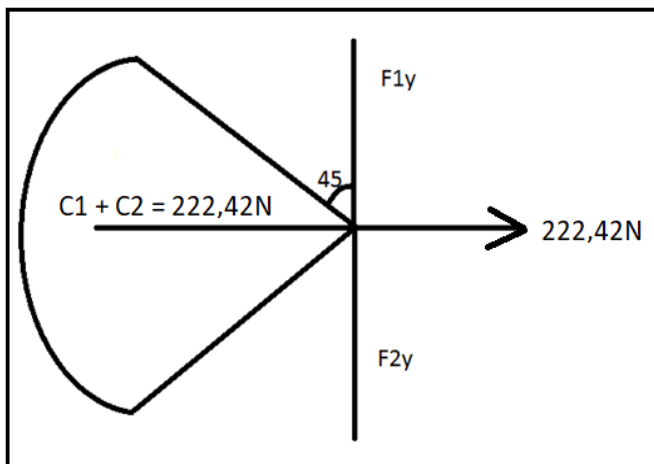


Figura 3 - Decomposição de forças

Fonte – Os autores

Sabe-se que a tração aplicada na corda superior é igual à corda inferior uma vez que as duas são iguais. Para calcular a tração de cada corda usamos as noções de trigonometria do triângulo retângulo.

$$C1 = C2$$

$$C1. \cos 45 + C2. \cos 45 = 222,42$$

$$C1. \cos 45 + C1. \cos 45 = 222,42$$

$$2. C1. \cos 45 = 222,42 \rightarrow C1. \cos 45 = \frac{222,42}{2} \rightarrow C1. \cos 45 = 111,21$$

$$C1 = \frac{111,21}{\cos 45} \rightarrow C1 = \frac{111,21}{0,707}$$

$$C1 = 157,29 \text{ N}$$

Com a tração no cabo determinada podemos calcular a velocidade horizontal da flecha, determinando inicialmente a aceleração através da 2ª Lei de Newton. Para este caso adotamos a aceleração como sendo constante durante o contato do cabo com a flecha.

$$F = m \cdot a$$

$$a = \frac{F}{m}$$

$$a = \frac{222,42}{0,032}$$

$$a = 6950,625 \text{ m/s}^2$$

Obtido o valor da aceleração e desprezando os efeitos do ar utilizamos as expressões do movimento retilíneo uniformemente variado para encontrar o valor da velocidade horizontal da flecha no momento em que ela perde o contato com o cabo que a impulsionou.

$$Vx = a * tf$$

$$Vx = 6950,625 \text{ m/s}^2 * 0,01187\text{s}$$

$$Vx = 82,5 \text{ m/s}$$

No tiro com arco denomina-se tempo de aplicação de força como o tempo que a corda arrasta a flecha até o repouso das lâminas do arco.

Para calcular a velocidade média da flecha precisamos de início calcular o tempo de percurso da flecha. Para uma melhor precisão foi levado em consideração o tempo de retorno do som, pois como os dados foram coletados manualmente o cronometro foi pausado no exato valor de 0,376 segundos. Porém, para que o som chegasse ao ouvido do observador, uma fração de segundos seria adicionada ao tempo de voo da flecha. Para garantir a melhor precisão nos cálculos esse valor

foi descontado. Subtraindo o tempo de retorno do som pelo tempo total de voo da flecha obtivemos

$$t_{som} = \frac{\text{distância}}{V_{som}}$$

$$t_{som} = \frac{25 \text{ m}}{340,29 \text{ m/s}}$$

$$t_{som} = 0,073 \text{ s}$$

$$t_{medido} - t_{som} = 0,376 - 0,073 = 0,303 \text{ s}$$

Com a ação da gravidade a flecha não se move somente horizontalmente, mas também verticalmente. Diante disso devesse calcular a velocidade vertical da flecha utilizando a seguinte expressão:

$$Vy = \frac{g * m_{flecha}}{2 * t_{percurso}}$$

$$Vy = \frac{9,807 \frac{m}{s^2} * 0,032 \text{ kg}}{2 * 0,303 \text{ s}}$$

$$Vy = \frac{0,151}{0,303}$$

$$Vy = 0,5 \text{ m/s}$$

Com a velocidade vertical pudemos determinar a velocidade média da flecha, utilizando o Teorema de Pitágoras com os dois vetores de velocidade V_x (horizontal) e o V_y (vertical) conforme mostra a Figura 4.

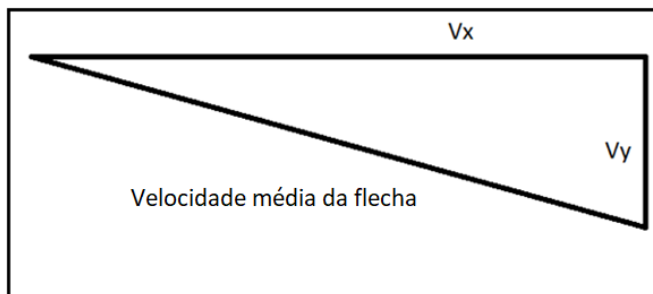


Figura 4 – Triângulo representando os eixos e a velocidade resultante

Fonte – Os autores

Calculando a velocidade média obtemos

$$V^2 = V_x^2 + V_y^2$$

$$V = \sqrt{V_x^2 + V_y^2}$$

$$V = \sqrt{82,5^2 + 0,5^2}$$

$$V = \sqrt{6806,25 + 0,25}$$

$$V = \sqrt{6806,50}$$

$$V = 82,501 \text{ m/s}$$

Concluimos que a velocidade média da flecha é igual a 82,501 m/s, ou 297 km/h.

Por fim determinamos o ângulo de descida da flecha durante seu percurso no ar, utilizando as relações métricas no triângulo retângulo. Assim sendo

$$\cos\alpha = \frac{\textit{cateto adjacente}}{\textit{hipotenusa}}$$

$$\cos\alpha = \frac{82,5}{82,501}$$

$$\cos\alpha = 0,999$$

$$\cos\alpha^{-1}(0,999) = 2^\circ$$

$$\alpha = 2^\circ$$

Um dos dados mais importantes para um arqueiro é o conhecimento do grau de inclinação do seu disparo pois ele deve realizar as devidas compensações na hora do disparo.

Para obtermos o deslocamento vertical da flecha ao final do percurso de 25 metros basta multiplicar a velocidade vertical pelo tempo de percurso. Dessa forma

$$\Delta y = V_v \cdot t_{total} = 0,5 \text{ m/s} \cdot 0,303 \text{ s} = 0,151 \text{ m}$$

Pudemos constatar uma queda de 15 cm em relação a altura inicial de tiro. A Figura 5 e Figura 6 representam uma simulação para obtenção de um tiro perfeito dentro dos padrões da Federação Internacional de Tiro com Arco (FITA) desenvolvido a partir dos resultados obtidos.

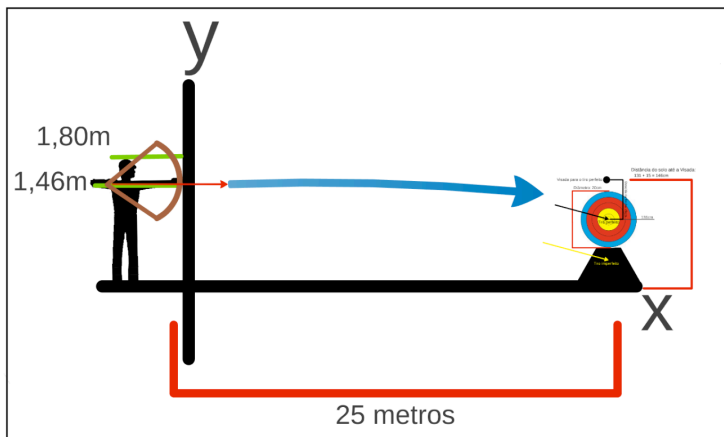


Figura 5 - Simulação de um tiro perfeito

Fonte – Os autores

Olhando o disparo sobre o plano cartesiano onde a flecha parte de uma altura de 1,46m no eixo Y, e que o centro do alvo está localizado a uma altura mínima do chão de 1,31m, verificamos a trajetória da flecha e concluímos que a visada perfeita deve ser feita a uma altura de 1,46m como mostra a Figura 6.

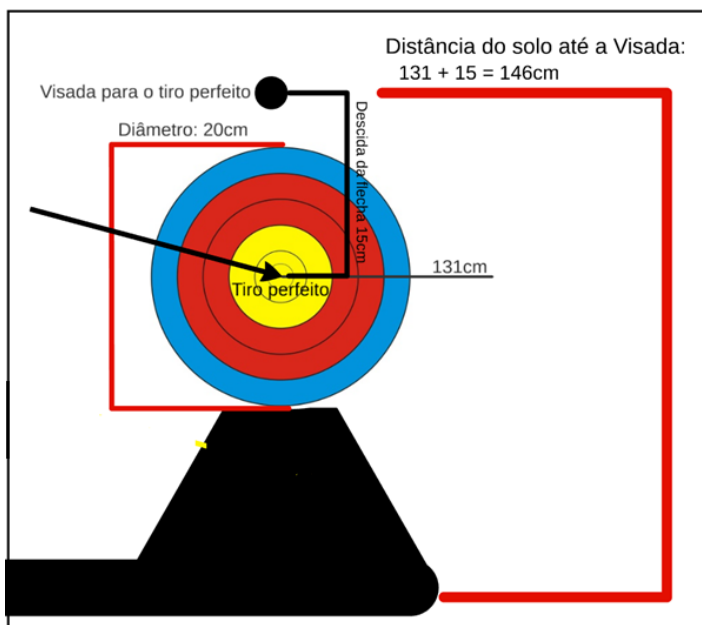


Figura 6 – Visada perfeita

Fonte – Os autores

Tendo como base que a Federação internacional de tiro com arco estabelece um diâmetro padrão de 20 cm para cada alvo, o deslocamento vertical de 15 cm determinado já seria o suficiente para fazer com que o arqueiro não pontue em uma competição.

5 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Obter um meio de verificar o que ocorre durante o disparo bem como o a determinação do deslocamento vertical de uma flecha durante o disparo do tiro com arco são de suma importância para aprimorar a precisão do arqueiro. O conhecimento da trajetória da flecha é fundamental para que o arqueiro possa corrigir o ângulo de lançamento visando acertar o centro do alvo.

O tiro com arco teve suma importância na sociedade e no esporte. Com todos os dados colhidos após ter ocorrido o disparo, pôde-se concluir que todo o arqueiro deve conhecer os fenômenos que ocorrem durante um disparo.

REFERÊNCIAS

ARCO BRASIL, **Determinar a velocidade da flecha**. Disponível em: <<http://www.arco brasil.com/t11886-como-determinar-a-velocidade-media-da-flecha>>. Acesso em 05/Set/2018

CÁLCULOS DE FÍSICA, **Tensão de uma corda**. Disponível em: <<http://pt.wikihow.com/Calcular-Tens%C3%A3o-em-F%C3%ADsica>>. Acesso em 09/Set/2018

ENCICLOPEDIA GLOBAL, **Thomas Young (1773 - 1829) Físico e Médico Inglês**. Disponível em: <<http://www.megatimes.com.br/2011/09/thomas-young-fisico-ingles.html>>. Acesso em: 10/Set/2018

ESTRELA D'ALVA, **Galileu Galilei**. Disponível em: <<http://gremioestreladalva.blogspot.com/2012/04/galileu-galilei-nasceu-em-15-de.html>>. Acesso em: 10/Set/2018

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de Física**. (vol. 1). Trad. de Ronaldo Sérgio de Biasi. Rio de Janeiro: LTC, 2009. 349p.

MANUAL DO ARCO COMPOSTO, **Componentes de um arco composto**. Disponível em: <<https://arcoeflechace.com/2015/08/13/manual-do-arco-composto-parte-3-rest-loop-mira-peep-estabilizadores-e-pesos/>>. Acesso em: 05/Set/2018

REGRAS DOS ESPORTES, **Regras do tiro com arco**. Disponível em: <<http://www.regrasdosportes.com/regras-do-tiro-com-arco/>>. Acesso em: 09/Set/2018

SÓ FÍSICA, **Dinâmica: leis de Newton e aplicações**. Disponível em: <<http://www.sofisica.com.br/conteudos/Mecanica/Dinamica/questoesdinamica.php>>. Acesso em: 09/Set/2018

CAPÍTULO 2

A INFLUÊNCIA DO NÍÓBIO NA MICROESTRUTURA E PROPRIEDADES MECÂNICAS DO ALUMÍNIO: UMA REVISÃO

Data de aceite: 01/07/2020

Data de submissão: 04/05/2020

Márcio Valério Rodrigues de Mattos

Instituto Federal de São Paulo
São Paulo – SP
<http://lattes.cnpq.br/1894733442669273>

Gustavo Takehara Silva

Instituto Federal de São Paulo
São Paulo – SP
<http://lattes.cnpq.br/1972079833709713>

Vinicius Torres dos Santos

Termomecanica São Paulo S.A
São Bernardo do Campo – SP
<http://lattes.cnpq.br/5999855342195422>

Marcio Rodrigues da Silva

Termomecanica São Paulo S.A
São Bernardo do Campo – SP
<http://lattes.cnpq.br/8275374225297308>

Antonio Augusto Couto

Universidade Presbiteriana Mackenzie
São Paulo – SP
<http://lattes.cnpq.br/2893737202813850>

Givanildo Alves dos Santos

Instituto Federal de São Paulo
São Paulo – SP
<http://lattes.cnpq.br/0046237693009702>

RESUMO: Considerando a importância da previsão das estruturas de fabricação das ligas de alumínio e as conseqüentes influências nas propriedades mecânicas, térmicas, elétricas, entre outras, a busca incessante pelo desenvolvimento de novas ligas de alumínio que atendam a requisitos cada vez mais rígidos de leveza e propriedades mecânicas, com custos aceitáveis e processos viáveis tem sido uma das grandes metas de diversos ramos da indústria. Todas estas influências citadas anteriormente afetam diretamente a aplicação das ligas. O nióbio vem sendo aplicado em aços, mostrando resultados promissores, seja pelo ganho de características distintas das conhecidas ou pela substituição de elementos mais caros que o nióbio, em que a troca, por exemplo, do manganês e do vanádio por nióbio em determinadas aplicações implica na redução de custo do processo mantendo-se as mesmas propriedades mecânicas, chegando a marca de USD 10 por tonelada de aço produzido. Esta pesquisa almeja a realização de uma revisão bibliográfica focada na fabricação de ligas Al-Nb, de tal forma que através da análise das variáveis térmicas, da macroestrutura e da microestrutura de solidificação e correlacionando-as com os teores de nióbio, permita-se avaliar a influência do nióbio sobre as mesmas e no refino de grão.

PALAVRAS-CHAVE: Solidificação Unidirecional, Nióbio, Alumínio, Variáveis Térmicas, Propriedades Mecânicas, Refino de Grão.

THE INFLUENCE OF NIOBIUM ON MICROSTRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES OF ALUMINUM: A REVIEW

ABSTRACT: Considering the importance of forecasting the manufacturing structures of aluminum alloys and the consequent influences on mechanical, thermal, electrical properties, among others, the incessant search for the development of new aluminum alloys that meet increasingly rigid requirements of lightness and mechanical properties, with acceptable costs and viable processes has been one of the major goals of several branches of the industry. All these influences mentioned above directly affect the application of the alloys. Niobium has been applied to steel alloys, showing promising results, either by gaining characteristics different from those known or by replacing elements more expensive than niobium, where the exchange, for example, of manganese and vanadium for niobium in certain applications imply a reduction in the cost of the process while maintaining the same mechanical properties, reaching the mark of USD 10 per ton of steel produced. This literature review aims to carry out a study focused on the manufacturing of Al-Nb alloys, in such a way that through the analysis of thermal variables, the macrostructure and the solidification microstructure and correlating them with the levels of niobium, allow to be evaluated the influence of niobium on them and on grain refining.

KEYWORDS: Unidirectional Solidification, Niobium, Aluminum, Thermal Variables, Mechanical Properties, Grain Refining.

1 | INTRODUÇÃO

O Brasil detém a maior reserva mundial de nióbio (cerca de 90%), sendo apenas duas reservas exploradas, Araxá (MG) a maior com 400 milhões de toneladas e Catalão em Goiás com 95 milhões de toneladas. Entretanto, o Brasil possui uma arrecadação muito pequena. Para efeito de comparação, o Canadá, com apenas 2% das reservas de nióbio no mundo, arrecada 1.000 vezes mais que o Brasil com a exploração do minério, e aplica os recursos em investimentos sociais (Prado, 2018).

O nióbio substitui o manganês, o vanádio e o tungstênio conferindo as ligas propriedades equivalentes, ou seja, agindo como um elemento alternativo. O nióbio primeiramente denominado columbium (Cb), que foi descoberto em 1801 pelo cientista britânico Charles Hatchett em estudos com o mineral columbita, passou a ser denominado em 1846 de nióbio (Nb) em referência a niobe da mitologia grega (filha de Dione e Tântalo), em virtude da semelhança com o metal tântalo.

O nióbio vem sendo aplicado em aços, mostrando resultados promissores, seja pelo ganho de características distintas das conhecidas ou pela substituição de elementos mais caros que o nióbio, em que a substituição, por exemplo, do manganês e do vanádio por nióbio em determinadas aplicações implica na redução de custo do processo de fabricação, mantendo-se as mesmas propriedades mecânicas. Na Figura 1 é mostrada a influência do nióbio em aço estrutural S355, em que o manganês (1,6% em massa) é substituído por diferentes teores de nióbio, de tal forma que em 0,01% em massa de Nb propicia as mesmas características do aço original.

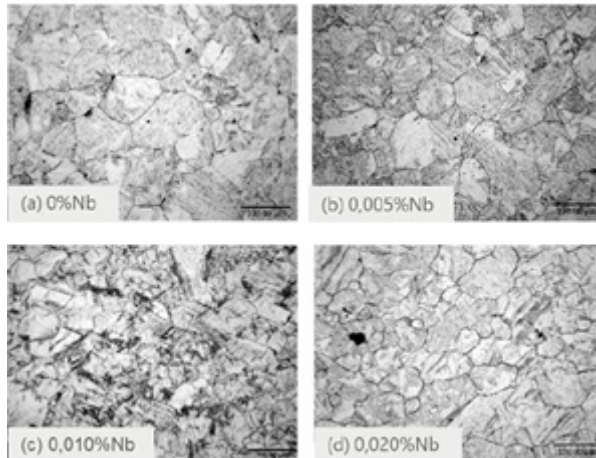


Figura 1: Influência do nióbio em aço estrutural S355 Fonte: (STALHEIM, 2018)

O nióbio também se encontra classificado como um dos metais refratários, que são os metais com temperaturas de fusão extremamente elevadas, sendo a temperatura de fusão do nióbio de 2468 °C (4474 °F). Segundo Callister e Rethwisch (2016), “a ligação interatômica nesses metais é extremamente forte, o que é responsável pelas elevadas temperaturas de fusão e, além disso, pelos elevados módulos de elasticidade e as altas resistências mecânicas e durezas, tanto na temperatura ambiente quanto em temperaturas elevadas”.

O alumínio, que nesta revisão bibliográfica é o elemento principal no qual o nióbio é adicionado, trata-se de um metal leve, com massa específica de 2,7 g.cm⁻³, cerca de 1/3 da massa específica do aço (de forma aproximada, 7,8 g.cm⁻³), e apresenta ponto de fusão de 660,4 °C. É maleável e dúctil, apresenta boas propriedades tecnológicas, como usinabilidade, e é prático em todos os métodos de união, tais como rebiteamento, soldagem, brasagem e colagem. Outra característica muito interessante do alumínio é que para a maioria das aplicações tecnológicas não são necessários revestimentos de proteção. Possui também boas condutividades térmica e elétrica. (Santos, 2015)

Segundo Groover (2017), o *processo de fabricação* é um procedimento que efetua transformações físicas e/ou químicas na matéria-prima e que ocasiona agregação de valor a esse material. Há uma relação linear entre processo de fabricação, estrutura e propriedades resultantes em materiais de engenharia. Estudos relacionados a processos de transformação mostram a influência dos processos de fabricação nas propriedades dos produtos manufaturados (Miranda et al., 2016; Miranda et al., 2017; Nascimento et al., 2017; Nascimento et al., 2018; Nascimento et al., 2019; Santos et al., 2017; dos Santos et al., 2020). Este trabalho objetiva apresentar uma revisão bibliográfica sobre a influência da adição do nióbio no alumínio na sua microestrutura e propriedades mecânicas.

2 | METODOLOGIA

Literaturas específicas foram utilizadas na busca por material bibliográfico para realizar esta revisão bibliográfica, incluindo (1) Artigos, (2) Capítulos de livros, (3) SpringerLink, (4) Google Scholar, (5) Trabalhos de conclusão de curso, e (6) Livros. A lista seletiva de trabalhos compilados sob o princípio básico de pesquisar a influência da adição de nióbio no alumínio na sua microestrutura e propriedades mecânicas é mostrada nas Referências.

3 | INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DE NIÓBIO AO ALUMÍNIO

A principal aplicação da adição de nióbio em ligas de alumínio está relacionada ao refinamento de grão. Na Figura 2, observa-se em uma liga hipoeutética Al-7%Si (% em massa), na qual (a) sem adição de Nb e (b) com a adição de 0,1%Nb, que a inserção de nióbio propiciou um refinamento da estrutura dendrítica.

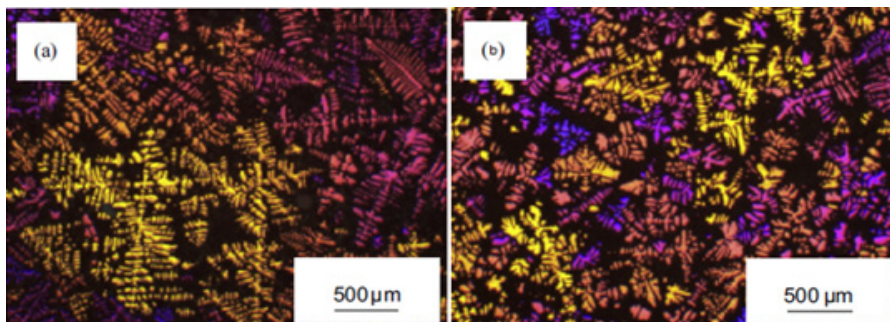


Figura 2: Influência do nióbio em uma liga Al-7%Si. (NOWAK, 2015).

Robert (1983) demonstrou que um eficiente efeito de refino de estruturas de alumínio EC (*Electrical Conductor*) é obtido pela adição de nióbio em teores acima de 0,04%at, em porcentagem atômica, sendo este efeito mantido constante de forma independente do aumento posterior deste percentual. A literatura apresenta relações entre o limite de escoamento de materiais e tamanho de grão (equação de Hall-Petch), em que menores tamanhos de grão oferecem maiores valores de resistência mecânica para um material metálico, considerando composição química inalterada. (Callister e Rethwisch, 2016)

Silva (2017) desenvolveu um estudo que correlaciona variáveis térmicas de solidificação, microestrutura e propriedades mecânicas de ligas binárias do sistema Al-Nb. Na tabela 1 são mostradas as relações experimentais geradas em um processo de solidificação unidirecional e transiente para as ligas Al-0,8%Nb e Al-1,2%Nb, com porcentagens em massa, em que λ_1 e λ_2 são os espaçamentos dendríticos primários e secundários, respectivamente; e TR e V_L são a taxa de resfriamento e a velocidade de deslocamento da isoterma *liquidus*, respectivamente.

Ligas Al-Nb	Relações Experimentais
Al-0,8%Nb	$\lambda_1 = 600 \cdot TR^{-1,85}$ (μm) $\lambda_2 = 186,07 \cdot V_L^{-3,62}$ (μm)
Al-1,2%Nb	$\lambda_1 = 133,5 \cdot TR^{-1,85}$ (μm) $\lambda_2 = 55,61 \cdot V_L^{-3,62}$ (μm)

Tabela 1. Ligas do sistema Al-Nb e respectivas relações experimentais obtidas.

Os resultados apresentados na tabela 1 indicam que maiores valores de variáveis térmicas de solidificação (TR e V_L) proporcionam microestruturas mais refinadas (λ_1 e λ_2). Além disso, Silva (2017) realizou análise de propriedades mecânicas e notou que menores espaçamentos dendríticos apresentaram maiores valores de módulo elástico e de dureza.

Um exemplo de dispositivo para o experimento de solidificação vertical ascendente e transiente é mostrado na figura 3, em que o metal fundido é vazado em uma lingoteira que está inserida no dispositivo, sendo necessário um reaquecimento do metal para corrigir a temperatura *liquidus* da liga. O dispositivo conta com um monitoramento de temperatura e também ajuste da vazão da água de refrigeração no processo de solidificação, sendo os termopares utilizados para monitorar e enviar dados ao *software* de coleta de dados para posterior análise.

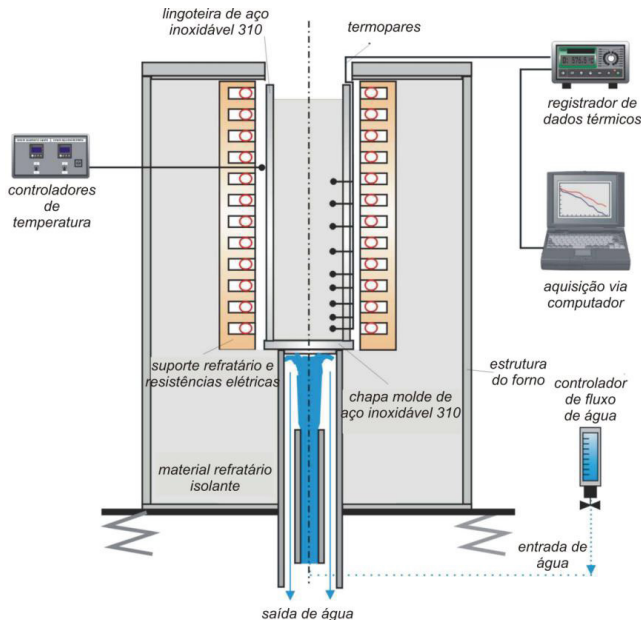


Figura 3: Dispositivo de solidificação unidirecional ascendente. (Goulart, 2010)

4 | CONCLUSÃO

Em termos de microestrutura, a literatura mostra que: (1) o nióbio pode ser utilizado como refinador de grão do alumínio; e (2) que maiores valores de velocidade de deslocamento da isoterma *liquidus* e de taxa de resfriamento tendem a gerar estruturas mais refinadas, que por sua vez, propiciam incremento de propriedades mecânicas como rigidez e dureza de materiais metálicos, o que pôde ser notado também em ligas do sistema Al-Nb.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio fornecido pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo (IFSP), pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela Termomecânica São Paulo S.A. e pela Companhia Nacional de Metalurgia e Mineração (CBMM).

REFERÊNCIAS

AIMONE, P.; YANG, M. Niobium alloys for the chemical process industry. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, v. 71, p. 335-339, 2018.

ASKELAND, D. R., PHULÉ, P.P.; *Ciência e Engenharia dos Materiais*. São Paulo: Cengage Learning, 2008.

AUDEBERT, F.; GALANO, M.; SAPORITI, F. The use of Nb in rapid solidified Al alloys and composites. *Journal of Alloys and Compounds*, v.615, p. S621-S626, 2014.

CALLISTER Jr, W. D. e RETHWISCH, D.G. – *Ciência e Engenharia de Materiais: uma Introdução*, LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 9. ed., Rio de Janeiro, 2016.

dos Santos G.A. et al. (2020) Study on Closed-Die Forging in Stainless Steel as Standard ASTM F138 in Grain Size Function. In: Öchsner A., Altenbach H. (eds) *Engineering Design Applications II. Advanced Structured Materials*, vol 113. Springer, Cham, https://doi.org/10.1007/978-3-030-20801-1_10.

GOULART, P. R. Caracterização da microestrutura de solidificação de ligas Al-Fe e correlação com propriedades mecânicas. 2010. 160 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, Campinas, 2010.

Groover, M. P. *Fundamentos da Moderna Manufatura Versão SI - Vol. 1*, 5. ed. LTC, 2017.

Miranda F, Rodrigues D, Nakamoto FY, Frajuca C, Santos GA, Couto AA. Microstructural Evolution of Composite 8 WC-(Co, Ni): Effect of the Addition of SiC”, *Defect and Diffusion Forum*, Vol. 371, pp. 78-85, 2016. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/DDF.371.78>

Miranda F, Rodrigues D, Nakamoto FY, Frajuca C, Santos GA. The Influence of the Sintering Temperature on the Grain Growth of Tungsten Carbide in the Composite WC-8Ni, *Materials Science Forum*, Vol. 899, pp. 424-430, 2017. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.899.424>

Nascimento MS, Frajuca C, Nakamoto FY, Santos GA, Couto AA. Correlação entre variáveis térmicas de solidificação, microestrutura e resistência mecânica da liga Al-10%Si-

2%Cu. *Materia*, Rio de Janeiro, v. 22, p. e11774, 2017. <http://dx.doi.org/10.1590/s1517-707620170001.0106>

Nascimento MS, Franco ATR, Frajuca C, Nakamoto FY, Santos GA & Couto AA. (2018). An Experimental Study of the Solidification Thermal Parameters Influence upon Microstructure and Mechanical Properties of Al-Si-Cu Alloys. *Materials Research*, 21(5), e20170864. Epub June 18, 2018. <https://dx.doi.org/10.1590/1980-5373-mr-2017-0864>

Nascimento MS, Santos GA, Teram R, Santos VT, Silva MR, Couto AA. Effects of thermal variables of solidification on the microstructure, hardness and microhardness of Cu-Al-Ni-Fe alloys. *Materials* 2019; 12(8): 1267, <https://doi.org/10.3390/ma12081267>.

NOWAK, M.; BOLZONI, L.; BABU, N. Hari. Grain refinement of Al-Si alloys by Nb-B inoculation. Part I: Concept development and effect on binary alloys. *Materials & Design* (1980-2015), v. 66, p. 366-375, 2015.

PRADO, M. *A sociedade precisa conhecer o caso nióbio*, 2018. Disponível em: <<https://www.brasildefato.com.br/2018/03/20/213-artigo-or-a-sociedade-precisa-conhecer-o-caso-niobio/>>. Acesso em: 25 abr. 2020.

ROBERT, M.H. **Refino de estruturas de alumínio pela adição de nióbio, zircônio e titânio via sais halogêneos, e implicações nas suas propriedades mecânicas e elétricas**. Tese de Doutorado - Unicamp. [Campinas] 1983.

Santos GA. **Tecnologia dos materiais metálicos – propriedades, estruturas e processos de obtenção**, São Paulo, Érica, 2015.

Santos GA, Goulart PR, Couto AA, Garcia A. **Primary Dendrite ARM Spacing Effects upon Mechanical Properties of an Al 3wt%Cu 1wt%Li Alloy**. In: **Andreas Ochsner; Holm Altenbach. (Org.). Advanced Structured Materials**. 1ed. Singapore: Springer Singapore, v. 33, p. 215-229, 2017. https://doi.org/10.1007/978-981-10-1602-8_19

SILVA, J. I. S. **Caracterização Microestrutural e Mecânica de Ligas Diluídas de Alumínio-Nióbio**. Dissertação de Mestrado - Universidade de Brasília. [Distrito Federal] 2017.

STALHEIM, D. G. et al. **A New Cost Effective Metallurgical Design Strategy to Develop Optimized Strength and Ductility Properties in Structural Steels**. In. **South East Asia Iron and Steel Institute: Conference & Exhibition, 2018, Jacarta, Indonésia. Anais eletrônicos...** Malásia: SEASIS, 2018

CAPÍTULO 3

ANÁLISE CRÍTICA COMPARATIVA ENTRE A NORMA ISO 29110 E O MODELO MPS.BR NÍVEL G

Data de aceite: 01/07/2020

Nilson Salvetti

Universidade Nove de Julho - UNINOVE
(Programa de Pós-Graduação em Informática
e Gestão do Conhecimento)
nilson.salvetti@uninove.br

André Rivas

Universidade Nove de Julho - UNINOVE
(Programa de Pós-Graduação em Informática
e Gestão do Conhecimento)
rivas.andre@gmail.com

Ivanir Costa

Universidade Nove de Julho - UNINOVE
(Programa de Pós-Graduação em Informática
e Gestão do Conhecimento)
icosta11@live.com

RESUMO. As certificações contemplando modelos de maturidade e normas de qualidade de *software*, como o MPS.Br e ISO/IEC 29110, se fazem necessárias para que as organizações entreguem produtos e serviços com qualidade considerando a competitividade e sobrevivência no mercado global. O modelo MPS.Br foi criado pela Softex e é reconhecido desde 2003. A norma ISO/IEC 29110 foi criada recentemente para que as VSE (*Very Small Entities*), organizações de até 25 (vinte e cinco) colaboradores possam obter um reconhecimento do valor de produtos e serviços prestados à indústria de desenvolvimento de *software*. Este artigo apresenta uma análise crítica comparativa entre esses dois modelos, considerando-se o nível G do MPS.Br.

ÁREAS TEMÁTICAS: MPS.Br, ISO/IEC 29110, análise crítica.

ABSTRACT: Certifications contemplating maturity models and quality standards, such as MPS.Br and ISO / IEC 29110, are necessary for organizations to deliver quality software products and services for their own survival and competitiveness in the global marketplace. The MPS.Br model was created by Softex and has been recognized since 2003. The ISO / IEC 29110 standard was recently created so that VSE (*Very Small Entities*) - organizations of up to twenty-five (25) employees can obtain value recognition of the products and services provided to the software development industry. This article presents a comparative critical analysis between these two models, considering the level G of the MPS.B.

TEMATIC AREAS: Software Quality, Software Quality Models, Software Quality Standards.

1 | INTRODUÇÃO

Algumas organizações de desenvolvimento de *software* do Brasil e do exterior apoiam-se em um modelo de qualidade concebido pela Softex chamado MPS.Br, cuja concepção envolveu o Ministério da Ciência e Tecnologia. Este modelo permite que uma empresa seja certificada com relação à sua maturidade no processo de *software*. Nas bases de dados da entidade estão cadastradas 716 organizações entre os períodos de 2003 e agosto de 2017. Agrega-se a esse montante 7 avaliações realizadas no exterior (Softex, 2017).

Cerca de 15.700 empresas são

dedicadas ao desenvolvimento, produção, distribuição de *software* e de prestação de serviços no mercado nacional, sendo que aproximadamente 59,5% delas possui atividade principal voltada para o desenvolvimento e produção de *software* ou a prestação de serviços. Considerando-se apenas as 4.872 empresas que atuam no desenvolvimento e produção de *software*, cerca de 95% delas podem ser classificadas como micro e pequenas empresas, conforme análise realizada por critério de número de funcionários (até 99 funcionários). As chamadas microempresas representam 45% desse total, ou seja, cerca de 2082 empresas (ABESSOFTWARE, 2017).

De acordo com Audy e Prikladnicki (2007) a busca por modelos e normas se deve à necessidade de as organizações terem um mínimo controle sobre a qualidade do processo utilizado. Desenvolver *software* de qualidade, dentro dos prazos estabelecidos e sem necessitar de mais recursos do que aqueles alocados, tem sido o grande desafio.

Recentemente, em nível internacional, foi criada a norma ISO/IEC 29110, elaborada para micro organizações, denominadas *Very Small Entities* (VSE). Uma VSE é uma entidade (empresa, organização, departamento ou projeto) com até 25 pessoas. Essa norma foi colocada à disposição da coletividade acadêmica e empresarial em 2012, (ABNT, 2012). A norma foi desenvolvida para ser uma solução pensada para as VSEs de maneira a assegurar que a empresa forneça *software* de acordo com os requisitos do cliente, atendendo às suas necessidades, no prazo e com o custo acordado; o fato desta ser uma norma internacional viabiliza um potencial de reconhecimento bem relevante.

Relatos franceses, de acordo com Hébert, Mineau e Laporte (2013), no que tange a utilização da norma em projetos, mostram o desenvolvimento do *software* de acordo com o planejado. Nos EUA, conforme Larrucea et. al (2016), foram analisadas 74 microempresas com base nos processos da ISO/IEC 29110, e os resultados indicam que a maioria delas já têm processos que satisfazem requisitos básicos. Os maiores problemas estão nas áreas de implementação, verificação, validação, casos de teste, procedimento de teste, componentes de *software*, arquitetura e design detalhado.

Dentro desse contexto o objetivo deste artigo é apresentar uma análise comparativa da norma ISO/IEC 29110, em relação aos processos correspondentes ao modelo MPS.Br nível G.

2 | FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O programa para Melhoria de Processo do *Software* Brasileiro (MPS.BR), está em desenvolvimento desde dezembro de 2003 (KOSCIANSKI; SOARES, 2007, p.142) e possui quatro componentes: Modelo de Referência MPS para *Software* (MR-MPS-SW), Modelo de Referência MPS para Serviço (MR-MPS-SV), Método de Avaliação (MAMPS) e Modelo de Negócio (MN-MPS).

O Modelo de Referência MR-MPS define níveis de maturidade de uma organização, que é uma combinação entre seus processos e sua capacidade e considera sete níveis de maturidade: A – Em Otimização; B – Gerenciado quantitativamente; C – Definido; D – Largamente Definido; E – Parcialmente Definido;

F – Gerenciado; G – Parcialmente Gerenciado. O primeiro nível de maturidade do modelo MPS.Br é o G, também chamado de Parcialmente Gerenciado e é composto por duas áreas de processos, a saber: Gerência de Requisitos (GRE) e Gerência de Projetos (GPR). Para cada área de processo o modelo possui resultados esperados. Para os processos do nível G, foco desse artigo, têm-se na Tabela 1:

Áreas de Processo	Propósito	Resultados esperados
Gerência de Requisitos (GRE)	Gerenciar os requisitos do produto e dos componentes do produto do projeto e identificar inconsistências entre os requisitos, os planos do projeto e os produtos de trabalho do projeto.	GRE 1. O entendimento dos requisitos é obtido junto aos fornecedores de requisitos; GRE 2. Os requisitos são avaliados com base em critérios objetivos e um comprometimento da equipe técnica com estes requisitos é obtido; GRE 3. A rastreabilidade bidirecional entre os requisitos e os produtos de trabalho é estabelecida e mantida; GRE 4. Revisões em planos e produtos de trabalho do projeto são realizadas visando identificar e corrigir inconsistências em relação aos requisitos; GRE 5. Mudanças nos requisitos são gerenciadas ao longo do projeto.

<p>Gerência de Projetos (GPR)</p>	<p>Estabelecer e manter planos que definem as atividades, recursos e responsabilidades do projeto, bem como prover informações sobre o andamento do projeto que permitam a realização de correções quando houver desvios significativos no desempenho do projeto. O propósito deste processo evolui à medida que a organização cresce em maturidade.</p>	<p>GPR 1. O escopo do trabalho para o projeto é definido; GPR 2. As tarefas e os produtos de trabalho do projeto são dimensionados utilizando métodos apropriados; GPR 3. O modelo e as fases do ciclo de vida do projeto são definidas; GPR 4. (Até o nível F) O esforço e o custo para a execução das tarefas e dos produtos de trabalho são estimados com base em dados históricos ou referências técnicas; GPR 5. O orçamento e o cronograma do projeto, incluindo a definição de marcos e pontos de controle, são estabelecidos e mantidos; GPR 6. Os riscos do projeto são identificados e o seu impacto, probabilidade de ocorrência e prioridade de tratamento são determinados e documentados; GPR 7. Os recursos humanos para o projeto são planejados considerando o perfil e o conhecimento necessários para executá-lo; GPR 8. (Até o nível F) Os recursos e o ambiente de trabalho necessários para executar o projeto são planejados; GPR 9. Os dados relevantes do projeto são identificados e planejados quanto à forma de coleta, armazenamento e distribuição. Um mecanismo é estabelecido para acessá-los, incluindo, se pertinente, questões de privacidade e segurança; GPR 10. Um plano geral para a execução do projeto é estabelecido com a integração de planos específicos; GPR 11. A viabilidade de atingir as metas do projeto é explicitamente avaliada considerando restrições e recursos disponíveis. Se necessário, ajustes são realizados; GPR 12. O Plano do Projeto é revisado com todos os interessados e o compromisso com ele é obtido e mantido; GPR 13. O escopo, as tarefas, as estimativas, o orçamento e o cronograma do projeto são monitorados em relação ao planejado; GPR 14. Os recursos materiais e humanos bem como os dados relevantes do projeto são monitorados em relação ao planejado; GPR 15. Os riscos são monitorados em relação ao planejado; GPR 16. O envolvimento das partes interessadas no projeto é planejado, monitorado e mantido; GPR 17. Revisões são realizadas em marcos do projeto e conforme estabelecido no planejamento; GPR 18. Registros de problemas identificados e o resultado da análise de questões pertinentes, incluindo dependências críticas, são estabelecidos e tratados com as partes interessadas; GPR 19. Ações para corrigir desvios em relação ao planejado e para prevenir a repetição dos problemas identificados são estabelecidas, implementadas e acompanhadas até a sua conclusão;</p>
-----------------------------------	--	---

Tabela 1 – Áreas de processo, propósito e resultados esperados nível G do MPS.BR

Por outro lado, a norma ISO/IEC 29110 foi criada como forma de reconhecimento da indústria de *software* pelos produtos e serviços gerados pelas VSE (*Very Small Entities*). A ISO/IEC TR 29110-1 introduz a norma aos demais documentos, apresentando os conceitos de processos, ciclo de vida e padronização e conceitos, além de introduzir as características e requisitos de uma VSE, esclarece a razão para a criação de perfis para VSE, documentos, padrões e guias.

A ISO/IEC 29110-2 apresenta os conceitos de padronização de perfis de engenharia de *software* para VSE, e define termos comuns da série ISO/IEC 29110. Também estabelece a lógica por trás da definição e aplicação da padronização de perfis, especificando elementos comuns como estrutura, conformidade e avaliação, além de introduzir a taxonomia (catálogo) da série. A ISO/IEC TR 29110-3 define o guia para avaliação de processo e requisitos necessários para atender aos propósitos definidos para os perfis VSE. Esta parte da norma também contém ferramentas e métodos de avaliação, servindo de guia para garantir que os requisitos necessários para realizar a avaliação encontrem-se presentes. A ISO/IEC 29110-4-m fornece a especificação para todos os perfis em um único grupo de perfis. Já a ISO/IEC TR 29110-5-m-n fornece a gerenciamento para implementação e guia de engenharia para o perfil descrito na parte 4. A norma ISO / IEC 29110 segundo o relatório técnico ISO/IEC TR 29110-5-1-2 define três perfis: Básico, Intermediário e Avançado. O primeiro dos perfis, foi publicado em 2012 sob o nome ISO/IEC 29110 Perfil Básico (ABNT, 2012), apresentado na Tabela 2.

O Perfil Básico é definido com dois processos: Gerência de Projetos (PM – *Project Management*) e Implementação do *Software* (SI – *Software Implementation*). No Perfil Básico, espera-se que, para iniciar o ciclo de vida de desenvolvimento de um projeto de *software*, a organização tenha como entrada uma declaração de trabalho definida. Ao final do seu ciclo, o projeto terá como saída o *software* “configurado” para ser entregue ao cliente.

Processos	Propósito	Objetivos
Gerência de Projetos (PM)	O propósito do processo é estabelecer e manter sistematicamente as tarefas de implementação, visando os objetivos de qualidade esperada, tempo e custo.	<p>PM.01 - O Plano de Projeto para a execução do projeto é desenvolvido de acordo com a Declaração de Trabalho e revisto e aceito pelo Cliente (Registro de Reunião). As tarefas e os recursos necessários para completar o trabalho são dimensionados e estimados. PM.02 - O progresso do projeto é monitorado contra o Plano de Projeto e registrado no Registro de Status de Progresso. Ações corretivas para corrigir os problemas e desvios do plano são tomadas quando as metas do projeto não forem alcançadas (Registro de Correção). O encerramento do projeto é formalizado para obter o aceite do cliente, documentado no Registro de Aceite. PM.03 - As Solicitações de Mudança são tratadas através de sua recepção e análise. Alterações nos requisitos de software são avaliadas quanto ao custo, cronograma e impacto técnico. PM.04 - São mantidas reuniões de revisão com a equipe de trabalho e os clientes. As decisões são registradas e monitoradas (Registro de Reunião). PM.05 - Os riscos são identificados inicialmente e durante a condução do projeto (Repositório do Projeto). PM.06 - Uma Estratégia de Controle de Versão do software é desenvolvida. Itens de Configuração de Software são identificados, definidos e postos em baseline. As modificações e liberações dos itens são controladas e disponibilizadas ao Cliente e à Equipe de Trabalho. O armazenamento, manuseio e entrega dos itens são controlados (Configuração do Software). PM.07 - A Garantia de Qualidade de Software é realizada para assegurar que produtos e processos de trabalho cumpram o Plano de Projeto e a Especificação de Requisitos (Resultados de Verificação).</p>
Implementação do Software (SI)	Realizar sistematicamente as atividades de análise, projeto, construção, integração e testes, para um novo software ou uma modificação, de acordo com os requisitos especificados.	<p>SI.01 - Tarefas das atividades são realizadas em cumprimento do Plano de Projeto. SI.02 - Requisitos de Software são definidos, analisados quanto à correção e testabilidade, aprovados pelo Cliente, colocados em baseline e comunicados (Especificação de Requisitos). SI.03 - Um projeto de arquitetura e detalhamento é desenvolvido e posto em baseline. Ele descreve os itens de software e suas interfaces internas e externas (Design de Software). É estabelecida consistência e rastreabilidade aos requisitos de software (Registro de Rastreabilidade). SI.04 - Os componentes de software definidos pelo projeto são produzidos. Testes unitários são definidos e realizados para verificar a consistência com os requisitos e com o projeto (Casos e Procedimentos de Testes). É estabelecida rastreabilidade para os requisitos e para o projeto (Registro de Rastreabilidade). SI.05 - Software é produzido fazendo a integração dos componentes de software e é verificado usando Casos de Teste e Procedimentos de Teste. Os resultados são registrados no Relatório de Teste. Os defeitos são corrigidos e é estabelecida consistência e rastreabilidade ao Projeto Software (Registro de Rastreabilidade). SI.06 - Uma Configuração de Software, que atende à Especificação de Requisitos conforme acordado com o Cliente, a qual inclui documentações do usuário, de operação e de manutenção é integrada, colocada em baseline e armazenada no Repositório do Projeto. Necessidades de alterações na Configuração do Software são detectadas e as devidas Solicitações de Mudança são iniciadas. SI.07 - Tarefas de Verificação e Validação de todos os produtos de trabalho necessários são realizadas usando critérios definidos para assegurar a consistência entre produtos de saída e entrada em cada atividade. Defeitos são identificados e corrigidos, Registros são armazenados em Resultados de Verificação/Validação.</p>

Tabela 2 – Processos do perfil básico da norma ISO/IEC 29110

Como pode ser observado na Tabela 2, nas descrições dos processos PM e SI, para cada processo existe um conjunto de objetivos. Para alcançar os objetivos do processo, são definidas atividades obrigatórias que recebem produtos de entrada e geram produtos de saída. Os produtos de entrada são gerados por atividades que podem ser intrínsecas ou extrínsecas ao processo e são, portanto, opcionais. Os produtos de saída são gerados pelas atividades realizadas ou pelas tarefas detalhadas de cada uma delas. Há ainda produtos internos que servem de apoio à realização das atividades e que são, também, opcionais. As atividades definidas como obrigatórias para cada processo são descritas no nível de macro atividades e devem ser executadas por meio de um conjunto de tarefas mais detalhadas.

3 | METODOLOGIA

Para realizar a análise crítica comparativa, foi elaborada uma tabela de relacionamento entre cada uma das práticas associadas à norma ISO 29110 e os resultados esperados para os processos do nível G do MPS.BR. Na coluna “Produtos de trabalho” são listados os produtos de trabalho correspondentes a ISO 29110 que evidenciam a realização da prática.

A Tabela 3 apresenta a área de processo GRE do nível G do modelo MPS.BR e as práticas correspondentes na ISO 29110.

Áreas de Processo do MPS. Br – Gerência de Requisitos (GRE)	ISO 29110	
	Práticas correspondentes na ISO	Produtos de trabalho
GRE 1. O entendimento dos requisitos é obtido junto aos fornecedores de requisitos.	SI.O2. Requisitos de Software são definidos, analisados quanto à correção e testabilidade, aprovados pelo cliente, colocados em baseline e comunicados.	Especificação de Requisitos
GRE 2. Os requisitos são avaliados com base em critérios objetivos e um comprometimento da equipe técnica com estes requisitos é obtido.	SI.O2. Requisitos de Software são definidos, analisados quanto à correção e testabilidade, aprovados pelo cliente, colocados em baseline e comunicados	Especificação de Requisitos

<p>GRE 3. A rastreabilidade bidirecional entre os requisitos e os produtos de trabalho é estabelecida e mantida;</p>	<p>SI.O3. Um projeto de arquitetura e detalhamento é desenvolvido e posto em baseline. Ele descreve os itens de software e suas interfaces internas e externas. É estabelecida consistência e rastreabilidade aos requisitos de software. SI.O4. Os componentes de software definidos pelo projeto são produzidos. Testes unitários são definidos e realizados para verificar a consistência com os requisitos e com o projeto. É estabelecida rastreabilidade para os requisitos e para o projeto. SI.O5. O Software é produzido fazendo a integração dos componentes de software e é verificado usando Casos de Teste e Procedimentos Teste. Os resultados são registrados no Relatório de Teste. Os defeitos são corrigidos e é estabelecida consistência e rastreabilidade ao Projeto Software.</p>	<p>Registro de Rastreabilidade</p>
<p>GRE 4. Revisões em planos e produtos de trabalho do projeto são realizadas visando identificar e corrigir inconsistências em relação aos requisitos;</p>	<p>SI.O4. Os componentes de software definidos pelo projeto são produzidos. Testes unitários são definidos e realizados para verificar a consistência com os requisitos e com o projeto. É estabelecida rastreabilidade para os requisitos e para o projeto. SI.O5. O Software é produzido fazendo a integração dos componentes de software e é verificado usando Casos de Teste e Procedimentos Teste. Os resultados são registrados no Relatório de Teste. Os defeitos são corrigidos e é estabelecida consistência e rastreabilidade ao Projeto Software. SI.O7. Tarefas de Verificação e Validação de todos os produtos de trabalho necessários são realizadas usando critérios definidos para assegurar a consistência entre produtos de saída e entrada em cada atividade. Defeitos são identificados e corrigidos; registros são armazenados em Resultados de verificação/validação.</p>	<p>Resultados de Verificação Resultados de Validação</p>
<p>GRE 5. Mudanças nos requisitos são gerenciadas ao longo do projeto.</p>	<p>PM.O3. As solicitações de mudança são tratadas através de sua recepção e análise. Alterações nos requisitos de software são avaliadas quanto ao custo, cronograma e impacto técnico.</p>	<p>Solicitação de Mudança</p>

Tabela 3 – Relacionamento entre as práticas associadas da ISO x Processo GRE do MPS.BR

A Tabela 4 apresenta a área de processo GPR do nível G do modelo MPS.BR e as práticas correspondentes na ISO 29110.

MPS.Br	ISO 29110	
	Práticas correspondente na ISO	Produtos de trabalho
GPR 1. O escopo do trabalho para o projeto é definido;	PM.O1. O Plano de Projeto para a execução do projeto é desenvolvido de acordo com a Declaração de Trabalho e revisto e aceito pelo cliente. As tarefas e os recursos necessários para completar o trabalho são dimensionados e estimados.	Plano do Projeto
GPR 2. As tarefas e os produtos de trabalho do projeto são dimensionados utilizando métodos apropriados;	PM.O1. O Plano de Projeto para a execução do projeto é desenvolvido de acordo com a Declaração de Trabalho e revisto e aceito pelo cliente. As tarefas e os recursos necessários para completar o trabalho são dimensionados e estimados.	Plano do Projeto
GPR 3. O modelo e as fases do ciclo de vida do projeto são definidas;	Implícito no processo de Implementação de Software (SI)	
GPR 4. (Até o nível F) O esforço e o custo para a execução das tarefas e dos produtos de trabalho são estimados com base em dados históricos ou referências técnicas;	PM.O1. O Plano de Projeto para a execução do projeto é desenvolvido de acordo com a Declaração de Trabalho e revisto e aceito pelo cliente. As tarefas e os recursos necessários para completar o trabalho são dimensionados e estimados.	Plano do Projeto
GPR 5. O orçamento e o cronograma do projeto, incluindo a definição de marcos e pontos de controle, são estabelecidos e mantidos;	PM.O1. O Plano de Projeto para a execução do projeto é desenvolvido de acordo com a Declaração de Trabalho e revisto e aceito pelo cliente. As tarefas e os recursos necessários para completar o trabalho são dimensionados e estimados.	Plano do Projeto
GPR 6. Os riscos do projeto são identificados e o seu impacto, probabilidade de ocorrência e prioridade de tratamento são determinados e documentados;	PM.O5. Os riscos são identificados, inicialmente e durante a condução do projeto	
GPR 7. Os recursos humanos para o projeto são planejados considerando o perfil e o conhecimento necessários para executá-lo;	PM.O1. O Plano de Projeto para a execução do projeto é desenvolvido de acordo com a Declaração de Trabalho e revisto e aceito pelo cliente. As tarefas e os recursos necessários para completar o trabalho são dimensionados e estimados	Plano do Projeto
GPR 8. (Até o nível F) Os recursos e o ambiente de trabalho necessários para executar o projeto são planejados;	PM.O1. O Plano de Projeto para a execução do projeto é desenvolvido de acordo com a Declaração de Trabalho e revisto e aceito pelo cliente. As tarefas e os recursos necessários para completar o trabalho são dimensionados e estimados	Plano do Projeto

<p>GPR 9. Os dados relevantes do projeto são identificados e planejados quanto à forma de coleta, armazenamento e distribuição. Um mecanismo é estabelecido para acessá-los, incluindo, se pertinente, questões de privacidade e segurança;</p>	<p>PM.O6 - Uma Estratégia de Controle de Versão do software é desenvolvida. Itens de Configuração de Software são identificados, definidos e postos em baseline. As modificações e liberações dos itens são controladas e disponibilizadas ao Cliente e à Equipe de Trabalho. O armazenamento, manuseio e entrega dos itens são controlados (Configuração do Software).</p>	<p>Repositório do Projeto</p>
<p>GPR 10. Um plano geral para a execução do projeto é estabelecido com a integração de planos específicos;</p>	<p>PM.O1. O Plano de Projeto para a execução do projeto é desenvolvido de acordo com a Declaração de Trabalho e revisto e aceito pelo cliente. As tarefas e os recursos necessários para completar o trabalho são dimensionados e estimados.</p>	<p>Plano do Projeto</p>
<p>GPR 11. A viabilidade de atingir as metas do projeto é explicitamente avaliada considerando restrições e recursos disponíveis. Se necessário, ajustes são realizados;</p>		
<p>GPR 12. O Plano do Projeto é revisado com todos os interessados e o compromisso com ele é obtido e mantido;</p>	<p>PM.O1. O Plano de Projeto para a execução do projeto é desenvolvido de acordo com a Declaração de Trabalho e revisto e aceito pelo cliente. As tarefas e os recursos necessários para completar o trabalho são dimensionados e estimados.</p>	<p>Plano do Projeto</p>
<p>GPR 13. O escopo, as tarefas, as estimativas, o orçamento e o cronograma do projeto são monitorados em relação ao planejado;</p>	<p>SI.O1. - Tarefas das atividades são realizadas em cumprimento do Plano de Projeto. PM.O2 - O progresso do projeto é monitorado contra o Plano de Projeto e registrado no Registro de Status de Progresso. Ações corretivas para corrigir os problemas e desvios do plano são tomadas quando as metas do projeto não forem alcançadas (Registro de Correção). O encerramento do projeto é formalizado para obter o aceite do cliente, documentado no Registro de Aceite.</p>	<p>Registro de Status de Progresso</p>
<p>GPR 14. Os recursos materiais e humanos bem como os dados relevantes do projeto são monitorados em relação ao planejado;</p>	<p>PM.O2 - O progresso do projeto é monitorado contra o Plano de Projeto e registrado no Registro de Status de Progresso. Ações corretivas para corrigir os problemas e desvios do plano são tomadas quando as metas do projeto não forem alcançadas (Registro de Correção). O encerramento do projeto é formalizado para obter o aceite do cliente, documentado no Registro de Aceite.</p>	<p>Registro de Status de Progresso</p>
<p>GPR 15. Os riscos são monitorados em relação ao planejado;</p>	<p>PM.O2 - O progresso do projeto é monitorado contra o Plano de Projeto e registrado no Registro de Status de Progresso. Ações corretivas para corrigir os problemas e desvios do plano são tomadas quando as metas do projeto não forem alcançadas (Registro de Correção). O encerramento do projeto é formalizado para obter o aceite do cliente, documentado no Registro de Aceite.</p>	<p>Registro de Status de Progresso</p>

GPR 16. O envolvimento das partes interessadas no projeto é planejado, monitorado e mantido;	PM.O2 - O progresso do projeto é monitorado contra o Plano de Projeto e registrado no Registro de Status de Progresso. Ações corretivas para corrigir os problemas e desvios do plano são tomadas quando as metas do projeto não forem alcançadas (Registro de Correção). O encerramento do projeto é formalizado para obter o aceite do cliente, documentado no Registro de Aceite.	Registro de Status de Progresso
GPR 17. Revisões são realizadas em marcos do projeto e conforme estabelecido no planejamento;	PM.O4 - São mantidas reuniões de revisão com a equipe de trabalho e os clientes. As decisões são registradas e monitoradas	Registro de Reunião
GPR 18. Registros de problemas identificados e o resultado da análise de questões pertinentes, incluindo dependências críticas, são estabelecidos e tratados com as partes interessadas;	PM.O2 - O progresso do projeto é monitorado contra o Plano de Projeto e registrado no Registro de Status de Progresso. Ações corretivas para corrigir os problemas e desvios do plano são tomadas quando as metas do projeto não forem alcançadas (Registro de Correção). O encerramento do projeto é formalizado para obter o aceite do cliente, documentado no Registro de Aceite.	Registro de Correção
GPR 19. Ações para corrigir desvios em relação ao planejado e para prevenir a repetição dos problemas identificados são estabelecidas, implementadas e acompanhadas até a sua conclusão;	PM.O2 - O progresso do projeto é monitorado contra o Plano de Projeto e registrado no Registro de Status de Progresso. Ações corretivas para corrigir os problemas e desvios do plano são tomadas quando as metas do projeto não forem alcançadas (Registro de Correção). O encerramento do projeto é formalizado para obter o aceite do cliente, documentado no Registro de Aceite.	Registro de Correção

Tabela 4 – Relacionamento entre as práticas associadas da ISO x Processo GPR do MPS.BR

Os resultados esperados dos atributos do processo (RAP) do MR-MPS-SW, não foram considerados por serem reconhecidos como itens voltados à institucionalização de processos e, portanto, estão fora do escopo deste trabalho.

4 I ANÁLISE DOS RESULTADOS

Para a análise dos resultados foi realizada uma busca de evidências potenciais nos resultados esperados para a norma e modelo. Com isso pôde-se identificar lacunas entre a norma ISO 29110 e o MPS.Br. A seguir descrevem-se os itens encontrados e comentários gerais. Para a comparação entre as normas estabeleceu-se que o Modelo MPS.Br é a referência para a análise crítica comparativa. Em relação a Gerência de Requisitos (GRE), o modelo e a norma se mostraram totalmente compatíveis, porém ressaltam-se algumas observações. Para o GRE 2 o Modelo MPS.Br cita critérios objetivos para se avaliar requisitos, ao contrário da norma.

Para GRE 3 a norma descreve com clareza como é feita a rastreabilidade. Para GRE 4 a norma é clara de como a atividades deve ser executada através dos artefatos exemplificados. Em relação a Gerência de Projetos (GPR), tem-se as

seguintes observações:

Para GPR 1, a norma pede como evidencia uma Declaração de Trabalho, sendo que tal artefato não é exigido para o MPS.Br. Para GPR 3 o modelo pede a definição e o modelo do ciclo de vida. Na norma essa informação está implícita no processo de SI, pois as atividades desse processo representam um ciclo de vida.

Para GPR 5 o modelo pede o estabelecimento do orçamento e cronograma do projeto. A norma não contempla esses aspectos. Para GPR 6 o modelo é mais abrangente em relação a definição dos riscos, incluindo impacto, probabilidade, e prioridade de tratamento.

Para GPR 11 que trata de viabilidade do projeto, a norma não contempla esse resultado. Para GPR 16 enquanto o modelo define o envolvimento das partes interessadas, esse aspecto aparentemente é tratado no Plano de Projeto e monitorado no progresso do mesmo. Para GPR 17, o modelo define “marcos” do projeto. A norma cita apenas reuniões de revisão com equipe de trabalho e clientes, o que pode ser considerado um “marco”.

5 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante dos resultados obtidos no presente estudo, verificou-se que há relevante convergência entre o Modelo MPS.Br e a norma ISO 29110; no entanto, fatores que remetem às responsabilidades para a Gestão de Projetos não se mostraram equivalentes; tal dissensão aponta uma direção para estudos futuros, a fim de evidenciar estas causas. Sugere-se, neste sentido, um trabalho de cunho prático exploratório, tal qual sustentaria um estudo de caso ou pesquisa-ação.

Cabe mencionar que o propósito deste artigo, a de realização de análise crítica, foi alcançado; servindo assim, os resultados oriundos das proposições teóricas aqui abordadas como insumos ao meio acadêmico para novas pesquisas.

REFERÊNCIAS

<http://www.softex.br/mpsbr/> acessado em 22/09/2017

<http://central.abesssoftware.com.br/Content/UploadedFiles/Arquivos/Dados%202011/ABES-Publicacao-Mercado-2017.pdf> acessado em 22/09/2017

ABNT, ISO/IEC TR 29110-5-1-2 – Engenharia de Software – Perfis de ciclo de vida para micro-organizações (VSEs)- Parte 5-1-2: Guia de Engenharia e Gestão – válida a partir de 2012

AUDY, J; PRIKLADNIC, R Desenvolvimento Distribuido de Software Ed. Campus, 2007

PRESSMAN, Roger. Engenharia de Software – uma abordagem profissional. RGS: AMGH Editora, 8ª ed., 2016

KOSCIANSKI, A.; SOARES, M. S. Qualidade de Software: aprenda as metodologias e técnicas mais modernas para o desenvolvimento de software. 4. ed. São Paulo: Novatec Editora, 2007

Larrucea, X., O'Connor, R.V., Colomo-Palacios, R. e Laporte, C. Y. Software Process Improvement in Very Small Organizations. EUA: IEEE SOFTWARE, Março-Abril, 2016

CAPÍTULO 4

ANÁLISE DA ADERÊNCIA AO PLANEJAMENTO ESTRATÉGICO INSTITUCIONAL: ABORDAGEM BASEADA EM REDES BAYESIANAS

Data de aceite: 01/07/2020

Data de submissão: 03/05/2020

Danilo de Souza Novaes

Universidade Federal Rural da Amazônia
Belém – Pará

Link para o Currículo Lattes: <http://lattes.cnpq.br/5336303262386293>

Roseno Nunes de Almeida Neto

Universidade Federal Rural da Amazônia
Belém – Pará

Link para o Currículo Lattes: <http://lattes.cnpq.br/2742616519900668>

Silvana Rossy de Brito

Universidade Federal Rural da Amazônia
Belém – Pará

Link para o Currículo Lattes: <http://lattes.cnpq.br/3862009446096908>

Aleksandra do Socorro da Silva

Universidade Federal Rural da Amazônia
Belém – Pará

Link para o Currículo Lattes: <http://lattes.cnpq.br/9825582909788318>

RESUMO: O Planejamento de Desenvolvimento Institucional (PDI) das Instituições Federais de Ensino Superior (IFES) necessita ser construído de forma aberta, participativa e acessível a todos os agentes impactados por esse documento, pois representa o projeto de expansão e melhoria dos serviços e deve estar alinhado com os objetivos da instituição para com a comunidade. Para além disso é notável que ainda são tímidos os investimentos em Gestão do Conhecimento nas IFES,

mesmo que estes possam garantir um melhor atendimento à comunidade. Baseando-se na bibliografia existente, com a aplicação de questionários, e entrevistas roteirizadas, este trabalho apresenta uma análise da aderência dos setores dentro da Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA) ao seu PDI. A partir dos resultados e da aplicação de técnicas de mineração de dados das respostas dos servidores aos questionários aplicados, explicitou-se desafios relacionado à cultura organizacional, comunicação interna e externa e capacitação, além de aspectos conjunturais e comportamentais.

PALAVRAS-CHAVE: Gestão do Conhecimento, Gestão do Conhecimento Organizacional, Gestão do conhecimento em IFES, Planejamento Estratégico, Planejamento Desenvolvimento Institucional.

ADHESION ANALYSIS TO INSTITUTIONAL STRATEGIC PLANNING: APPROACH BASED ON BAYESIAN NETWORKS

ABSTRACT: The Institutional Development Plan (PDI) of the Federal Institutions of Higher Education (IFES) needs to be constructed in an open, participative and accessible way to all the agents impacted by this document, considering that it represents the project of expansion and improvement of services and should be aligned with the institution's objectives vis-à-vis the community. In addition, it is notable that investments in Knowledge Management in IFES are still rare, even if they can guarantee better service to the community. Based on the existing bibliography, with the application of questionnaires and scripted interviews, this study presents

an analysis of the adherence of the sectors from the Federal Rural University of Amazonia (UFRA) to its PDI. As long as the results and application of data mining techniques of the public servants responses to the applied questionnaires, challenges related to organizational culture, communication, internal and external training, furthermore to conjectural and behavioral aspects were explained. **KEYWORDS:** Knowledge Management, Organizational knowledge management, Knowledge management at higher education institutions, Strategic planning, Institutional Development Planning.

1 | INTRODUÇÃO

Em um cenário de alta competitividade mundial as organizações públicas e privadas enfrentam grandes desafios no que tange o seu crescimento. Segundo Silva et. al. (2013, p. 02) as organizações necessitam estar dispostas a aprender em todos os níveis, criando sua realidade com comprometimento e mudanças para alcançar os resultados desejados. As instituições federais de ensino superior (IFES) são alvo de interesse do campo de investigação em gestão do conhecimento, pois estão com suas práticas de gestão do conhecimento nas áreas de administração e de planejamento no estágio inicial, apresentando índices de implantação inferiores aos dos órgãos e entidades da Administração Direta Federal (BATISTA, 2006). Para além das exigências da legislação vigente, a construção de um planejamento para o desenvolvimento institucional é um processo sistêmico onde as organizações buscam estabelecer uma estratégia consistente para definir seu papel na sociedade, e considerando o contexto regional, a efetividade dos resultados aliada à eficiência na gestão dos recursos.

Este trabalho está situado no contexto da gestão do conhecimento, especialmente com respeito à aderência de diferentes unidades organizacionais ao processo de criação e implantação do seu Plano de Desenvolvimento Institucional (PDI). Apresenta, em especial, desafios identificados a partir de questionários aplicados aos servidores, após a elaboração do PDI institucional. A seção 2 apresenta o tema gestão de conhecimento e como o planejamento estratégico institucional constitui uma inovação para a instituição; a seção 3 apresenta a metodologia do trabalho; a seção 4 apresenta os resultados e discussão; finalmente, a seção 5 apresenta das conclusões do trabalho.

2 | GESTÃO DO CONHECIMENTO

As mudanças na cultura organizacional foram impulsionadas por uma conjuntura de rápidas mudanças e competitividade acirrada. Para Takeuchi e Nonaka (2008, p. 39) o conhecimento é a fonte de uma vantagem competitiva duradoura em um cenário econômico em que a única certeza é a incerteza. Para Angeloni e Fernandes (2000, p. 2) as características mais notáveis dessa sociedade são sua nova forma de vislumbrar os empreendimentos, cujos pressupostos básicos são a consideração da fonte de recursos e competitividade, não apenas nos ativos tangíveis das organizações, mas em sua base de conhecimento existente. Para os autores, a criação do conhecimento apenas pode ser feita pelos indivíduos, ou

seja, a organização não cria conhecimento sem a atuação de pessoas, por isso deve incentivar atividades ou contextos apropriados que estimulem a criação de conhecimento de seus integrantes (TAKEUCHI e NONAKA 2008, p25).

Estes ainda afirmam que apesar de o indivíduo ser o “criador” do conhecimento o mesmo passará por um grupo (setor) o qual “sintetizará” através de debates, “*braisntormrs*” e outros, para que a organização “amplifique” o conhecimento gerado, em formas de novos produtos, serviços e inovação. Por fim Takeuchi e Nonaka (2008) afirmam que quanto mais autônoma, diversa e autoorganizada for a equipe, mais eficazmente funcionará como “sintetizador” (Figura 1).

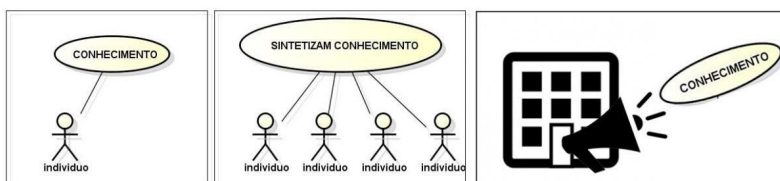


Figura 1. Criação do Conhecimento Organizacional

Elaborado pelos autores a partir dos conceitos de Takeuchi e Nonaka (2008).

A gestão do conhecimento é a área que aplica tecnologias e processos com o objetivo de apoiar a criação, a transferência e a aplicação do conhecimento nas organizações. Se por um lado os sistemas de informação podem facilitar o processo de obtenção de informações a partir de uma massa de dados, os sistemas de Gestão do Conhecimento podem auxiliar nos processos de organizar o conhecimento de uma organização. A principal preocupação, entretanto, está na melhoria do desempenho organizacional, que pode ser apoiado por processos e tecnologias.

Nas organizações públicas a Gestão do conhecimento enfrenta diversos desafios. Na ocasião em que o IPEA (BATISTA, 2004) analisou o PPA (Plano Plurianual) do governo Lula, entre os anos de 2000-2003, identificou diversos fatores que influenciaram negativamente os programas do governo. Destacamos, a seguir, alguns desses fatores diretamente ligados a Gestão do Conhecimento: servidores e setores não conhecerem bem suas atribuições; servidores que não conhecem o papel da organização ou não participam de processos, ações e soluções dos problemas e ainda não são capacitados devidamente para desempenhar suas funções; informações sem circulação ágil e correta entre servidores e setores; inexistência de preocupação constante com inovação e mudança.

De acordo com Batista (2004), a melhoria da gestão das organizações públicas é fundamental para o êxito da gestão governamental, e assim conseguir financiamentos de órgãos internacionais para que se possa investir no fortalecimento institucional.

Dessa forma, a gestão do conhecimento tem por objetivo apoiar a criação, transferência e a aplicação do conhecimento nas organizações. Se por um lado os

sistemas de informação podem facilitar o processo de obtenção de informações a partir de uma massa de dados, os sistemas de Gestão do Conhecimento podem auxiliar nos processos de organizar o conhecimento de uma organização. A principal preocupação, entretanto, está na melhoria do desempenho organizacional, que pode ser apoiado por processos e tecnologias.

2.1 Planejamento Estratégico Institucional da UFRA

Quando analisamos nosso cenário, na Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA, o PDI foi construído a partir de um diagnóstico feito para que se pudesse qualificar tecnicamente a configuração dos ambientes, interno (pontos fortes e pontos fracos) e externo (oportunidades e ameaças). Segundo SANTANA (2015, p.11), trata-se de uma peça de planejamento simples, porém atual, inovadora metodologicamente e fundamentada teoricamente, construída dentro da realidade e capacidade operacional da universidade, alinhada às demandas sociais e às diretrizes e metas do Plano Nacional de Educação 2014-2024 do Ministério da Educação. O PDI pode ser entendido como a “consciência organizacional atualizada e disseminada” sobre importâncias, objetivos, metas, recursos, resultados e prazos, que orientam a gestão e norteiam a composição e a harmonização da agenda interna e externa (SOTO, 2003).

A instituição estabeleceu o compromisso de oferecer uma educação superior pautadas em princípios que primam pela qualidade da formação, o incentivo à pesquisa e o oferecimento de variados ramos de pesquisa em pós-graduação que contribuirão para a o fortalecimento da instituição e mesmo da pesquisa e ciência.

A definição de metas ousadas, com a proposta de quadruplicar o número de cursos de graduação até o ano de 2024, explicita uma conjuntura de expansão das Universidades Federais, advinda através de políticas públicas como o Plano de Reestruturação e Expansão das Universidades Federais (REUNI) e o Plano Nacional da Educação (PNE), além desses fatores a instituição ainda colhia os frutos do Projeto de Fortalecimento Institucional (ProUFRA), financiado pelo Reino Unido e executado em parceria com o *Department for International Development* (DFID) (SANTANA, 2015).

Entretanto, segundo Silva e Silva 2017 houve uma diminuição proporcional nos valores de investimentos do REUNI, pois as 18 novas IFES criadas pelo programa passaram a disputar os recursos com as antigas, ou seja, apesar de verificado o crescimento no orçamento destinado para as universidades federais brasileiras nos últimos anos, este não vem se mostrando suficiente para atender a atual demanda destas instituições. Para os autores isso tem levado, não a uma democratização do ensino superior, mas sim o aprofundamento da precarização, aliado a isso a crise Político-econômica de 2015 afetou os repasses de verbas para as universidades federais. Em entrevista roteirizada, o Reitor em exercício afirmou que o PLAIN teve seus cronogramas atrasados em três anos, devido aos cortes de gastos promovidos pelo governo federal durante os anos de 2015 a 2017.

3 | METODOLOGIA

Para a implantação de um PDI na organização, é imprescindível que as unidades, em especial seus servidores, estejam engajados com os objetivos e metas estabelecidos, acompanhando os avanços através de indicadores bem estabelecidos.

Nesse contexto, com vistas a analisar a aderência dos setores da UFRA ao PDI, este trabalho apresenta uma metodologia baseada em pesquisa bibliográfica, pesquisa documental, com elaboração e aplicação de questionários e mineração de dados com o objetivo de extrair conhecimento a partir da identificação de associações entre as respostas dos questionários aplicados. Finalmente, foram realizadas entrevistas estruturadas com a finalidade de capturar a visão dos gestores da IFES sobre a aderência dos setores ao PDI. Um resumo dessas etapas é apresentado na Figura 2 e descrito a seguir.

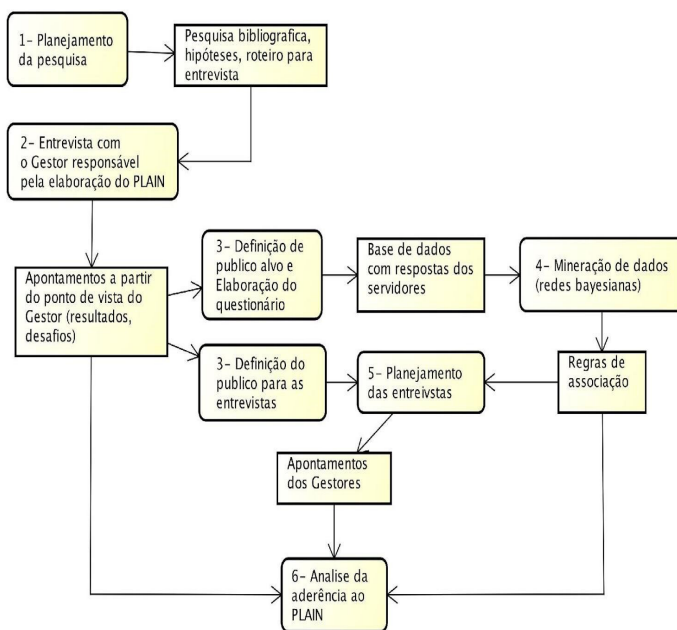


Figura 2. Metodologia para análise do PDI na UFRA

A primeira etapa (1), o planejamento da pesquisa, envolveu pesquisa em trabalhos correlatos e na literatura especializada de Gestão de Conhecimento. A partir dessa etapa que remete ao reconhecimento de que o conhecimento é um dos mais importantes recursos de uma organização e que, para a UFRA, o instrumento que melhor captura os aspectos de conhecimento organizacional é o PDI, foi realizada uma entrevista com o gestor responsável pela elaboração do PDI, na segunda etapa (2). Na sequência, foram definidos os públicos alvo da pesquisa, servidores e gestores, para aplicação de questionários e realização de entrevistas

(3). A partir da aplicação de questionários para os servidores da UFRA, foi possível consolidar uma base de dados com as respostas, a partir da qual foi realizada a mineração de dados com o objetivo de identificar associações entre as respostas (4). As regras de associação encontradas direcionaram o planejamento das entrevistas com os gestores dos setores pesquisadores (5). Para a etapa final, de análise da aderência do PDI (6), foram utilizados os apontamentos do gestor responsável pelo PDI, as respostas dos servidores, bem como as associações mineradas a partir da base de respostas, e os apontamentos dos gestores dos setores analisados.

A metodologia foi desenvolvida de forma iterativa, a partir dos resultados alcançados em cada etapa. Por exemplo, a partir da observação do Gestor responsável pela elaboração do PDI, que o corpo técnico da instituição não teria a compreensão adequada sobre os detalhes do documento, foi planejado e elaborado o questionário a ser aplicado nos setores. Nesse questionário, elaborado pelos autores a partir das observações, levou-se em consideração o setor, o conhecimento particular de técnicos e a aderência do planejamento do setor ao PDI da instituição, buscando-se identificar aqueles setores onde havia maior consonância com o PDI. Da mesma forma, foi elaborado um roteiro para entrevista aos gestores, orientado pelas respostas dos servidores, pelos apontamentos do gestor e pela própria análise da base de respostas dos servidores aos questionários aplicados.

4 | RESULTADOS

O questionário foi elaborado a partir de seis perguntas objetivas e uma pergunta subjetiva, envolvendo o grau de conhecimento do planejamento sendo do PDI e do setor em qual este trabalha. Foram aplicados em 22 setores administrativos com 59 técnicos do campus sede, representando 13,53% do total de técnicos dos campi da UFRA. Aplicado nos dias de 20 de fevereiro a 09 e março de 2017, na Prefeitura do Campus Sede, em dois Institutos, Biblioteca, Hospital Veterinário, Prós Reitorias e setores da reitoria, como o setor de tecnologia. Também foram realizadas entrevistas roteirizadas com os gestores em exercício. Coletados, esses dados foram submetidos à mineração de dados utilizando as redes bayesianas em busca da extração de regras associação a partir da base de dados das respostas fornecidas.

Verificou-se que 35,6% dos técnicos administrativos da universidade afirmam não conhecer o PDI, sendo uma das maiores dificuldades citadas pelos servidores. Do total, 40,7% do corpo administrativo afirmou, também, não possuir planejamento no setor o qual exercem suas funções.

Quando perguntados sobre se o PDI está de acordo com o planejamento do setor em que atuam, apenas 22% afirmaram que o planejamento está de acordo com o seu setor 41,5% afirmaram ser atendidos parcialmente pelo PDI, 36,5% afirmaram que o planejamento do setor não está alinhado ao PDI.

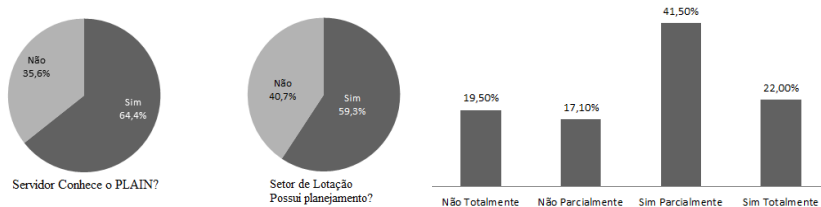


Figura 3: Gráficos sobre o Conhecido do PLAIN e sua adesão ao setor.

Quando questionados quais seriam as maiores dificuldades para adesão do setor ao PDI, as mais citadas foram a falta de divulgação do PDI e a falta de recursos humanos com 55,9% dos servidores apontando este problema. Em seguida a falta de valorização dos técnicos administrativos com 40,7% empatado com a falta de treinamento. Apesar da conjuntura de crise financeira no país, a falta de recursos financeiros apareceu somente em quinto lugar com 35,6% das respostas. A falta de pró-atividade e a dificuldade política do gestor foram apontadas com 25,4% e apenas 13,6% dos servidores indicou a falta de valorização dos docentes como uma problemática para o PDI. Finalmente, 8,5% afirmaram que o documento não contempla as ações do seu setor; e, 6,8% indicaram outras dificuldades (Fig. 4).

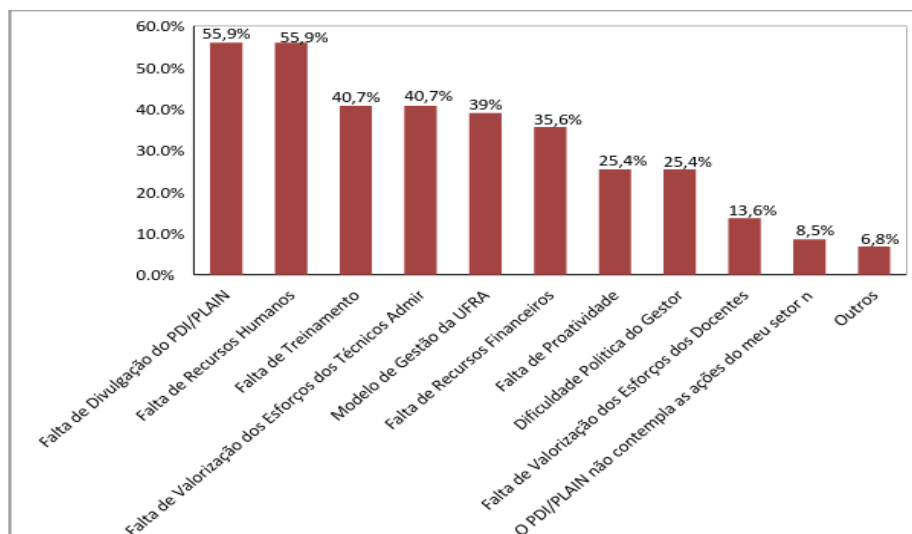


Figura 4. Dificuldades enfrentadas para aderir ao PDI

Quando perguntados sobre se o modelo de gestão da universidade dificulta a aderência ao PDI mais da metade dos entrevistados afirmaram não saber responder, entretanto para 28,8% o modelo de gestão adotado pela universidade dificulta a aderência ao PDI.

Na sequência, a base de respostas dos funcionários foi submetida à análise de redes bayesianas com o objetivo de encontrar associações úteis para a análise

da aderência ao PDI. Os resultados dos testes realizados foram capazes de detectar duas árvores bayesianas (Figura 5), a primeira aponta uma associação entre as variáveis relacionadas à falta de divulgação, falta de pró-atividade e falta de valorização dos técnicos administrativos.

A segunda árvore de associações encontrada demonstra associação entre o grau de conhecimento do PDI, o fato de o setor do servidor possuir ou não planejamento, se o planejamento do setor está de acordo com PDI, falta de recursos financeiros e a falta de recursos humanos.

Para facilitar a explicação e a construção dos gráficos, foram criadas variáveis que representam os valores obtidos com as associações e testes realizados, a tabela 1, demonstra os nomes das variáveis bem como os valores por elas representados.

Variável	Significado
Falta de Divulgação (Dificuldade_Divulgação)	Marcou a “Falta de Divulgação” como uma das principais dificuldades para a aderência ao PDI
Falta de Proatividade (Falta_Proatividade)	Marcou a “Falta de Proatividade” como uma das principais dificuldades para a aderência ao PDI
Valorização do Técnico Administrativo (Dificuldade_Val_Tec)	Marcou a “Falta de Valorização dos esforços dos Técnicos Administrativos” como uma das principais dificuldades para a aderência ao PDI
Dificuldade do Gestor (Dificuldade_gestor)	Marcou a “Dificuldade Política do Gestor” como uma das principais dificuldades para a aderência ao PDI
Conhece Planejamento (Conhece_Planejamento)	Pergunta se possui conhecimento do PDI
Setor Possui Planejamento (Possui_Planejamento)	Pergunta se o setor em que técnico administrativo está lotado possui planejamento
Planejamento_De_Acordo_Com_Setor	Pergunta se trabalha em um setor que o PDI está de contemplado planejamento do mesmo
Dificuldade_RH	Quando o técnico administrativo assinalou a opção “Falta de Recursos Humanos” como uma das principais dificuldades para a aderência ao PDI.
Dificuldade Financeira (Dificuldade_Financeira)	Marcou a “Falta de Recursos Humanos” como uma das principais dificuldades para aderência ao PDI.

Tabela 1. Relação variáveis x significado

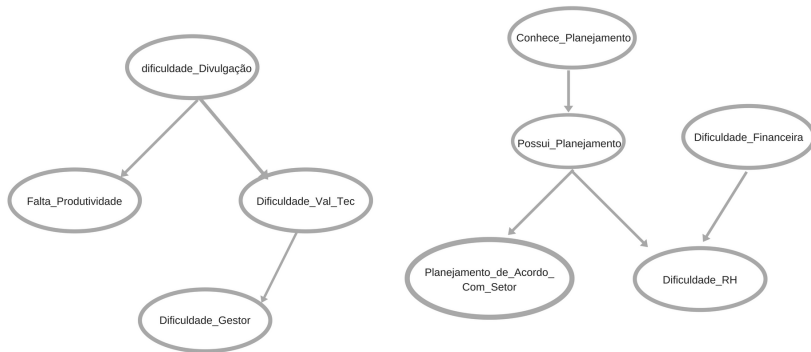


Figura 5. Redes Bayesianas obtidas a partir das respostas dos questionários.

As inferências são realizadas sobre a estrutura quantitativa da rede bayesiana, extraídas em termos de probabilidades condicionais, de forma que permitem aprofundar as análises das associações. Algumas das inferências para as associações encontradas são descritas a seguir.

Selecionando ao acaso um técnico administrativo dentre os setores pesquisados, que possui conhecimento sobre o PDI, a possibilidade de esse setor realizar o planejamento é de 73,4% (Figura 5). Entretanto, quando o mesmo não conhece o PDI a chance de este ser de um setor que não realiza planejamento é de 66,3%.

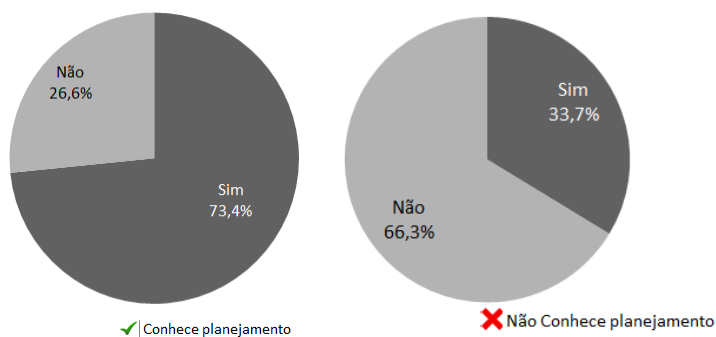


Figura 6. Probabilidade condicional para evidência "Servidor conhece o PDI"

Se o servidor conhece o PDI e seu setor possui planejamento, a probabilidade de o PDI está "completamente alinhado" ao planejamento do setor é de 25,6%; por outro lado, a probabilidade do setor de estar apenas parcialmente de acordo é de 48,2%.

Se o servidor é de um setor que possui planejamento, a possibilidade dos servidores desse setor terem afirmado que a falta de recursos humanos (RH) é um problema para a consolidação do PDI é de 66,8%. Entretanto, observou-se que quando os funcionários são de um setor que não possui planejamento, a chance

de apontar que o RH é uma das principais problemáticas enfrentadas pelo PDI é de apenas 33,7%.

Alguns servidores apontaram a falta de recursos financeiros como uma dificuldade do PDI. Para esses servidores, a possibilidade de também ter citado que a dificuldades com recursos humanos é um desafio para o PDI é de 72,6%; por outro lado, quando se trata de um colaborador que não citou a dificuldade financeira como um fator de entrave ao PDI.

A probabilidade de um servidor que respondeu que a falta de valorização não é uma das principais problemáticas encontradas, sentir que seus esforços são valorizados é de 76,9%. Dada a evidência de que o servidor afirmara que a falta de valorização dos técnicos é uma problemática enfrentada pelo planejamento 57,6% afirmaram que há falta de valorização dos esforços dos técnicos administrativos.

Dada a evidência de que um servidor aponta a falta de divulgação do PDI como um dos principais entraves para a sua consolidação, 92,3% responderam que a falta de pró-atividade não é um fator problemático para a implantação do planejamento.

Quando a evidência é de que um servidor aponta a dificuldade de valorização do técnico administrativo como associada ao desenvolvimento do PDI ao setor, há 60% de probabilidade desse servidor também não apontar a dificuldade política do gestor; por outro lado, essa probabilidade aumenta para 88,2% quando a evidência é que a dificuldade de valorização dos técnicos interfere na aderência do setor ao PDI.

Por fim, foram realizadas entrevistas roteirizadas a partir de seis perguntas, definidas com base nos resultados parciais dos questionários, foram entrevistados seis dos oito gestores superiores da universidade (Reitor e pró-reitores), alcançando um percentual de 75% dos gestores. Quando questionados sobre a afirmativa dos técnicos de que há pouca divulgação do PDI, os gestores foram unânimes em dizer que houve divulgação do processo de construção do PDI assim como do documento que foi gerado e aprovado. Porém os mesmos afirmam que há ausência de interesse dos servidores em buscar informações. Nesse aspecto, um dos gestores admitiu que a usabilidade do site da UFRA, dificulta as buscas pelo documento.

Relata-se também, na afirmativa de que há ausência de recursos humanos na universidade, onde gestores afirmaram que essa informação não era totalmente verdadeira e o que o Coeficiente Aluno Técnico (CAT) da UFRA é tido como acima do recomendado pelo Ministério da Educação. O CAT da UFRA segundo informação do Reitor em exercício, na ocasião da entrevista, é de um técnico para cada oito alunos, enquanto o recomendado é de um técnico para cada quinze alunos. O que apurou-se, durante as entrevistas, é que há falta de uma melhor qualificação dos servidores da UFRA, dado que é corroborado por um dos técnicos durante a aplicação dos questionários, o qual afirmou que: “O que falta são recursos humanos com habilidade, nos setores para a construção do seu planejamento”. Os gestores também admitiram a necessidade de uma melhor distribuição de recursos humanos nesta IFES, fato que pode ser constatado durante a aplicação dos questionários. Portanto, é necessário realizar um estudo das reais necessidades dos setores, para

uma adequada alocação dos servidores.

Sobre a gestão do conhecimento, os gestores da universidade afirmaram ter pouco conhecimento sobre o assunto, porém admitiram ser de fundamental importância para a instituição, entretanto ainda não é aplicado na instituição ou está em fase inicial de implementação.

Para 67% dos gestores entrevistados o modelo de gestão adotado pela UFRA, não favorece a criação e a disseminação do conhecimento. De fato, constatou-se uma enorme dependência do conhecimento individual, havendo pouco esforço para armazenar, capturar e registrar o conhecimento de forma que fique acessível a todos. Os gestores apontam a necessidade de uma mudança cultural na organização — este modelo (atual) é descrito, pelos entrevistados, como um modelo de “balcão”, ou seja, as decisões são tomadas apenas para resolver problemas pessoais, reativos e/ou emergenciais.

Finalmente, com respeito à relação de posicionamento dos gestores e servidores, observam-se claramente aspectos de gestão, comportamentais e conjunturais, influenciando na adoção do PDI com um instrumento norteador do planejamento nos setores da UFRA. De fato, há questões da própria conjuntura de governo, cujas mudanças recentes na política econômica influenciam diretamente as IFES. Essas mudanças têm impactado na disposição de gestores e servidores para realização do planejamento no nível operacional, já reconhecendo que há pressupostos no PDI que devem ser ajustados a essa conjuntura. Ainda, há influência de aspectos comportamentais, inibidores da adoção ao PDI, pois este é considerado uma inovação na UFRA. Em função do modelo de gestão ainda bastante hierarquizado, há pouca iniciativa por parte dos servidores o que pode ser decorrente do receio de crítica e a punição; portanto, se não houver diretamente a iniciativa da gestão, não haverá aderência ao planejamento dos setores ao PDI.

5 | CONCLUSÃO

O PDI representa uma inovação na UFRA, é um planejamento elaborado para a Universidade até o ano de 2024. Sua concepção levou em consideração a conjuntura da época, que já foi significativamente modificada, face ao cenário de crise política e econômica vivenciada pelo país.

A instituição necessita de uma profunda mudança na cultura organizacional e no modelo de gestão da universidade, tendo como base uma melhora na comunicação institucional uma vez que os resultados apontaram para uma grave falta de efetividade desta dentro da instituição.

Pelo fato de a conjuntura ter sido drasticamente alterada pela crise político-econômica, bem como pela redução dos investimentos em educação nos últimos anos, é necessária a revisão do PDI de uma forma mais participativa para possibilitar a expansão e a melhoria dos serviços alinhando-os com os objetivos da instituição para com a comunidade.

Superar as barreiras para a implantação da gestão do conhecimento em instituições públicas configura um grande desafio, este precisa ser enfrentado

para que possa haver uma melhoria na prestação de serviços desta IFES com a comunidade.

Investir na melhoria da comunicação institucional, esta precisa ser a prioridade, uma vez que os resultados dos questionários bem como das entrevistas apontaram para uma grave falta de informação dentro da instituição, em suma os setores administrativos bem como seus gestores não estão conseguindo estabelecer canais viáveis de comunicação.

Nesse ponto, baseado nas respostas dos questionários em comparação com as respostas dadas às entrevistas sugere-se um estudo aprofundado sobre a questão da usabilidade dos portais de informação da universidade e as influências para a gestão da UFRA, assim como um estudo sobre o analfabetismo digital dentro da instituição.

Ressalta-se também a necessidade de capacitação dos servidores da universidade e um profundo estudo sobre o analfabetismo digital, pois apontamentos gerados pelos gestores e até por técnicos administrativos, levam a indícios de que haja um significativo índice de analfabetismo digital dentro do corpo técnico da instituição.

Ressalta-se também, a necessidade de capacitação em Gestão do Conhecimento para os gestores da Universidade, de forma a minimizar os riscos da implantação de um planejamento institucional com baixa adesão nos setores da instituição.

Por fim, o reconhecimento da importância do PDI para os órgãos e entidades da administração pública federal integrantes do Sistema de Organização e Inovação Institucional do Governo Federal - SIOIG, está representada através da nova Instrução Normativa do Governo Federal. De acordo com a Instrução Normativa nº 24, de 18 de março de 2020, que disciplina a elaboração, avaliação e revisão do planejamento estratégico institucional dos órgãos e das entidades da administração pública federal direta, autárquica e fundacional, as unidades deverão elaborar seus planos estratégicos institucionais de forma alinhada ao Plano Plurianual da União para o período de 2020 a 2023 - PPA 2020-2023, instituído pela Lei nº 13.971, de 27 de dezembro de 2019, e aos demais instrumentos de planejamento governamental. Essa instrução normativa busca equalizar esforços e direcionar os objetivos institucionais para o alinhamento com metas do governo federal, de tal forma durante o processo de elaboração e atualização do plano estratégico, os órgãos e as entidades deverão promover o alinhamento contínuo entre os instrumentos de planejamento sob sua responsabilidade, com vistas ao fortalecimento da governança pública. A atualização do plano passa a ser exigida anualmente com publicação e transparência de metas e indicadores para a sociedade, monitorados de forma sistemática e contínua pelos respectivos comitês internos de governança. Na UFRA, esse comitê é o Comitê de Governança Riscos e Controles - CGRC/UFRA e o monitoramento, a partir de 2021, passará a ser realizado, no mínimo, a cada trimestre, com ênfase nos eventuais desvios observados em relação aos objetivos e projetos com metas e entregas previstas para o trimestre findo e principalmente no intuito de antecipar problemas e tomar as ações necessárias para o alcance

das metas e entregas do trimestre seguinte, em linha com a Instrução Normativa. Os benefícios desse acompanhamento deve trazer benefícios para a instituição, mas principalmente, deve favorecer a aderência de unidades internas ao PDI da instituição.

REFERÊNCIAS

ANGELONI, Maria Terezinha; FERNANDES, Caroline Brito. **Organizações de conhecimento: dos modelos à aplicação prática**. Disponível em: http://www.anpad.org.br/diversos/trabalhos/EnEO/eneo_2000/2000_ENEO23.pdf. Acesso em: 08/02/2017.

BATISTA, Fábio Ferreira. TEXTO PARA DISCUSSÃO No 1022: “**Governo que aprende: gestão do conhecimento em organizações do executivo federal.**” Ministério do Orçamento, Planejamento e Gestão. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA. Brasília, 2004.

BATISTA, Fábio Ferreira. TEXTO PARA DISCUSSÃO No 1181: **o desafio da gestão do conhecimento nas áreas de administração e planejamento das Instituições Federais de Ensino Superior (IFES)**. Ministério do Orçamento, Planejamento e Gestão. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA. Brasília, 2006.

Silva, T. A. B., & Silva, J. A. D. A. (2017). **POLÍTICA DE ENSINO SUPERIOR, UNIVERSIDADES FEDERAIS BRASILEIRAS E TRABALHO DOCENTE NO GOVERNO DILMA ROUSSEFF (2011-2016)**. *Revista Tempos e Espaços em Educação*, 10(23), 119-140.

SANTANA, Antônio Cordeiro de. **Planejamento estratégico institucional da UFRA: 2014-2024**. – Belém, 2015.

SILVA, Mirian Torquato; WILLERDING, I. A. V. ; SOUZA, V.A. B. ; LAPOLLI, É. M. . **A Concepção das Lideranças do Processo de Compartilhamento do Conhecimento em organizações Públicas: um estudo de caso**. In: CONVIBRA 2013 - online conference, 2013. ConferenceProceedings 2013, 2013.

SOTO, María Josefa Del Carmen Martínez. **Planejamento Institucional: capacidade de conduzir ações**. São Paulo em Perspectiva, v. 17, n. 3-4, p. 198-204, 2003.

TAKEUCHI, Hirotaka; NONAKA, Ikujiro. **Gestão do Conhecimento**. Tradução de Ana Thorell. Porto Alegre: Bookman, 2008. 320p.

CAPÍTULO 5

ANÁLISE PARAMÉTRICA DA INJEÇÃO DE POLÍMEROS EM UM CAMPO DE PETRÓLEO DA BACIA POTIGUAR

Data de aceite: 01/07/2020

Beatriz Ferraz Martins

*Universidade Federal Rural do Semi-Árido –
UFERSA
Mossoró - RN*

Jardel Dantas da Cunha

*Universidade Federal Rural do Semi-Árido –
UFERSA
Mossoró - RN*

Andréa Francisca Fernandes Barbosa

*Universidade Federal Rural do Semi-Árido –
UFERSA
Mossoró - RN*

Ricardo Henrique Rocha de Carvalho

*Universidade Federal Rural do Semi-Árido –
UFERSA
Mossoró - RN*

Antonio Robson Gurgel

*Universidade Federal Rural do Semi-Árido –
UFERSA
Mossoró - RN*

RESUMO: A injeção de polímeros como método de recuperação avançada pode se constituir em uma alternativa viável para a melhoria da produção de óleo. Com base neste enfoque, foi desenvolvido um modelo numérico de reservatório utilizando este método para estudar melhorias no Fator de Recuperação de um campo de óleo com características da Bacia Potiguar do Nordeste Brasileiro. O modelo possui dimensões de 284 m x 284 m x 6 m com malha de injeção do tipo five spot

invertida. O simulador utilizado foi o *tNavigator* da empresa *RFD (Rock Flow Dynamics)*. A metodologia consistiu em se injetar água com vazão de 0,1 volume poroso por ano (VP/ano) a partir do 1° ou 5° ano, com concentrações de 500, 1000 e 2000 ppm. Para tanto, foram adotadas as seguintes estratégias: injetar polímero com água do início ao fim do projeto, injetar polímero a partir de um corte de água de 80% para os todos os casos onde se injetou água. O melhor resultado foi obtido para concentração de 1000 ppm utilizando o esquema de injeção de água do início ao fim com injeção de solução polimérica após o corte de água de 80%. Neste caso, houve um acréscimo de 1,87% no Fator de Recuperação além de uma redução na produção de água de 10,64%. A injeção de polímero desde o início reduziu a produção de água em um máximo de 22,06% para a concentração de 2000 ppm, quando comparado ao caso em que apenas água foi injetada em vinte anos.

PALAVRAS-CHAVE: Fator de Recuperação, Simulação Numérica, Injeção de Polímeros.

ABSTRACT: Polymer injection as an enhanced oil recovery method can be a viable alternative to improve oil production. Therefore, a numerical reservoir model was developed using this method to study improvements in the Recovery Factor of an oil field with characteristics of the Potiguar Basin of northeastern Brazil. The model has dimensions of 284 m x 284 m x 6 m with an inverted five spot injection pattern. The simulator used was the RFD (Rock Flow Dynamics) *tNavigator*. The methodology consisted of injecting water with a flow rate of 0.1 porous volume per year (PV / year) from the 1st or 5th year, with concentrations of

500, 1000 and 2000 ppm. For this, the following strategies were adopted: injecting polyacrylamide polymer with water from the 1st year to the 20th, from the 5th year to the 20th and, finally, injecting polymer from a water cut of 80% for all cases where water was injected. The best result was obtained for a concentration of 1000 ppm using the water injection scheme from beginning to end with injection of polymeric solution after cutting 80% water. In this case, there was an increase of 1.87% in the Recovery Factor in addition to a reduction in water production of 10.64%. The injection of polymer from the beginning reduced water production by a maximum of 22.06% to a concentration of 2000 ppm, when compared to the case where only water was injected in twenty years.

KEYWORDS: Recovery Factor, Numerical Simulation, Polymer Injection.

1 | INTRODUÇÃO

Define-se a injeção de polímeros em reservatórios de petróleo como sendo um método de recuperação avançado pertencente à categoria dos métodos químicos, sendo aplicável a formações portadoras de hidrocarbonetos com razões de mobilidade desfavoráveis. SORBIE (1991), explica que de uma maneira geral os reservatórios candidatos para este método possuem baixa eficiência de varrido volumétrico devido a valores elevados da viscosidade do óleo ou à grande heterogeneidade do reservatório, portanto, a injeção de polímeros tem como objetivo controlar a razão de mobilidade ou diminuir os efeitos da heterogeneidade do meio.

Segundo GREEN e WILLHITE (1998), os polímeros são adicionados à fase aquosa para desenvolver uma razão de mobilidade favorável, $M \leq 1$, entre a solução polimérica injetada e o banco de óleo. O propósito é desenvolver um varrido vertical e areal mais uniforme de todo o reservatório para aumentar a eficiência global de recuperação de óleo. Para razões de mobilidade desfavoráveis, $M \geq 1$, a água tende a ultrapassar o banco de óleo, criando canais preferenciais (*fingers*) movendo-se pelos caminhos mais curtos até os poços produtores. Esse efeito é ampliado em reservatórios com heterogeneidades geológicas.

De acordo com Sheng (2010), reservatórios candidatos são conhecidos por apresentarem uma baixa eficiência de varrido quando há injeção de água, baixa recuperação por injeção de água, produção de água precoce nos poços produtores e alta razão água - óleo durante toda a vida produtiva do reservatório. Dória (1995), ainda complementa afirmando a necessidade de avaliação de outros fatores a fim de atestar a viabilidade técnico-econômica do projeto. Dentre os fatores que podem ser analisados, destacam-se: as propriedades da rocha-reservatório (porosidade, permeabilidade, composição mineralógica, presença de argila, grau de heterogeneidade, distribuição vertical de permeabilidade), do óleo (principalmente a viscosidade), além da profundidade e temperatura do reservatório (SORBIE, 1991)

Parâmetros como fator de resistência, fator de resistência residual, adsorção residual, adsorção máxima e volume de poros inacessível devem ser determinados experimentalmente como uma função da permeabilidade para cada campo. Eles são importantes para projetar a aplicação de campo e para serem usados como dados de entrada para um simulador de reservatório.

A partir do que foi exposto, este trabalho compreende estudos de melhoria

no fator de recuperação através da injeção de polímero com três valores de concentração em um reservatório homogêneo e semissintético de óleo médio com características de rocha-fluidos semelhantes a um campo de óleo médio da Bacia Potiguar pertencente ao nordeste do Brasil.

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Modelo Base

Um modelo de reservatório semissintético e homogêneo representado pela figura 1 com propriedades de rocha e fluidos característicos de um campo de petróleo da região da Bacia Potiguar do nordeste brasileiro foi desenvolvido. As simulações foram realizadas no simulador numérico de reservatórios *tNavigator* versão 2018.2. Os módulos utilizados foram *Model Designer*, *PVT Designer*, *Batch Jobs* e *Simulation* para modelo do tipo *Black Oil*. Os resultados obtidos foram gerados no módulo *Simulation Results*.

O reservatório é composto por um sistema cartesiano de malhas com um padrão de malhas de injeção e produção do tipo *five-spot* invertido com área de malha de 80655,71 m² conforme pode ser visualizado na figura 1. As propriedades dos fluidos e das rochas, bem como dos parâmetros operacionais utilizados foram obtidas de um teste de formação da Bacia Potiguar e de trabalhos relacionados a métodos químicos (Melo et al 2002), (Almeida 2015) e (Wang et al. 2009).

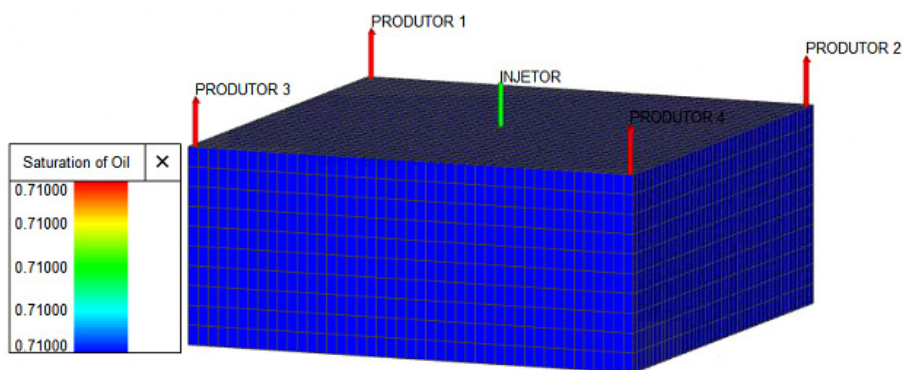


Figura 1 - Modelo de reservatório utilizado e disposição dos poços na malha five-spot invertida.

A tabela 1 apresenta as propriedades rocha-fluidos nas condições de pressão e temperatura do reservatório que foram utilizados no trabalho.

Propriedade	Valor
Temperatura do reservatório	77 °C
Pressão do reservatório	155 kgf/cm ²
Pressão de bolha	140 kgf/ cm ²
Profundidade do topo	1690 m
Espessura da zona produtora	6 m
Permeabilidade média da formação horizontal (Kh)	240 mD
Permeabilidade da formação vertical (Kv/Kh)	0,1Kh
Porosidade média da formação	16 %
Compressibilidade média da formação	$4,74 \times 10^{-5}$ (kgf/cm ²) ⁻¹
Saturação do óleo	71 %
Saturação de água	29 %
API do óleo	24,3
Viscosidade do óleo (P,T)	10 cp
Densidade do gás	0,65
Volume de óleo <i>in place</i> (VOIP) m ³ <i>std</i>	79855,2
Número de malhas e valores em cada dimensão	71 blocos de 4 m em “i” e “j” e 3 blocos de 2 m na direção “k”

Tabela 1 - Propriedades rocha-fluidos do modelo nas condições de reservatório.

Neste modelo, os valores dos parâmetros operacionais são os seguintes: distância (d) entre os poços injetores e produtores de 200 m segundo Wang et al (2009), pressão de injeção (Pinj) de 22942,67 kpa segundo o critério de gradiente de pressão de fratura utilizado por Bautista (2013) e vazão de injeção fixada em 10% do volume poroso injetado na zona de óleo (Qinj=0,1 VPI). O modelo de viscosidade do polímero foi do tipo linear para uma concentração de referência de 2kg/m3 (2000 ppm) de acordo com trabalhos de Fulin e Xizhi (2004) e Shehata et al (2012).

2.2 Estudo de recuperação com três concentrações de polímero

Nesta etapa, água foi injetada com vazão de injeção 0,1 VPI por ano com concentrações de polímeros de 500, 1000 e 2000 ppm. Para este estudo optou-se por adotar as seguintes estratégias de injeção:

- (A): Injetar água do início ao fim do projeto,
- (B): Injetar polímero com água do início ao fim do projeto
- (C): Injetar água a partir do 5º ano até o final do projeto
- (D): Injetar polímero a partir de um corte de água de 80% para o caso onde se injetou água do início ao fim.
- (E): Injetar polímero a partir de um corte de água de 80% para o caso onde se injetou água a partir do 5º ano até o fim do projeto.

De acordo com o planejamento definido, foram realizadas 11(onze) simulações. Para cada estratégia de injeção conforme explicado anteriormente, a

seguinte nomenclatura foi adotada: SIM referente ao caso simulado associado a um número variando de 1 a 11 para cada modelo simulado. Desta forma, tem-se a seguinte sistemática de simulações realizadas de acordo com a nomenclatura adotada conforme a tabela 2.

Tipo de injeção	Nomenclatura	Concentração de polímero (ppm)
A	SIM 1	0
B	SIM 2	500
	SIM 3	1000
	SIM 4	2000
C	SIM 5	0
D	SIM 6	500
	SIM 7	1000
	SIM 8	2000
E	SIM 9	500
	SIM 10	1000
	SIM 11	2000

Tabela 2 - Nomenclatura adotada para os modelos de simulações utilizados.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir das simulações analisadas, os seguintes resultados foram obtidos na tabela 3:

Tipo de injeção	Nomenclatura	FR(%)	Δ FR	Redução da água produzida (%)	M
A	SIM 1	62,07	--	0	14,74
B	SIM 2	63,14	1,71	6,11	4,71
	SIM 3	62,97	1,44	10,64	2,48
	SIM 4	62,11	0,06	16,21	1,26
C	SIM 5	60,18	--	0	14,53
D	SIM 6	63,19	1,80	6,19	4,53
	SIM 7	63,24	1,87	10,64	2,56
	SIM 8	62,92	1,36	16,21	1,02
E	SIM 9	60,97	1,32	8,46	4,93
	SIM 10	61,24	1,77	14,52	2,91
	SIM 11	61,25	1,78	22,06	1,37

De acordo com os resultados obtidos na tabela 3 para todos os casos analisados, observou-se que o melhor resultado, ainda que discreto, em termos de fator de recuperação foi obtido na simulação SIM7 (Δ FR=1,87%) com concentração

de polímero de 1000 ppm a partir de um corte de água de 80% com injeção de água de 0,1VPI durante vinte anos. Esse resultado pode ser justificado em virtude de um aumento na concentração de polímero resultar em um maior valor de viscosidade da água, reduzindo o valor da razão de mobilidade de 14,74 para 2,56 o que implicou uma melhoria na eficiência de varrido, ainda que a razão de mobilidades esteja maior do que um. Observa-se também que para todos os casos houve redução nas razões de mobilidade e do volume de água produzida para todos onde se injetou polímero

A figura 2 a seguir mostra o efeito do aumento da concentração do polímero no volume de óleo e água produzidos quando se injetou polímeros a partir de um corte de água de 80% a partir do primeiro ano (SIM6, SIM7, SIM8) e do quinto ano (SIM9, SIM10, SIM11).

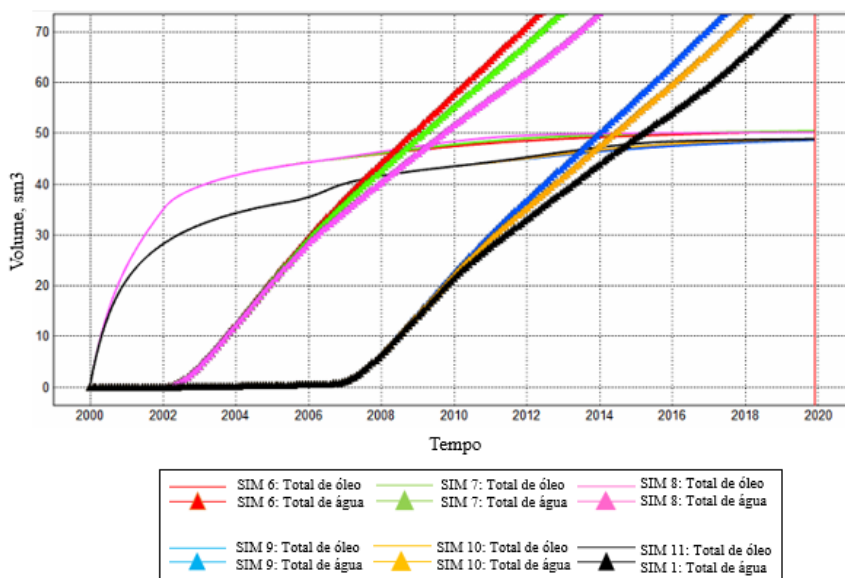


Figura 2 - Volume produzido de óleo e água durante injeção.

De acordo com gráfico da figura 2 pode-se observar que houve um incremento na produção de óleo principalmente nos primeiros anos quando se injetou polímero a partir do primeiro ano de simulação (caso D para SIM16, SIM7 e SIM8). Entretanto, ao final dos vinte anos, a diferença entre os casos D e E foi mínima. Também se pode constatar que o aumento da concentração de polímeros proporcionou uma melhoria, ainda que discreta, no volume de óleo produzido. Isto pode ser melhor comprovado quando se analisa os resultados dos casos SIM6 e SIM7 cujos valores estão disponíveis na tabela 3. Conforme explicado anteriormente, o aumento da concentração de polímeros promoveu melhorias na eficiência de varrido devido ao aumento da viscosidade da água e da redução da permeabilidade relativa dela no meio poroso. Estes parâmetros reduziram a razão de mobilidades dos fluidos

no meio poroso e proporcionaram uma maior recuperação de óleo. Entretanto, ao continuar aumentando a concentração, por exemplo de 1000 ppm (SIM7) para 2000 ppm (SIM8), não se observou melhorias no volume de óleo tanto para as simulações cuja água foi injetada no início (caso C) quanto para aquelas onde ela foi injetada a partir do quinto ano (caso D). É importante destacar que nos dois casos a injeção de polímeros se deu após o corte de água de 80% conforme descrito na metodologia do trabalho.

Ainda conforme pode ser comprovado na figura 2 e tabela 3, o aumento da concentração de polímeros esteve associada a diminuição da produção de água. A figura 5 apresenta os mapas de saturação de óleo (a, c, e) e de adsorção de polímeros (b, d, f) para os casos SIM6, SIM7 e SIM8 respectivamente.

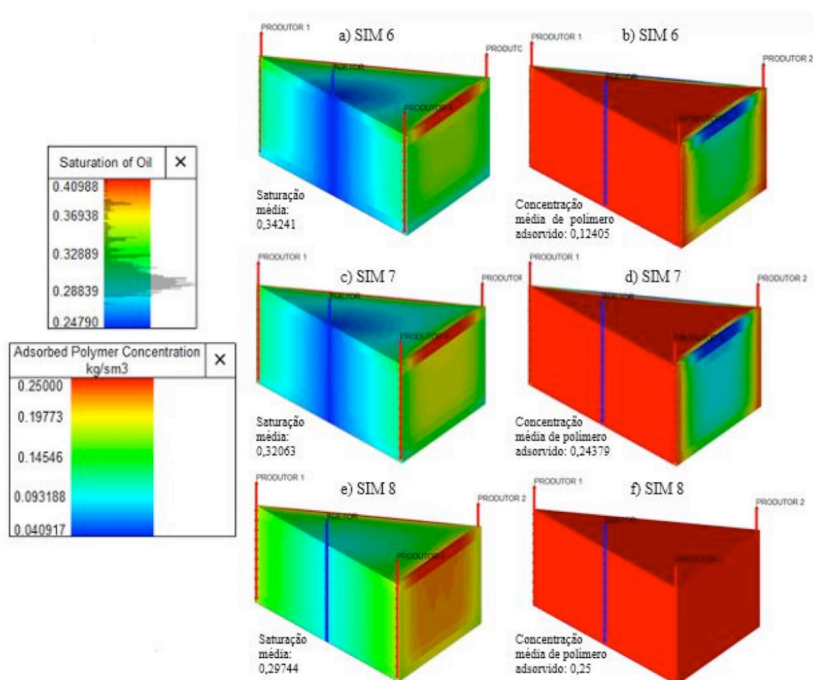


Figura 3 - Mapas de saturação e adsorção de polímero para vinte anos (SIM6, SIM7 e SIM8).

De acordo com a figura 3, pode-se observar que o aumento da concentração de polímeros esteve associado a uma maior quantidade fluido injetado deslocando de forma mais eficiente o banco de óleo em direção aos poços produtores. Este efeito pode ser explicado devido ao aumento da viscosidade da água provocada pela solução polimérica fazer com que ela permaneça por mais tempo no reservatório deslocando de forma mais eficiente o óleo. Desta forma, foi possível chegar a um acréscimo de 1,87% de Fator de Recuperação em relação a injeção somente de água. Por outro lado, os mapas concentração de adsorção de polímeros na rocha

(figura 3) mostraram que ao se aumentar de forma significativa a concentração de polímeros, por exemplo de 1000 ppm (SIM7) para 2000 ppm (SIM8), mais polímero ficará retido na rocha. Isto pode resultar em uma diminuição na recuperação de óleo porque a adsorção de polímero na rocha poderá dificultar o deslocamento do óleo residual no meio poroso. Neste último caso, o incremento no Fator de Recuperação que antes era de 1,87% (SIM7) diminuiu para 1,36% (SIM8).

4 | CONCLUSÕES

O melhor resultado de incremento no fator de recuperação foi obtido na SIM7 com 1,87 % de óleo recuperado quando comparado a SIM1 de forma que a injeção adotada para este incremento foi conforme o tipo D com injeção de polímero a partir de um corte de água de 80% para o caso onde se injetou água do início ao fim. A melhoria foi comprovada com a redução da razão de mobilidade de 14,53 para 2,56 resultado na melhoria na eficiência de varrido.

O melhor caso levando em consideração a redução da água produzida foi o caso SIM11 onde a redução chegou a 22,06 %. A estratégia de injeção adotada para este caso foi do tipo E onde houve a injeção de polímero a partir de um corte de água de 80% para o caso onde se injetou água a partir do 5° ano até o fim do projeto.

Ao aumentar a concentração de 1000 para 2000 ppm não se observou melhorias no volume de óleo para as simulações de injeção de polímero do início ao fim e injeção de polímero a partir do corte de água de 80% para o caso onde se injetou água a partir do 5° ano.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade Federal Rural do Semi-Árido pela infraestrutura disponível, ao CNPQ pela concessão da bolsa de iniciação científica e a empresa Rock Flow Dynamics pela doação das licenças do simulador tNavigator para a realização das simulações necessárias.

REFERENCIAS

SORBIE, K. S. Polymer-improved oil recovery. Florida: CRC Press, 1991.

GREEN, Don W. ; WILLHITE, G. Paul. Enhanced oil recovery; Henry L. Doherty Memorial Fund of AIME. Society of Petroleum Engineers: Richardson, TX, 1998

SHENG, James. Modern chemical enhanced oil recovery: theory and practice. Gulf Professional Publishing, 2010.

DÓRIA, M. A. F. S. Análise de testes em poços injetores de soluções poliméricas. Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Campinas - São Paulo. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), 1995.

MELO, M. A et al. Polymer injection projects in Brazil: Dimensioning, field application and evaluation. Thirteenth symposium on improved oil recovery held in Tulsa, Oklahoma. April, 2002.

ALMEIDA, L.L. Estudo comparativo da injeção de solução polimérica e ASP em reservatórios maduros de óleo médio. Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), Natal – Rio Grande do Norte. Dissertação (Mestrado em ciência e engenharia do petróleo), 2015.

WANG, D. et al. Review of practical experience of polymer flooding at daqing. SPE Reservoir Evaluation & Engineering. June, 2009.

BAUTISTA, E.V. Estudo das Forças Viscosa, Capilar e Gravitacional Através de Grupos Adimensionais No Processo de Drenagem Gravitacional Assistida por Gás (GAGD). Dissertação de Mestrado (Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Petróleo). Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2013.

FULIN, Yang; XIZHI, Yang . High Concentration Polymer Flooding is Successful. SPE 8854, 2004;

SHEHATA, A.M. et al. Overview of Polymer Flooding (EOR) in North Africa Fields-Elements of Designing a New Polymer/Surfactant Flood Offshore (Case Study). SPE 151952, 2012;

tNavigator® 18.3 Geology & Model Designer. User Guide. Rock Flow Dynamics. October 2018;

tNavigator® 18.3 PVT Designer. User Guide. Rock Flow Dynamics. October 2018;

tNavigator® 18.3 Simulation. User Manual. Rock Flow Dynamics. October 2018;

CAPÍTULO 6

BIOSORPTION OF OXYTETRACYCLINE FROM WATER USING MORINGA OLEÍFERA SHELLS

Data de aceite: 01/07/2020

Agustina De Olivera

Universidad Nacional de Misiones(UNaM),
Misiones, Argentina.
E-mail: agustina.deolivera@gmail.com

Ramiro Martins

Instituto Politécnico de Bragança (IPB),
Bragança e LSRE-LCM,FEUP, Porto,
Portugal.

ABSTRACT: Pharmaceuticals as emerging contaminants have become a new threat to human life. Over the years, the amount of antibiotics and anti-inflammatory drugs has increased in rivers, lakes, oceans, and even in drinking water streams. The wastewater treatment plants (WWTPs) lack the necessary technology to remove a concentration within the range ng/l-mg/l and therefore, the need to develop effective, low cost and environmental friendly methods arise. Biosorption is a separation process, used in the area of Chemical Engineering, that follows the same fundamentals of adsorption except for the use of biodegradable materials as adsorbent (biosorbent). This work focuses on studying the main optimal process conditions and the adsorption capacity of *Moringa oleífera* (MO) shells to remove Oxytetracycline (OTC). MO is recognized due to its anti-microbial, nutritional and coagulant properties; meanwhile, OTC is one of the most used antibiotics within the veterinary area.

KEYWORDS: biosorption, *Moringa oleífera*, Oxytetracycline, pharmaceuticals, emerging

contaminants.

RESUMEN: Los fármacos, en su papel de contaminantes emergentes, se han convertido en una nueva amenaza para la salud de los seres vivos. Durante las últimas décadas, la presencia de antibióticos y anti-inflamatorios dentro de ríos, lagos, océanos e inclusive en corrientes de agua potable, ha ido creciendo. Las plantas de tratamiento de aguas residuales (ETARs) aún no cuentan con la tecnología adecuada para remover concentraciones dentro del rango de ng/l-mg/l y por ello, surge la necesidad de desarrollar nuevos métodos que sean efectivos, de bajo costo y además, amigables con el ambiente. La biosorción es un proceso de separación dentro del área de Ingeniería Química que sigue los mismos fundamentos de la técnica de adsorción, con la única diferencia que utiliza materiales biodegradables como “biosorbentes”. Es de gran interés en el presente trabajo, estudiar las condiciones óptimas del proceso y la capacidad de adsorción que presentan las cáscaras de la planta *Moringa oleífera* (MO) ante la remoción del antibiótico Oxitetraciclina (OTC). *Moringa oleífera* es reconocida mundialmente debido a sus propiedades anti-microbiales, nutricionales y coagulantes, mientras que OTC es uno de los fármacos más utilizados na área de medicina veterinaria.

PALABRAS CLAVES: biosorción, *Moringa oleífera*, Oxitetraciclina, fármacos, contaminantes emergentes.

1 | INTRODUCTION

Emerging contaminants are pollutants which were not known as a threat to the

environment. It involves daily use products or compounds which toxicity has been dismissed until now (Galvín, 2016). Some examples are drugs of abuse, heavy metals, pharmaceuticals, chloroalkanes, polar pesticides, brominated flame retardants, detergents and metabolites of degradation products (Perales, 2016).

1.1 Pharmaceuticals as water surface contaminants

Pharmaceuticals are synthetic or natural chemical compounds used for diagnosis, treatment or prevention in human and animal diseases (Houtman, 2010). They are considered big molecules with complex chemistry properties, structure, functions, and high pH dependence, thus they can be neutral, charged negatively, positively or be under zwitterions form, making its comprehension more difficult compared to the other emerging contaminants (Perales, 2016). They can get into the environment by different means; they can be found in human and animal's feces and urine. Others are effluents discharged from hospitals and pharmaceutical industries. In every city, all waste ends up in a wastewater treatment plant (WWTP). However, WWTPs do not have the necessary technology to minimize the emerging contaminants concentration, so the resulting sludge contains high levels of the drugs, thus making the WWTP the main focus of pollution (Corona, 2013).

1.2 Oxytetracycline (OTC)

Oxytetracycline (OTC) or (4S, 4aR, 5S, 5aR, 6S, 12aS) -4- (Dimethylamino) - 3,5,6,10,11,12a-hexahydroxy-6-methyl-1,12-dioxo-1,4,4a, 5,5a, 6,12,12a-octa-hydro tetracene-2- carboxamide is an antibiotic produced from the fermentation of the bacteria *Streptomyces rimosus* (Figure 1) (Díaz, 2018). It is used in areas of agriculture, livestock, veterinary medicine, and aquaculture activities. It can be found as Hydrochloride Oxytetracycline, Calcium Oxytetracycline or Agricultural Terramycin. Table 1 summarizes its principal physicochemical characteristics (Díaz, 2018).

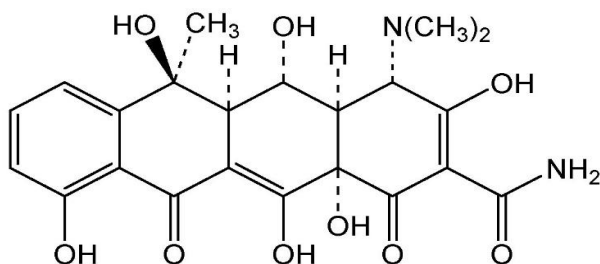


Figure 1 Chemical structure of Oxytetracycline (Oliveira, 2013).

Physicochemical properties of Oxytetracycline	
Molecular formula	$C_{22}H_{24}N_2O_9 \cdot HCl$
Molecular weight	496,897 g/mol
Water solubility (25°C)	313 g/l
Melting point	180°C
Density (20°C)	1,634 g/cm ³
Log Kow (octanol/water)	-1.12
pKa	pka ₁ = 3,27; pka ₂ = 7,32; pka ₃ = 9,11
Physical appearance	Yellow powder, odorless and bitter

Table 1 Physicochemical properties of Oxytetracycline (Díaz, 2018).

1.3 Environmental effect of Oxytetracycline on water

OTC has been found in soil, hospital residues, WWTPs, water surfaces (rivers and lakes) and even in drinking water around the world (Díaz, 2018). For example, in USA, it was detected between the range of 0,07-1,34 $\mu\text{g/l}$ from surfaces water and a mean concentration of 0,34 $\mu\text{g/l}$ from natural water, in the UK it was found values higher than 0,34 $\mu\text{g/l}$ from water surfaces and 0,5 $\mu\text{g/l}$ from water streams (Borghí and Palma, 2014). In the river Weihe from China, it was measured a mean concentration of 16,13 ng/l into the water and 20,60 ng/g into the river's sediments (Fei et al., 2018). In Asia, it was found a maximum value of 484 $\mu\text{g/l}$ into the river Xiao (Reiss et al., 2019). In Ghana, a mean concentration of 0,026 $\mu\text{g/l}$ and 0,68 $\mu\text{g/l}$, 0,43 $\mu\text{g/l}$ and 0,007 $\mu\text{g/l}$ from water surfaces of France, Croatia and Luxembourg respectively (Reiss et al., 2019).

Oxytetracycline has been declared as a toxic residue for aquatic organisms, humans and animal's health (European Medicines Agency, 1996) (Fraccaroli et al., 2015), high amount of this antibiotic could have negative consequences on the gastrointestinal tract, skin, central nervous system and it also stores up in calcium organs such as bones and teeth (Fraccaroli et al., 2015).

Different methods to remove OTC from water have been developed so far, such as hybrid carbon membrane which reached almost 99% of removal (Li et al., 2017), magnetic ion-exchange resin (Liu et al., 2015), reverse osmosis membrane with a removal percentage higher than 90% (Li and Wang, 2009), and adsorption by activated charcoal, also showing a strong adsorption capacity (Tsatsakis, 2000).

1.4 Biosorption, A Non- Conventional Alternative

Biosorption is defined as an environmentally friendly, low cost and simple process, able to remove pollutants by using biological material as adsorbent (Estrella, 2017), main reason why has become the new alternative to address the

issue of conventional methods. The process involves a solid (biosorbent) and a liquid phase which contains the pollutant. A great affinity is necessary between both phases since the pollutants should be attracted by the solid so as to be removed by different mechanisms (Rivas, 2006). It is important to consider that the process leads to high efficiency, a decrease in the use of chemical products and biological sludge, no nutrients' addition and the possibility to recover both, the contaminant and the biosorbent. However, the adsorbent can be saturated quickly and the process is susceptible to variables such as temperature, pH and presence of other ions. One of the main and most important advantages presented by this method is the type of material used as an adsorbent. Biomass can be living or inert material. Within the first group, materials such as algae, bacteria, fungi and yeasts can be found, while the second one consists of biopolymers, agro-industrial residues, and plants (Rivas, 2006) (Tovar and Ortiz, 2014).

1.5 MORINGA oleifera Lam

Moringa oleifera (MO), the best-known variety of the genus Moringaceae, is a tree native to the southern foothills of the Himalayas, the north of India, Bangladesh, Afghanistan and Pakistan (Perez, 2010). For more than thousands of years, practically all parts of the plant have been used: leaves, stems, pods and fruits. So far it is known, MO is highly nutritive, rich in vitamins, carbohydrates, dietary fiber, fats, proteins, minerals and amino acids (Figure 2) thus it is considered a powerful resource against children malnutrition (Martin, 2013).

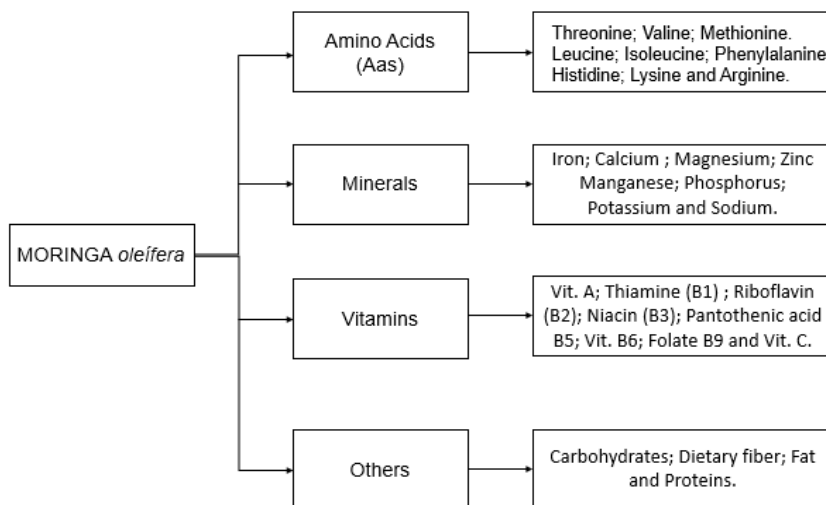


Figure 2 Chemical composition of *Moringa oleifera* (Abbas, 2018).

Its coagulant and bactericidal properties have enabled its use in wastewater treatment area. It is employed to decrease the turbidity of the water, the presence of bacteria and achieve a high percentage of removal of suspended solids (Martin, 2013). Now it is being studied as possible adsorbent to reduce presence of pharmaceutical and heavy metal in water. The use of MO represents an economical and environmentally friendly option.

2 | MATERIALS AND METHODS

2.1 Chemical solution and biosorbent preparation

Oxytetracycline hydrochloride (>95% crystalline), solutions of NaOH (1M, 0,1M) and HNO₃ (1M, 0,1M) have been employed in this work. For all the experiences, it was prepared 1 mg/l OTC solution.

The *Moringaoleífera* (MO) shells were taken from Luanda, Angola, Africa. They were dried in an oven at 30°C for one day and pulverized into powder through IKA A11 basic analytical mill. Moringa powder was separated according to the size of the grain through a series of sieves with different diameters (0,425 μm , 0,250 μm , 0,106 μm , 0,075 μm and lower than 0,075 μm) ordered in column. All the experiences were done with the granulometry 0,106 < μm < 0,205.

2.2 Determination of fundamental adsorption process conditions

2.2.1 Effect of initial antibiotic concentration

The Oxytetracycline concentration range was 0,2-1 mg/l while other parameters were kept constant (V=50 ml of solution, at pH 3, adsorbent dosage of 2 g/l, stirring at 150 rpm and temperature at 25°C).

2.2.2 Effect of the temperature

The temperature range used was 20 - 40°C (20, 30 and 40°C) while other parameters were kept constant (V=50 ml of solution, antibiotic initial concentration of 1 mg/l, adsorbent dosage of 2 g/l, at pH 3 and stirring speed of 150 rpm).

2.2.3 Effect of pH

The study was carried out between the pH range of 3-10 (3, 5, 7 and 10) while keeping the other parameters constant (V=50 ml of solution, antibiotic initial concentration of 1 mg/l, adsorbent dosage of 2 g/l, stirring at 150 rpm and temperature at 25°C).

3 | RESULTS AND DISCUSSION

3.1 Effect of initial adsorbate concentration

The initial concentration of the adsorbate can determine the limits of

the adsorption process. The removal percentage increased with the adsorbate concentration, but the difference was almost insignificantly, which suggests OTC initial concentration does not have enough influence in the adsorbent capacity (Figure 3).

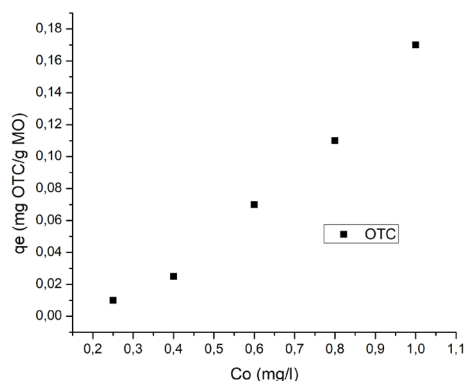


Figure 3 Effect of OTC initial concentration in biosorption process.

3.2 Effect of the temperature

The study showed, as the temperature increases, the removal percentage also increased. The maximum value of removal was obtained at 40°C, but the difference in efficiency between the temperatures was so low that it did not justify spend high values of energy. The process could be done at an average temperature of 25°C.

3.3 Effect of pH

Evaluate the pH solution, is an important condition in the biosorption process. Not only because it changes the chemical properties of the pharmaceutical solution, but also controls the active sites of the adsorbent and thus its removal capacity.

The Figure 4 shows how the adsorption capacity of MO increased with the pH. The lowest removal percentage was obtained at pH 3 (31%) and the highest at pH 10 (50.3%).

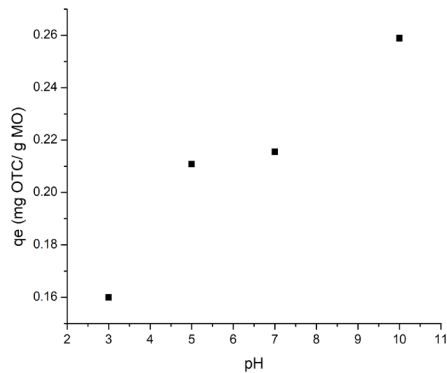


Figure 4 Effect of pH into the OTC adsorption process.

Although adsorption capacity increased with the pH, it did not reach a high value. OTC is an amphoteric molecule, constituted by a complex structure of four rings with different ionizable functional groups. Its structure, as its chemical properties, is strongly linked to the changes in pH. Theoretically, it has three pKa values and four ionization states (H_3OTC^+ , H_2OTC^+ , H_2OTC , and OTC^{2-}) (Díaz, 2018). The molecule presents a positive charge when $pH < pka_1$, a negative charge when $pH > pka_2$ and two negative charges when $pH > pka_3$. In the pH range between pka_1 and pka_2 , the OTC is found as a neutral molecule (Zwitterión) (Díaz, 2018) (Oliveira, 2013). Given this fact and considering MO surface charges (Araujo et al., 2018) it is likely to assume the low removal percentage obtained at acid region was caused by electrostatic repulsion and although, the percentage increased at alkaline area, the negative charges of each surface did not allow to obtain an acceptable result.

4 | CONCLUSION

The removal percentage of MO shells increased with the OTC initial concentration. However it was not possible to determine Moringa adsorption capacity between the studied range of concentration (0 - 1 mg OTC/l). The process could be done at an average temperature of 25°C. So far, the results have showed strong pH dependence and low removal rates indicating MO shells are not the most adequate biosorbent to deal with this antibiotic. Despite this, further tests are recommended for better understanding of the biosorption process and the Moringa *oleifera* potential in the field of wastewater treatment.

BIBLIOGRAPHY

Alegakis, T., Tzatzarakis, M., & Tsatsakis, A. (2000). In vitro study of oxytetracycline adsorption on activated charcoal. *Journal of environmental science and health. Part. B, Pesticides, food contaminants, and agricultural wastes.* 35, 559-69.

- Andrade Díaz, C. (2018). *Remoción de oxitetraciclina presente en soluciones acuosas usando cenizas de cáscara de arroz (Máster)*. Escola Superior de Tecnologia e Gestao do Instituto Politécnico de Leiria.
- Araujo, L., Bezerra, C., Cusioli, L., Silva, M., Nishi, L., Gomes, R., y otros. (2018). Moringa oleifera biomass residue for the removal of pharmaceuticals from water. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 6 , 7192-7199.
- Borghi, A., & Palma, M. (2014). Tetracycline: production, waste treatment and environmental impact assessment. *Brazilian Journal Of Pharmaceutical Sciences*, 50(1) , 25-40.
- Danner, M., Robertson, A., Behrends, V., & Reiss, J. (2019). Antibiotic pollution in surface freshwaters: Occurrence and effects. *Science Of The Total Environment*, 664 , 793-804.
- Di Cerbo, A., Palatucci, A., Rubino, V., Centenaro, S., Giovazzino, A., & Fraccaroli, E. (2015). Toxicological Implications and Inflammatory Response in Human Lymphocytes Challenged with Oxytetracycline . *Journal Of Biochemical And Molecular Toxicology*, 30(4) , 170-177.
- European Medicines Agency. (1996). Committee for veterinary medicinal products. OXYTETRACYCLINE, CHLORTETRACYCLINE. SUMMARY REPORT. London, UK.
- Herrera Corona, C. (2013). *Métodos de remoción y degradación de antibióticos en medio acuoso (Nivel de grado)*. Universidad Autónoma del Estado de México. Facultad de Química.
- Houtman, C. (2010). Emerging contaminants in surface waters and their relevance for the production of drinking water in Europe. *Journal Of Integrative Environmental Sciences* , 271-295.
- Lagos Estrella, A. (2017). *Adsorción de cadmio, hierro y plomo en agua artificial utilizando Moringa oleifera Lam (Ingeniería Química)*. Universidad San Francisco de Quito USFQ. Colegio de Ciencias e Ingenierías.
- Li, Q., & Wang, Q. (2009). "Removal of Tetracycline and Oxytetracycline in Water by a Reverse Osmosis Membrane. *3rd International Conference on Bioinformatics and Biomedical Engineering*, (págs. 1-4). Beijing.
- Li, Y., Fang, J., Yuan, X., Chen, Y., Yang, H., & Fei, X. (2018). Distribution Characteristics and Ecological Risk Assessment of Tetracyclines Pollution in the Weihe River, China. *International Journal Of Environmental Research And Public Health*, 15(9) , 1803.
- Liu, C., Wang, B., Deng, Y., Wang, J., Chen, W., & Liu, Y. (2015). M-PGMA as a new water treatment agent to remove oxytetracycline from water. *Water Science And Technology: Water Supply*, 16(2) , 295-304.
- Liu, M., Liu, Y., Boa, D., Zhu, G., Yang, G., Geng, J., Li, H. (2017). Effective Removal of Tetracycline Antibiotics from Water using Hybrid Carbon Membranes. *Scientific Reports*, 7(1) .
- Marín Galvín, A. (2016). Contaminantes emergentes y metales pesados en aguas residuales: un caso de estudio. *Revista técnica de Medio Ambiente (RETEMA)* , 193.
- Martin, C. (2013). Potenciales aplicaciones de Moringa oleifera. Una revisión crítica. *Pastos Y Forrajes*, 36 (2) , 137-149.
- Montes Perales, J. (2016). *Diseño de una instalación para recuperación de antibiótico de una corrientes de proceso mediante ultrafiltración*. Valencia, España.

Oliveira, S. (2013). *Estudo da degradação eletroquímica da oxitetraciclina*. Universidade da Beira Interior Ciências.

Perez, A. (2010). Characteristics and potential of *Moringa oleifera*, Lamark. An alternative for animal feeding. *Pastos Y Forrajes*, 33(4).

Tejada Tovar, C., & Villabona Ortiz, A. (2014). Adsorption of heavy metals in waste water using biological materials. *Tecno Lógicas*, 18 (34) , 109-123.

Tenorio Rivas, G. (2006). *Caracterización de la Biosorción de cromo con hueso de aceituna (Tesis Doctoral)*. Universidad de Granada. Facultad de Ciencias. Departamento de Ingeniería Química.

CAPÍTULO 7

COLETA SELETIVA NO UNIFOA – IMPLANTAÇÃO DE PROCESSO PILOTO NO PRÉDIO 18: SENSIBILIZAÇÃO DA COMUNIDADE INTERNA SOBRE RESÍDUOS SÓLIDOS

Data de aceite: 01/07/2020

Pedro Saturno Braga

UniFOA, Centro Universitário de Volta Redonda, Volta Redonda, RJ.
pedrosaturnobraga@yahoo.com.br

Camila Duarte Silva

UniFOA, Centro Universitário de Volta Redonda, Volta Redonda, RJ.
duartegomesmila@hotmail.com

Lucas Marques Correa Ignácio

UniFOA, Centro Universitário de Volta Redonda, Volta Redonda, RJ.
lucas2202rj@hotmail.com

Sabrina de Jesus Oliveira Cozzolino

UniFOA, Centro Universitário de Volta Redonda, Volta Redonda, RJ.
sabinajoliveira@yahoo.com.br

Sabrina Pires Arantes

UniFOA, Centro Universitário de Volta Redonda, Volta Redonda, RJ.
sabrina.pires.arantes@hotmail.com

Roberto Guião de Souza Lima Júnior

UniFOA, Centro Universitário de Volta Redonda, Volta Redonda, RJ.
robertoguiao@hotmail.com

Ana Carolina Callegario Pereira

UniFOA, Centro Universitário de Volta Redonda, Volta Redonda, RJ.
ana.callegario@foa.org.br

**Denise Celeste Godoy de Andrade
Rodrigues**

UniFOA, Centro Universitário de Volta Redonda, Volta Redonda, RJ. UERJ, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Resende, RJ.
denise.cgar@gmail.com

RESUMO: Diante dos problemas ambientais relacionados aos lixões e aterros controlados, como a contaminação do solo através do chorume, a poluição atmosférica a partir da emissão de gases como o metano (CH₄) e as áreas desnecessárias ocupadas por esses locais, visto que 83,3% dos resíduos depositados neles poderiam ter uma melhor finalidade e apenas 16,7% são considerados rejeitos, nasceu o projeto Coletar para Reciclar. Com início em 2018 e atualmente em crescimento, o projeto vem desenvolvendo a coleta seletiva no prédio 18 do Campus Olezio Galotti. A partir da orientação dos professores e a atuação dos alunos da Engenharia Ambiental, estão sendo implantados coletores seletivos, orientações para o descarte correto do “lixo”, a Educação Ambiental periódica de sala em sala e via *Instagram* e a pesagem e conferência dos resíduos separados no sistema. Ao fim, todos os recicláveis são destinados à Cooperativa Pinheiral em Ação, a qual os vendem ou reaproveitam, fazendo com que reduza a quantidade de resíduos dispostos incorretamente, gere emprego e renda aos catadores das cooperativas e diminua a extração em excesso dos recursos naturais. O projeto tem despertado o interesse de outros alunos do UniFOA, os quais estão se organizando para ampliar essa tecnologia sustentável ao Centro Universitário.

PALAVRAS-CHAVE: Resíduos Sólidos. Coleta seletiva. Reciclagem. Educação Ambiental. Sustentabilidade.

UNIFOA SELECTIVE COLLECTION – PILOT PROCESS IMPLEMENTATION IN BUILDING 18: INTERNAL COMMUNITY AWARENESS OF SOLID WASTE

ABSTRACT: Faced with environmental problems related to controlled dumps and landfills, such as soil contamination through slurry, air pollution from the emission of gases such as methane (CH_4) and unnecessary areas occupied by these sites, as 83,3% of waste deposited on them could have a better purpose and only 16,7% are considered rejects, the project *Coletar para Reciclar* was born. Beginning in 2018 and currently growing, the project has been developing selective collection in building 18 of Campus Oezio Galotti. From the guidance of teachers and the performance of students of Environmental Engineering, selective collectors are being implemented, guidelines for the correct disposal of “garbage”, periodic Environmental Education from room to room and via Instagram and the weighing and checking of separate waste in the system. In the end, all recyclables are destined for the Cooperative *Pinheiral em Ação*, which sells or reuses them, reducing the amount of waste disposed incorrectly, generating employment and income for the cooperatives’ pickers, and reducing the excess extraction of natural resources. The project has piqued the interest of new UniFOA students who are organizing to extend this sustainable technology to the University Center.

KEYWORDS: Solid waste. Selective collect. Recycle. Environmental Education. Sustainability.

1 | INTRODUÇÃO

À medida com a qual o avanço da sociedade se faz presente, é necessário o uso de medidas que visem reduzir os impactos negativos ao meio ambiente. A constante exploração de recursos naturais de forma inadequada, além de ocasionar um enorme desgaste ambiental, acarreta também em um dos maiores problemas da atualidade: a geração de resíduos sólidos. Os resíduos sólidos urbanos constituem uma das grandes preocupações das sociedades contemporâneas. Eles contribuem massivamente com a destruição do meio ambiente, pois seus efeitos poluidores são responsáveis pela poluição visual, edáfica e hídrica, afetando os solos, rios, mares e oceanos, isso sem contar as possíveis doenças que acometem ao ser humano e aos animais (COSTA, 2006).

A coleta seletiva surge então como uma forma de redução dos impactos ambientais gerados, a partir da busca de matéria-prima. Ela consiste na separação de materiais recicláveis, como plásticos, vidros, papéis, metais e outros, nas várias fontes geradoras – residências, empresas, escolas, comércio, indústrias, unidades de saúde –, tendo em vista a coleta e o encaminhamento para a reciclagem. Esses materiais representam cerca de 31,9% da composição do lixo domiciliar brasileiro, que na sua maior parte - 51,4% - é composto por matéria orgânica (IBGE, 2010 *apud* IPEA, 2012).

A implantação da coleta seletiva nos municípios ainda não é uma realidade em todo o país, sendo assim a destinação final do lixo é um problema na maioria das cidades. Muitas vezes coletado pelo órgão público ou por empresas particulares,

o lixo é levado a um depósito. Esses depósitos, geralmente, não possuem uma destinação final apropriada, pois dispõem o lixo a céu aberto formando vazadouros irregulares de resíduos, também conhecidos como lixões (SOARES, 2007).

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS, 2010) estipulou metas para erradicá-los até o ano de 2014. Embora em muitas cidades tenha diminuído esse tipo de destinação, os lixões ainda fazem parte do cotidiano de algumas delas, causando grande prejuízo ao meio ambiente (RAMOS *et al.*, 2017).

Um dos quesitos que dificulta essa mudança é a falta de espaço disponível em alguns centros urbanos para instalação de aterros sanitários, o que faz com que a transformação desse cenário se torne mais lenta. Alguns municípios destinam seus resíduos para cidades vizinhas, quando há um aterro sanitário próximo. A disposição nesse tipo de aterro é uma alternativa muito melhor, comparada aos lixões e aterros controlados, mas o volume de resíduos dispostos nele pode ser muito menor, se estimulado nas cidades a cultura da coleta seletiva. Neste caso, só iriam para o aterro o material considerado não reciclável (rejeito). Por isso, o estudo, entendimento e escolha da destinação final mais adequada para cada tipo de resíduo, influem na qualidade do meio ambiente, saúde pública, geração de empregos, além de contribuírem na preservação dos recursos naturais (SOARES, 2007).

Para ajudar nas destinações finais adequadas surgiram associações e cooperativas de catadores com o objetivo de promover a inclusão social, restituindo-lhes a cidadania e a inserção social pela conquista de direitos, pelo trabalho e pela geração de renda advinda da comercialização seletiva dos materiais recolhidos (LIMA, 2019).

O presente estudo teve como objetivos: Identificar e caracterizar os resíduos sólidos gerados no Prédio 18 do Campus Oezio Galotti, Centro Universitário de Volta Redonda (UniFOA); destinar os resíduos coletados para uma cooperativa parceira; sensibilizar a comunidade universitária sobre a problemática dos resíduos sólidos; contribuir para a implantação da coleta seletiva no UniFOA.

2 | METODOLOGIA

Para execução do projeto foi necessário primeiramente realizar um levantamento sobre os tipos de resíduos que são gerados no prédio 18, para assim definir a nomenclatura dos coletores. Após esse levantamento, pode-se notar uma geração predominante de resíduos recicláveis, sendo o plástico e papel a sua maioria. A partir disso, decidiu-se que os coletores seriam divididos em recicláveis e não recicláveis, seguindo a Resolução CONEMA nº 55 de 2013.

Logo, os coletores já existentes nos corredores, foram unidos em duplas e adesivados com suas respectivas orientações, conforme à figura 1.



Figura 1 – Padrão dos coletores adesivados e dispostos nos corredores do Prédio 18.

Fonte: Os autores, 2018.

Acima de cada conjunto de coletores, foi colocado cartazes com as informações dos itens que deveriam ser descartados em cada um, conforme à figura 2.



Figura 2 – Itens dos materiais recicláveis e não recicláveis.

Fonte: Alunos do 10º período de Engenharia Ambiental do semestre 2018.2

Nas salas de aula, por só haver um coletor, decidiu-se que o mesmo seria utilizado para destinação de resíduos não recicláveis, sendo identificado com

tal nomenclatura para alertar os alunos. Os informativos da Figura 2 também foram postos no quadro de avisos de cada turma, para tornar a informação mais acessível.

Em seguida, os discentes do projeto, expuseram o processo da coleta seletiva implantada aos funcionários da limpeza, de modo a solicitar o auxílio e adesão dos mesmos a esse novo sistema. Explicaram que iriam usar sacolas transparentes para os coletores dos recicláveis e sacolas pretas para os coletores dos não recicláveis. Isto ajudaria a diferenciar um resíduo do outro no momento em que eles fossem destinados ao local de armazenamento. Assim, foi entregue a cada um deles um conjunto de sacolas transparentes para que pudessem substituí-las nos coletores dos recicláveis e para os coletores dos não recicláveis foram utilizadas sacolas pretas, por já serem encontradas no estoque do UniFOA e fazerem parte do sistema convencional de resíduos ainda existente na maioria da Instituição.

Foi pedido aos funcionários para que no momento em que o coletor estivesse totalmente cheio, ou apresentasse mal cheiro, o saco plástico fosse substituído por outro da mesma cor e que os resíduos retirados fossem destinados a uma sala disponibilizada para o armazenamento dos materiais.

Na sala onde os resíduos foram armazenados foi feita uma subdivisão entre resíduos conferidos e resíduos não conferidos conforme à figura 3a. Os funcionários colocavam todas as sacolas na área dos não conferidos, para que os discentes do projeto pudessem posteriormente fazer a conferência.

A etapa da conferência foi feita da seguinte maneira: Foi estirado um papelão para forrar o chão e despejar os resíduos sobre ele. Primeiro eram despejados sobre o papelão os resíduos das sacolas transparentes – recicláveis – que possivelmente estariam mais limpos. Assim, com o auxílio de luvas, eles eram observados e todo o material que estava conforme ao meio, era posto na mesma sacola transparente e os não conformes, em uma nova sacola preta, assim como demonstra a figura 3b.

Ao fim, pesavam-se as duas sacolas para saber o total de resíduos contidos nelas e era feito a porcentagem de acertos e erros em cada coletor. O mesmo esquema foi utilizado para a conferência dos materiais não recicláveis, concluindo assim a análise gravimétrica do projeto, conforme à figura 3c.



Figura 3 – a) Separação dos materiais conferidos e não conferidos; b) Conferência dos materiais; c) Análise gravimétrica.

Fonte: Os autores, 2019.

Concomitantemente aos passos anteriores, foi realizada a Educação

Ambiental para os discentes a partir do *Instagram* divulgando informações do projeto para a comunidade acadêmica. O *WhatsApp* também foi utilizado para enviar orientações e notícias aos grupos das turmas. E por fim, estabeleceu-se que periodicamente seria feito de sala em sala a conscientização ambiental explicando a metodologia implantada e pedindo a colaboração dos alunos.

Ao final de toda essa etapa, os discentes do projeto combinaram entre a Instituição e a Cooperativa, o momento de entrega dos resíduos recicláveis. A Cooperativa Pinheiral em Ação, a qual passava por um momento de escassez de resíduos, estabeleceu uma parceria com o UniFOA, para estar vindo buscar os materiais recicláveis segregados de tempos em tempos. Já os rejeitos continuaram a ser entregues ao caminhão de lixo, para serem depositados no Centro de Tratamento de Resíduos de Barra Mansa (CTR-BM).

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos pelo projeto foram a implantação dos coletores seletivos e dos varais de cartazes informativos em todos os andares do prédio 18; a orientação às turmas sobre o sistema implantado; divulgações através do *instagram* do projeto (@coletarparareciclar) sobre o andamento dos trabalhos e de *posts* de instrução sobre a reciclagem dos resíduos; e a conferência, pesagem e destinação dos resíduos segregados à cooperativa de Pinheiral.

Levantamento Gravimétrico

Inicialmente os coletores seletivos foram implantados no andar da Engenharia Ambiental, trabalho iniciado em 2018. A partir do dia 14/05/2019, conseguiu-se aplica-los nos andares restantes do prédio, abrangendo os cursos de Engenharia Elétrica, Mecânica e Educação Física.

Foi feito o levantamento gravimétrico dos resíduos descartados nos períodos de 04/02/2019 a 04/04/2019, 05/04/2019 a 17/04/2019 e 21/05/2019 a 05/07/2019, os quais foram denominados como P1, P2 e P3 respectivamente. Conforme as tabelas 1, 2 e 3, temos os valores das pesagens e da porcentagem de acertos referente ao descarte dos resíduos nos coletores relativo a cada período, onde P1 e P2 são valores do andar da Engenharia Ambiental e P3 de todos os andares juntos.

P1				
PERÍODO	COLETOR	CLASSIFICAÇÃO	QUANTIDADE (Kg)	PORCETAGEM (%)
04/02/2019 à 04/04/2019	Recicláveis	Resíduo	2,385	88,17
		Rejeito	0,32	11,83
		Total	2,705	100,00
	Não Recicláveis	Resíduo	0,06	13,95
		Rejeito	0,37	86,05
		Total	0,43	100,00
P2				
PERÍODO	COLETOR	CLASSIFICAÇÃO	QUANTIDADE	PORCETAGEM
05/04/2019 à 17/04/2019	Recicláveis	Resíduo	0,285	61,96
		Rejeito	0,175	38,04
		Total	0,46	100,00
	Não Recicláveis	Resíduo	0,175	20,83
		Rejeito	0,665	79,17
		Total	0,84	100,00
P3				
PERÍODO	COLETOR	CLASSIFICAÇÃO	QUANTIDADE	PORCETAGEM
21/05/2019 à 05/07/2019	Recicláveis	Resíduo	16,99	88,81
		Rejeito	2,14	11,19
		Total	19,13	100,00
	Não Recicláveis	Resíduo	1,25	28,77
		Rejeito	3,095	71,23
		Total	4,345	100,00

Tabela 1 – Conferência dos Coletores para Observar a Assertividade dos Alunos

No período P1 foi mensurado um total 3,135kg de material onde 2,445 kg eram resíduos recicláveis e 0,690 kg eram rejeitos, no P2 foi mensurado um total 1,300 kg de material onde 0,460 kg eram resíduos recicláveis e 0,840 kg eram rejeitos e no P3 foi mensurado um total 23,475 kg de material onde 18,240 kg eram resíduos recicláveis e 5,235 kg eram rejeitos. Todos os 21,145 kg de recicláveis foram armazenados e ao fim, destinados pelos alunos para à cooperativa Pinheiral em Ação conforme à figura 4.



Figura 4 – Entrega dos resíduos recicláveis à Cooperativa Pinheiral em Ação, dia 24/07/2019.

Fonte: *Instagram* @drcatador; @coletarparareciclar, 2019.

Orientação aos Discentes, Docentes e Funcionários

Com o intuito de otimizar a coleta seletiva, foi realizado com o auxílio dos alunos do 10º período de Engenharia Ambiental a Educação Ambiental em todas as turmas dos cursos do prédio 18, informando sobre os coletores e quais resíduos deveriam ser descartados em cada um, conforme a figura 5. Realizou-se também a orientação aos funcionários da limpeza para que ao fazer a remoção dos resíduos dos coletores, substituíssem os sacos de lixo por outro da mesma cor e em seguida armazenassem os resíduos coletados para posterior mensuração.



Figura 5 – Educação Ambiental realizada pelos alunos do 10º período de Engenharia Ambiental às turmas do prédio 18.

Fonte: *Instagram* @coletarparareciclar, 2019.1.

Divulgação

Nesta etapa foi utilizado o *instagram* do projeto @coletarparareciclar para fazer a divulgação e a transmissão de informações aos seguidores sobre o projeto e demais pautas relacionadas à coleta seletiva e reciclagem. Observando até o mês de maio de 2020 o *instagram* tinha 163 seguidores e 21 publicações feitas em seu perfil.

4 | CONCLUSÃO

Pode-se concluir que após o período de implantação da coleta, notou-se que o projeto tem tido resultados positivos os quais proporcionam benefícios tanto ao Campus Olezio Galotti, quanto à Cooperativa de Pinheiral. Portanto a continuidade de cada fase da metodologia é importante para progressão do trabalho.

Outro ponto observado foi que a metodologia de mensuração e levantamento da porcentagem de acertos em cada coletor, pode servir para observar se a Educação Ambiental aplicada está sendo efetiva na sensibilização os alunos. Através dos dados anteriores e posteriores à Educação Ambiental de sala em sala, pode-se comparar a oscilação dos dados e avaliar se a abordagem aplicada está trazendo bons resultados.

Nas próximas fases do projeto, além de manter o que já foi feito pretende-se realizar a expansão para os prédios da medicina e biologia com o auxílio do Professor Roberto Guião a partir de um Projeto de Extensão incluindo também os cursos de Biologia, Design e de outros cursos que tiverem interesse, aplicando os métodos os quais foram utilizados na implantação no prédio 18. Vale ressaltar que também será utilizado um questionário digital para avaliar o conhecimento dos discentes, docentes e funcionários sobre a coleta seletiva, o entendimento que eles estão tendo sobre o projeto e qual a percepção deles sobre a importância desse trabalho, observando os quesitos ambientais, sociais, culturais e econômicos.

Por fim, espera-se que o projeto consiga transmitir a cultura da coleta seletiva para os frequentadores da Instituição e ajudar o UniFOA no cumprimento dessa responsabilidade socioambiental.

AGRADECIMENTOS

Aos funcionários da limpeza do prédio 18, Fátima, Mário, Seu Ulisses, Cristina e às duas Rogérias, por terem aceitado os pedidos propostos pelos alunos e estarem contribuindo na organização dos resíduos no local de armazenamento. Sem vocês todo esse trabalho seria muito difícil.

Aos professores orientadores, pelo incentivo, entendimento dos alunos e sugestões que ajudaram na melhoria, desenvolvimento e obtenção dos dados concretos do projeto. Ao ex-aluno Leonardo Lopes pela contribuição e iniciativa a este projeto a partir do seu TCC realizado em 2017.

À Cooperativa Pinheiral em Ação, que aceitou fazer essa parceria com o Coletar para Reciclar. Aos alunos que vêm respeitando a proposta e realizando o descarte correto. É muito bom quando o nível de acertos nos coletores é alto,

um sinal de que estão atentos às mudanças implantadas e à educação ambiental transmitida.

Ao Centro Universitário de Volta Redonda por permitir o desenvolvimento desta ideia e pela bolsa PIBIC concedida. Aos novos discentes da Publicidade – através da Agência de Comunicação Integrada do UniFOA (ACI) –, Design e Biologia que se interessaram no projeto e estão entrando para prestar auxílio e continuidade.

Por fim agradecemos a Deus pelo nascer de cada dia e a todos os seres humanos que estão se empenhando em construir um mundo melhor.

REFERÊNCIAS

COSTA, Fabiana Xavier *et al.* **Estudo qualitativo e quantitativo dos resíduos sólidos do Campus I da Universidade Estadual da Paraíba.** Revista de Biologia e Ciências da Terra, v. 6, n. 1, p. 0, 2006. Disponível em <<http://joaootavio.com.br/bioterra/workspace/uploads/artigos/residuossolidos-51564a16a8688.pdf>>. Acesso: 23 de ago. 2019.

IPEA, **Diagnóstico dos Resíduos Sólidos Urbanos.** Brasília, 2012. Disponível em: <http://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/relatoriopesquisa/121009_relatorio_residuos_solidos_urbanos.pdf>. Acesso: 10 de Set. 2019.

LIMA, Francisco de Paula Antunes *et al.* **Tecnologias sociais da reciclagem: efetivando políticas de coleta seletiva com catadores.** Gerais, Rev. Interinst. Psicol., Juiz de fora, v. 4, n. spe, p. 131-146, dez. 2011. Disponível em <http://pepsic.bvsalud.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1983-82202011000300004&lng=pt&nrm=iso>. Acesso: 23 de ago. 2019.

MNCR, **Resolução CONEMA nº 55, de 13 de Dezembro de 2013.** Disponível em: <<http://www.mnrc.org.br/biblioteca/legislacao/legislacao-no-estados/legislacao-no-rio-de-janeiro/resolucao-conema-no-55-de-13-de-dezembro-de-2013/view>> Acesso: 08 de det. 2019

RAMOS, Naiara Francisca *et al.* **Desenvolvimento de ferramenta para diagnóstico ambiental de lixões de resíduos sólidos urbanos no Brasil.** Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/esa/v22n6/1809-4457-esa-22-06-1233.pdf>>. Acesso: 26 de ago. 2019

SOARES, L.G.C.; SALGUEIRO, A.A.; GAZINEU, M.H.P. **Educação ambiental aplicada aos resíduos sólidos na cidade de Olinda, Pernambuco - um estudo de caso.** Revista Ciências & Tecnologia, v. 1, n. 1, p. 1-9, 2007. Disponível em <<http://web-resol.org/textos/artigo5.pdf>>. Acesso: 23 de ago. 2019.

VG Resíduos. **Entenda a situação atual do Plano Nacional de Resíduos Sólidos.** Disponível em <<https://www.vgresiduos.com.br/blog/entenda-a-situacao-atual-do-plano-nacional-dos-residuos-solidos-pnrs/>> Acesso: 26 de ago. 2019

CAPÍTULO 8

DESEMPENHO TÉRMICO DOS TELHADOS VERDES EM RELAÇÃO AOS TELHADOS CONVENCIONAIS

Data de aceite: 01/07/2020

Data de submissão: 19/05/2020

Sergio Quezada García

Universidad Nacional Autónoma de México,
Departamento de Sistemas Energéticos,
Ciudad de México–México

Marco Antonio Polo Labarrios

Universidad Nacional Autónoma de México,
Departamento de Sistemas Energéticos,
Ciudad de México–México

Heriberto Sánchez Mora

Instituto Politécnico Nacional, Escuela
Superior de Física y Matemáticas, Ciudad de
México–México

Manuela Azucena Escobedo Izquierdo

Universidad Nacional Autónoma de México,
Departamento de Sistemas Energéticos,
Ciudad de México–México

Ricardo Isaac Cázares Ramírez

Universidad Autónoma Metropolitana–
Iztapalapa, Área de Ingeniería y Recursos
Energéticos, Ciudad de México–México

RESUMO: Os telhados verdes são propostos como uma prática sustentável para mitigar os efeitos adversos da urbanização. Contudo, o conhecimento do desempenho térmico dos telhados verdes é essencial para a sua concepção e avaliação. A análise de calor e fluxo de massa é necessária para explorar o seu desempenho térmico, o que requer uma modelagem numérica precisa para analisar plenamente os benefícios desta tecnologia. Por

consequente, há necessidade de modelos de transferência de energia e massa que possam avaliar os efeitos térmicos dos telhados verdes durante a sua fase de concepção. Este estudo compara o desempenho térmico de um telhado verde com um telhado convencional, para um clima quente. O estudo utiliza um modelo matemático dinâmico de transferência de calor, que foi validado em trabalhos anteriores. Além disso, são determinados a resistência térmica equivalente e o fator de decomposição equivalente. Os resultados mostram que os telhados verdes podem reduzir significativamente o fluxo de calor através do telhado porque têm uma maior resistência térmica equivalente e um menor fator decrescente equivalente.

PALAVRAS-CHAVE: telhados verdes, desempenho térmico, resistência térmica equivalente, fator decrescente equivalente.

THERMAL PERFORMANCE OF GREEN ROOFS VERSUS CONVENTIONAL ROOFS

ABSTRACT: Green roofs are proposed as a sustainable practice to mitigate the adverse effects of urbanization. However, knowledge of the thermal performance of green roofs is essential for their design and evaluation. Heat and mass flow analysis is necessary to explore their thermal performance, which requires accurate numerical modeling to fully analyze the benefits of this technology. Therefore, there is a need for energy and mass transfer models that can evaluate the thermal effects of green roofs during their design stage. This study compares the thermal performance of a green roof with a conventional roof, for a warm climate. The study uses a dynamic mathematical model

of heat transfer, which was validated in previous works. Additionally, the equivalent thermal resistance and the equivalent decay factor are determined. The results show that green roofs can significantly reduce the heat flow through the roof because they have a higher equivalent thermal resistance and a lower equivalent decreasing factor. **KEYWORDS:** green roofs, thermal performance, equivalent thermal resistance, equivalent decreasing factor.

1 | INTRODUCCIÓN

Las azoteas verdes son una solución sostenible para mitigar los efectos adversos de la urbanización (BESIR e CUCE, 2018), tales como el deterioro de las condiciones climáticas en zonas urbanas (ZIOGOU et al., 2018) y el efecto de isla de calor urbano (AMIR et al., 2018). Esto debido a los múltiples beneficios que presentan como el aumento de la superficie forestal urbana (BERNDTSSON et al., 2009), la purificación del aire (LI et al., 2010), y el ahorro de energía (CASCONI et al., 2018). Sin embargo, la implementación de azoteas verdes está limitada por la ausencia de una comprensión completa de su valor económico (TEOTÓNIO et al., 2018).

Para comprender el valor económico de las azoteas verdes, es necesario determinar su desempeño térmico. Para esto, es esencial conocer los flujos de calor y masa (TANG e ZHENG, 2019), y desarrollar modelos numéricos preciso que permita analizar plenamente los beneficios de esta tecnología (VERA et al., 2018).

Cuando no se pueden reproducir las mismas condiciones para dos sistemas que se desean comparar se debe recurrir a la simulación. Debido a la intermitencia de las condiciones ambientales no es posible comparar el desempeño térmico de una azotea antes y después de implementar un sistema de refrigeración pasiva, como la instalación de una azotea verde. Incluso cuando se tengan dos edificios iguales, uno de ellos con azotea convencional y el otro con azotea verde, ubicados uno al lado del otro, factores como la radiación solar incidente o la velocidad del aire pueden ser diferentes en cada uno además de la carga térmica interior.

En el presente estudio se compara, por medio de simulación, el desempeño térmico de una azotea verde y una azotea convencional para un clima cálido, por medio de simulación. Para realizar el estudio se emplea un modelo matemático dinámico de transferencia de calor, el cual fue validado en trabajos previos (QUEZADA-GARCÍA et al., 2017). A diferencia de otros estudios, que sólo consideran la transferencia de calor a través la azotea y asumen que la temperatura en el interior del edificio se mantiene constante por medio de aire acondicionado, en el presente estudio se considera también la transferencia de calor a través de las paredes del edificio y el cambio de la temperatura en el interior con respecto al tiempo.

2 | MÉTODOS

El objetivo del presente trabajo es comparar el desempeño térmico de dos edificios, uno de ellos con una azotea convencional y el otro con azotea verde, considerando la transferencia de calor a través de todos los elementos envolventes

del edificio.

Los pasos para alcanzar el objetivo de este trabajo son los siguientes:

- Descripción de los sistemas denominados como caso de estudio.
- Planteamiento del modelo matemático de transferencia de calor para el edificio con azotea convencional. Este modelo es el mismo que se aplica para el edificio con azotea verde añadiendo el modelo de transferencia de calor para las capas que la conforman.
- Planteamiento del modelo matemático de balance de energía para el interior del edificio con el propósito de determinar cómo cambia la temperatura interior.
- Planteamiento del modelo matemático de transferencia de calor de la capa verde y la capa de sustrato, las cuales forman la azotea verde.
- Implementación de los modelos matemáticos en Python.
- Simulación de los sistemas con datos obtenidos de la literatura.
- Análisis de los resultados obtenidos con la simulación realizada.

2.1 Descripción de los sistemas

En el presente trabajo se estudian dos tipos de azoteas:

- Azoteas convencionales, construidas generalmente a partir de concreto.
- Azoteas verdes, las cuales se proponen como solución alternativa a las azoteas convencionales. Formadas por una capa verde y una capa de sustrato.

A continuación se presentan los modelos de transferencia de calor para los dos casos mencionados. Estos modelos son empleados para determinar la temperatura en el interior del edificio. Los modelos también consideran la transferencia de calor a través de las paredes del edificio, las cuales son una loza maciza de concreto de 15 cm de espesor.

El edificio caso de estudio no cuenta con ventanas, es calentado por medio de la radiación solar que recibe a través de dos paredes del edificio, así como a través de la azotea del mismo como se muestra en la **Figura 1**. Una de las paredes recibe radiación solar durante la mañana y la pared opuesta recibe radiación solar durante la tarde. Para este estudio, se considera que las otras dos paredes (paredes laterales) no reciben radiación solar a lo largo del día.

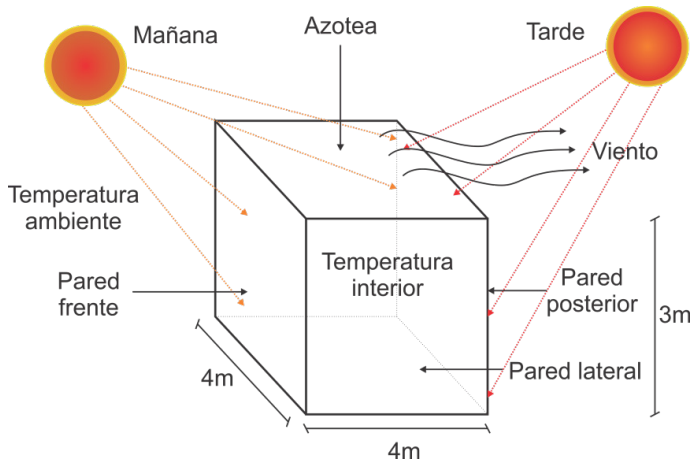


Figura 1. Edificio caso de estudio que recibe radiación solar en una pared durante la mañana, en la pared contraria durante la tarde y en la azotea durante gran parte del día.

2.1.1 Azotea convencional

El modelo de transferencia de calor para la azotea convencional, consiste en una losa maciza de concreto, la superficie inferior está en contacto directo con el aire del interior del edificio, mientras que la parte superior la losa de concreto está en contacto con el aire del ambiente como se muestra en la **Figura 2**. Así los flujos de calor involucrados para el exterior del edificio son la radiación solar, la emisión y la convección. Respecto al interior los flujos de calor involucrados son la emisión y la convección.

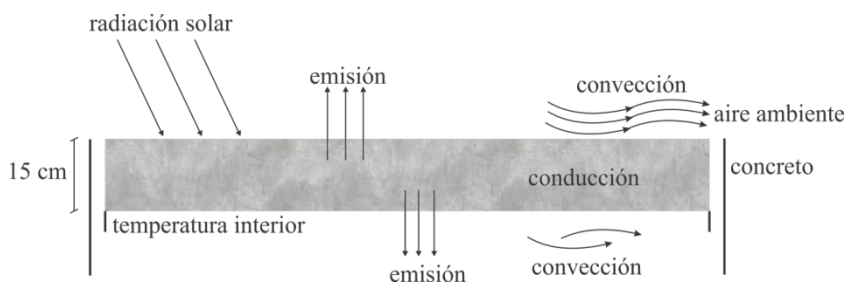


Figura 2. Flujos de calor en la azotea convencional.

2.1.2 Azotea verde

El modelo de transferencia de calor para la azotea verde consiste en una losa maciza de concreto que está en contacto directo con el aire en el interior del edificio. Sobre la losa de concreto se encuentra el sustrato, formado por tierra y agua. En la parte superior del sustrato se encuentra la cubierta verde, formada por plantas

y aire. La capa verde está en contacto directo con el aire exterior como observa en la **Figura 3**. Así los flujos de calor involucrados para el interior del edificio son la convección y la emisión. Para el exterior los flujos de calor considerados son la radiación solar, la emisión, la convección, la evapotranspiración y el calor requerido por las plantas para realizar la fotosíntesis.

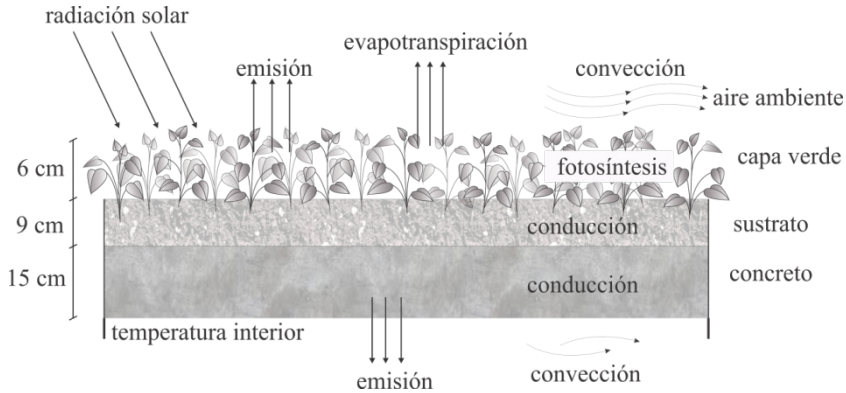


Figura 3. Azotea verde formada por una capa de sustrato y la capa verde.

3 | MODELADO MATEMÁTICO

En esta sección se presenta el modelo matemático tanto del edificio con azotea convencional como del edificio con azotea verde.

3.1 Modelo matemático de transferencia de calor para el edificio con azotea convencional

A continuación, se presenta el modelo matemático empleado para el edificio con azotea convencional. La transferencia de calor por conducción, a través de las envolventes del edificio, está dada por:

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} = k \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \quad (1)$$

donde ρ es la densidad, C_p es el calor específico, T es la temperatura, t es el tiempo, k es la conductividad térmica y x es la dirección de transferencia de calor por conducción.

La condición de frontera para el exterior del cuarto está dada por:

$$\left[k \frac{dT}{dx} \right]_{x=0} = q_{sr} - q_{em} - q_{cv} \quad (2)$$

donde q_{sr} es el flujo de calor debido a la radiación de onda corta, q_{em} es el flujo de calor debido a la emisión de radiación y q_{cv} es el flujo de calor debido a la convección. Las fuentes de calor se calculan a partir de:

$$q_{sr} = a q_{sri} \quad (3)$$

$$q_{em} = \varepsilon\sigma(T^4 - T_{alr}^4) \quad (4)$$

$$q_{cv} = h(T - T_a) \quad (5)$$

donde, α es la absotividad de la superficie, q_{sri} es la radiación de onda corta incidente, ε es la emisividad, σ es la constante de Stefan-Boltzmann, T_a es la temperatura del aire en el exterior, T_{alr} es la temperatura de los alrededores (para las paredes se considera que $T_{alr} = T_a$ y para la azotea $T_{alr} = T_{sky}$), y h es el coeficiente convectivo de transferencia de calor, el cual se calcula a partir del número adimensional de Nusselt dado por:

$$Nu = \frac{hL}{k} \quad (6)$$

donde L es la longitud de la envolvente paralela al flujo de aire. El número de Nusselt para paredes planas, está dado por (CHURCHILL e OZOE, 1973):

$$Nu = \frac{0.3387 Pr^{1/3} Re^{1/2}}{\left(1 + \left(\frac{0.0468}{Pr}\right)^{2/3}\right)^{1/4}} \quad (7)$$

donde Re es el número adimensional de Reynolds y Pr es el número adimensional de Prandtl, los cuales están dados por:

$$Re = \frac{r_i v L}{\mu} \quad (8)$$

$$Pr = \frac{C_p \mu}{k} \quad (9)$$

donde v es la velocidad promedio del viento y μ es la viscosidad dinámica. La condición de frontera en el interior del edificio está dada por:

$$-k \left. \frac{dT}{dx} \right|_{x=\gamma} = h_{in} (T - T_{in}) \quad (10)$$

donde γ es el espesor de la envolvente, T_{in} es la temperatura del aire en el interior del edificio y h_{in} es el coeficiente combinado de transferencia de calor en el interior del edificio el cual considera la convección y la radiación. En la **Figura 4** se ejemplifican las condiciones de frontera.

Este modelo se puede emplear para cada uno de los elementos envolventes del edificio.

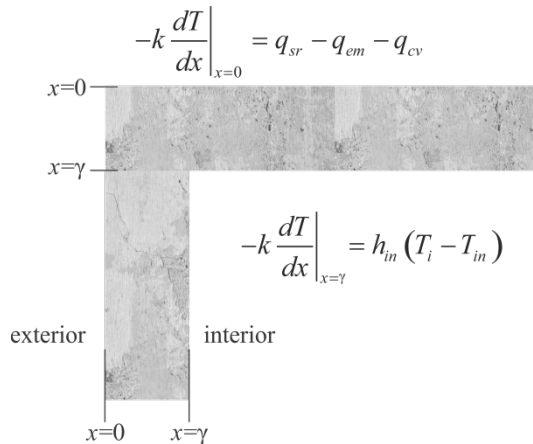


Figura 4. Condiciones de frontera para la envolvente del edificio.

3.2 Balance de energía para el interior del edificio

El cambio de temperatura en función del tiempo en el interior del edificio está dado por:

$$\frac{dT_{in}}{dt} = \frac{\dot{Q}}{(mC_p)_{in}} \quad (11)$$

donde m es la masa de aire contenida en el interior del edificio y \dot{Q} es el calor neto transferido al interior del edificio dado por:

$$\dot{Q} = \sum h_{in} (T - T_{in}) A \quad (12)$$

donde A es el área del elemento envolvente del edificio.

3.3 Modelo matemático de transferencia de calor para el edificio con azotea verde

El calor que se transfiere a través de la capa verde, formada por plantas y aire, está dado por:

$$(\rho C_p)_v \frac{\partial T_v}{\partial t} = k_v \frac{\partial^2 T_v}{\partial x^2} \quad (13)$$

donde T_v es la temperatura de la capa verde, $(\rho C_p)_v$ y k_v son propiedades efectivas de la capa verde que se obtienen a partir de un método de homogeneización.

El calor transferido a través de la capa de sustrato, formada por tierra y agua, está dado por:

$$(\rho C_p)_s \frac{\partial T_s}{\partial t} = k_s \frac{\partial^2 T_s}{\partial x^2} \quad (14)$$

donde T_s es la temperatura de la capa de sustrato, $(\rho C_p)_s$ y k_s son propiedades

efectivas para la capa de sustrato. Las propiedades efectivas se calculan a partir de (QUEZADA-GARCÍA et al., 2017):

$$(\rho C_p)_{ef} = (\rho C_p)_1(1-\beta) + (\rho C_p)_2\beta \quad (15)$$

$$k_{ef} = k_1(1-\beta) + k_2\beta \quad (16)$$

donde el subíndice *ef* hace referencia a propiedades efectivas y β es la fracción volumen que ocupan los componentes de la capa en el volumen total de la capa, es decir:

$$b = \frac{V_1}{V_1 + V_2} \quad (17)$$

La condición de frontera para la Ec. (14), en el exterior del edificio, está dada por:

$$\left. \lambda k_v \frac{dT}{dx} \right|_{x=0} = q_{sr} - q_{em} - q_{cv} - q_{et} - q_{ps} \quad (18)$$

donde q_{et} es el calor transferido por evapotranspiración al ambiente y q_{ps} es el calor requerido por la planta para llevar a cabo la fotosíntesis.

El calor transferido por convección de la azotea verde al ambiente se puede calcular a partir de la correlación empírica (MENG et al., 2006):

$$q_{cv} = (5.7 + 3.8v)(T_v - T_a) \quad (19)$$

El calor perdido por evapotranspiración está dado por (FENG et al., 2010):

$$q_{et} = \lambda R_{et} \quad (20)$$

donde λ es el calor latente de vaporización y R_{et} es la tasa de evapotranspiración.

El calor neto requerido para la fotosíntesis y la respiración de las plantas se calcula a partir de la correlación (FENG et al., 2010):

$$q_{ps,net} = \frac{6.5}{TC(1 + R_{ep}/R_{tp})} q_{et} \quad (21)$$

donde TC es el coeficiente de transpiración, R_{ep} es la tasa de evaporación y R_{tp} es la tasa de transpiración. Para este estudio se considera que $R_{ep}/R_{tp}=1$ con $TC=20$.

Este modelo matemático fue validado por medio de datos experimentales obtenidos en un laboratorio de ambiente controlado y por medio de datos experimentales publicados en la literatura (QUEZADA-GARCÍA et al., 2017).

4 | IMPLEMENTACIÓN

Los modelos matemáticos de transferencia de calor para la azotea convencional y la azotea verde se implementan en Python 3.6.3. Las ecuaciones diferenciales son resueltas por medio de diferencias finitas utilizando un tamaño de paso temporal de 1.2s y 11 nodos para cada envolvente del edificio. La simulación se realiza para un día empleando datos publicados en la literatura.

En la **Figura 5** se muestra la radiación solar que reciben las paredes y la azotea a lo largo del día. Las paredes laterales no reciben radiación solar. El exterior del edificio está en contacto con el aire ambiente cuya temperatura se encuentra entre 301K y 309K (ver **Figura 6**) y su velocidad oscila entre los 0 y 3 m/s (ver **Figura 7**). En la **Figura 8** se muestra la tasa de evapotranspiración. La fracción volumen del aire contenido en la capa verde se considera igual a 0.53 y la fracción volumen de agua contenida en la capa de sustrato se considera igual a 0.26. La emisividad se considera igual a 1.0, y la absorptividad se considera igual a 0.85, para todos los elementos envolventes del edificio.

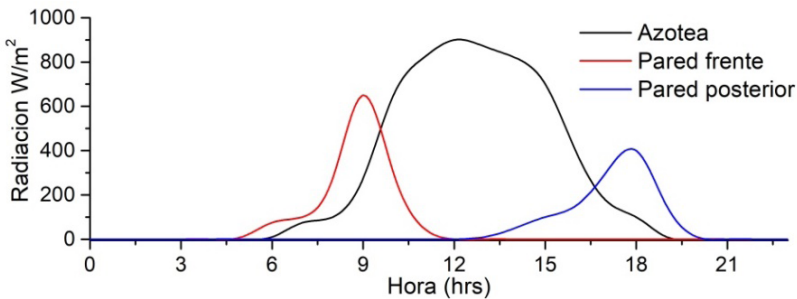


Figura 5. Radiación solar incidente en dos paredes y la azotea del edificio. A partir de datos de Feng et al. (2010).

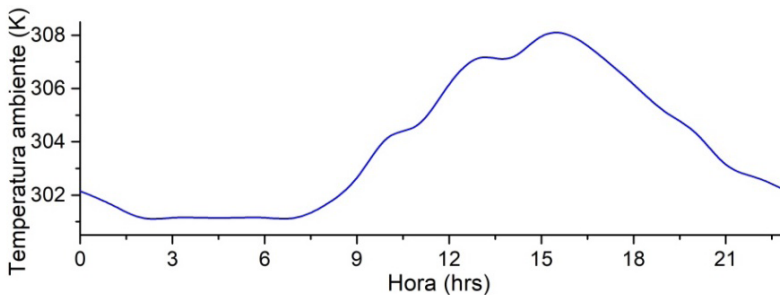


Figura 6. Temperatura ambiente. A partir de los datos de Feng et al. (2010).

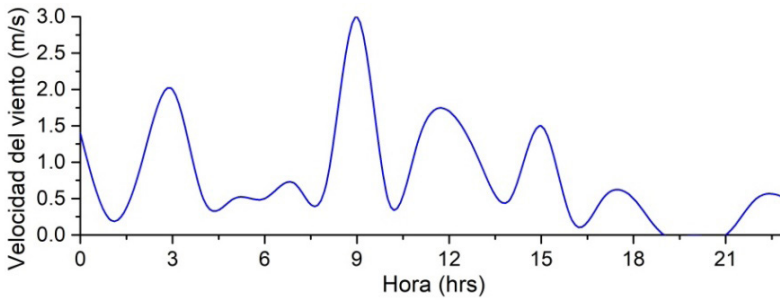


Figura 7. Velocidad del viento. A partir de los datos de Feng et al. (2010).

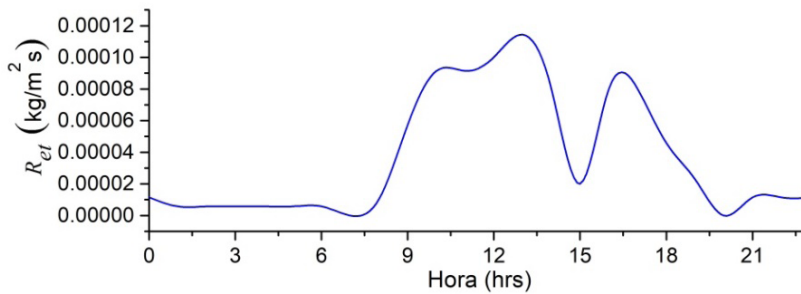


Figura 8. Tasa de evapotranspiración. A partir de los datos de Feng et al. (2010).

En la **Tabla 1** se muestran los demás parámetros empleados para realizar la simulación.

Propiedad	Material		
	plantas	tierra	concreto
ρ (kg/m ³)	582	1200	1800
k (W/mK)	0.5	1.0	0.8
C_p (J/kgK)	4800	840	840

Tabla 1. Valores de los parámetros empleados para la simulación.

5 | RESULTADOS

En esta sección se presentan los resultados de la simulación realizada para los edificios con azotea convencional y azotea verde.

En la **Figura 9** se muestra el perfil de temperatura para los elementos envolventes del edificio con azotea convencional. La temperatura máxima en la azotea se alcanza a las 15:00 hrs y es aproximadamente 346K; la temperatura mínima es de aproximadamente 289K presentándose a las 6:00 hrs. La temperatura en el interior varía aproximadamente de 299K a 316K, alcanzando la temperatura máxima alrededor de las 18:00 hrs.

En la **Figura 10** se muestra el perfil de temperatura para los elementos envolventes del edificio con azotea verde. La temperatura máxima en la azotea se alcanza a las 16:00 hrs y es aproximadamente 321K, la temperatura mínima es aproximadamente 294K y se presenta a las 6:00 hrs. La temperatura en el interior varía aproximadamente de 302K a 308K, se alcanza la temperatura máxima a las 20:00 hrs y la temperatura mínima a las 8:00 hrs.

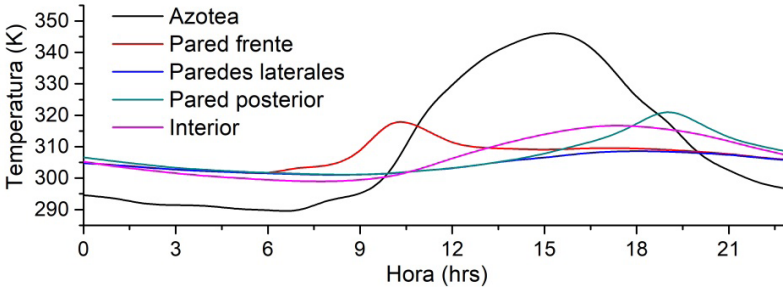


Figura 9. Perfil de temperatura para los elementos envolventes de un edificio con azotea convencional.

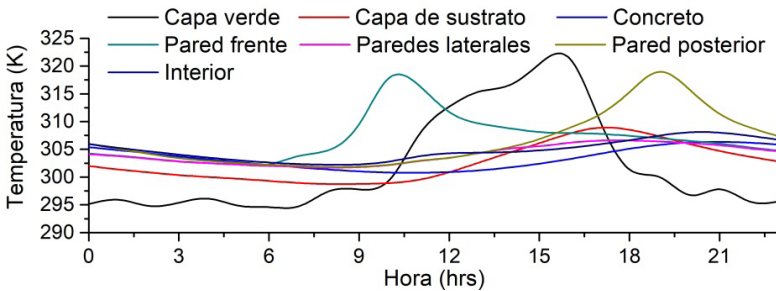


Figura 10. Perfil de temperatura para los elementos envolventes de un edificio con azotea verde.

Para ver de manera clara el impacto que tiene la azotea verde, en la **Figura 11** se muestra el perfil de temperatura en el interior del edificio con azotea convencional y azotea verde. La temperatura interior en un edificio con azotea convencional tiene una mayor amplitud de oscilación que con la azotea verde. Por lo que las azoteas verdes, además de ser sistemas pasivos de refrigeración, contribuyen a tener temperaturas más estables en el interior de los edificios.

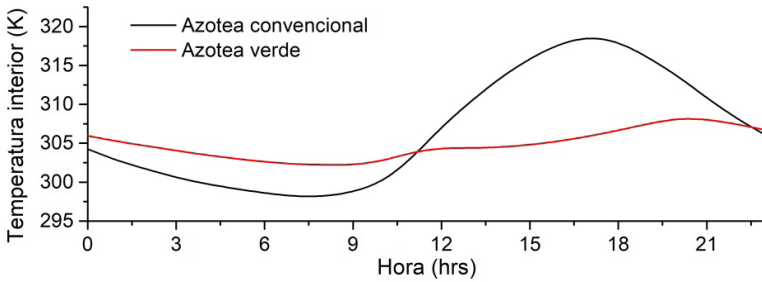


Figura 11. Perfil de la temperatura interior del edificio con azotea convencional y azotea verde.

5.1 Resistencia térmica equivalente

La capacidad de aislamiento térmico se evalúa a partir de la resistencia térmica equivalente que está dada por:

$$R_{TE} = \frac{T_a - T_{in}}{q} \quad (22)$$

donde q es el flux de calor transferido a través de la azotea al interior de cuarto.

Dado que las condiciones climáticas no son constantes la resistencia térmica equivalente no es constante a través de tiempo. Por tal motivo, se toman las condiciones climáticas de las 11:00 hrs y se fija la temperatura interior del edificio en 293.15K, el código se ejecuta hasta que el sistema llega al estado estacionario y se calcula la resistencia térmica equivalente para la azotea convencional y la azotea verde, los resultados se muestran en la **Tabla 2**.

El factor de disminución equivalente se define como la relación entre las amplitudes de oscilación de las temperaturas internas y externas máximas diarias:

$$f = \frac{A_{in}}{A_{ex}} \quad (23)$$

donde A_{in} y A_{ex} son la amplitud de la oscilación de la temperatura en la superficie interior y exterior, respectivamente.

El factor de disminución equivalente para la azotea verde está dado por (TANG e ZHENG, 2019):

$$f = \frac{A_{in,av}}{A_{ex,ac}} \quad (24)$$

donde $A_{in,av}$ y $A_{ex,ac}$ son la amplitud de temperatura en la superficie interior de la azotea verde y la superficie exterior de la azotea convencional, respectivamente. Un bajo factor de reducción equivalente indica una menor carga máxima de aire acondicionado para mantener las condiciones de confort térmico dentro del edificio. En la **Tabla 2** se muestran los resultados obtenidos.

Azotea	R_{TE} (m ² K/W)	A_{in} (K)	A_{ex} (K)	f adimensional
Convencional	0.0627	41.24	85.96	0.4798
Verde	0.2251	5.16	39.49	0.0600

Tabla 2. Valores obtenidos de la resistencia térmica equivalente, la amplitud de temperatura y el factor de disminución equivalente.

Como se puede ver la resistencia térmica equivalente para la azotea verde es mayor, i.e., tiene una mayor capacidad de aislamiento térmico. Por otro lado, se puede apreciar que la amplitud de temperatura en las superficies interior y exterior es menor para la azotea verde y por lo tanto el factor de disminución equivalente es menor para la azotea verde. De acuerdo a estos resultados, la carga máxima de aire acondicionado para mantener las condiciones de confort térmico, en el interior del edificio, es menor cuando se tiene una azotea verde.

6 | CONCLUSIONES

En este trabajo se comparó, por medio de simulación, el desempeño térmico de una azotea verde frente a una azotea convencional. A diferencia de otros estudios, que sólo consideran la transferencia de calor a través la azotea, en el presente trabajo se consideró la transferencia de calor a través de las paredes del edificio y el cambio de la temperatura interior. Los principales resultados hallados son:

- Las azoteas verdes tienen un mejor desempeño térmico respecto a las azoteas convencionales. Esto se debe a que disminuyen el flujo de calor hacia el interior del edificio, presentando una resistencia térmica equivalente mayor.
- Las azoteas verdes también reducen la amplitud de oscilación de la temperatura y por lo tanto presentan un menor factor de reducción equivalente lo que implica que la carga máxima de aire acondicionado requerida para mantener las condiciones de confort térmico en el interior del edificio es menor que la requerida por un edificio con azotea convencional.

REFERÊNCIAS

AMIR, A.K.M. et al. **Effects of convection heat transfer on Sunagoke moss green roof:A laboratory study**. Energy and Buildings, v. 158, p. 1417–1428, 2018.

BERNDTSSON, J.C. e BENGTTSSON, L. e JINNOB, K. **Runoff water quality from intensive and extensive vegetated roofs**. Ecological engineering, v. 35, p. 369–380, 2009.

BESIR, A.B. e CUCE, E. **Green roofs and facades: A comprehensive review**. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 82, p. 915–939, 2018.

CASCONE, S. et al. **A comprehensive study on green roof performance for retrofitting existing buildings**. Building and Environment, v. 136, 2018.

CHURCHILL, S. W. e OZOE, H. **Correlations for laminar forced convection in flow over an isothermal flat plate and in developing and fully developed flow in an isothermal tube**. Journal of Heat Transfer, v. 95, p. 78–84, 1973.

FENG, C. e MENG, Q. e ZHANG, Y. **Theoretical and experimental analysis of the energy balance of extensive green roofs**. Energy and Buildings, v. 42, p. 959–965, 2010.

LI, J.-F. et al. **Effect of green roof on ambient CO₂ concentration**. Building and Environment, v. 45, p. 2644–2651, 2010.

MENG, Q.L. e ZANG, Y. e ZANG, L. **Measurement of the equivalent thermal resistance of rooftop lawns in a hot-climate wind tunnel**. Journal of Harbin Institute of Technology (New Series), v. 13, n. Suppl., p. 53–56, 2006.

QUEZADA-GARCÍA, S. et al. **Heterogeneous model for heat transfer in Green Roof Systems**. Energy and Buildings, v. 139, p. 205–213, 2017.

TANG, Mingfang e ZHENG, Xing. **Experimental study of the thermal performance of an extensive green roof on sunny summer days**. Applied Energy, v. 242, p. 1010–1021, 2019.

TEOTÓNIO, I. e MATOS SILVA, C. e OLIVEIRA CRUZ, C. **Eco-solutions for urban environments regeneration: The economic value of green roofs**. Journal of Cleaner Production, v. 199, p. 121–135, 2018.

VERA, S. et al. **A critical review of heat and mass transfer in vegetative roof models used in building energy and urban environment simulation tools**. Applied Energy, v. 232, p. 752–764, 2018.

ZIOGOU, I. et al. **Implementation of green roof technology in residential buildings and neighborhoods of Cyprus**. Sustainable Cities and Society, v. 40, p. 233–243, 2018.

CAPÍTULO 9

DESENVOLVIMENTO DE UMA PRÓTESE AUTOMÁTICA POR COMANDO DE SINAL ELETROMIOGRAFICO

Data de aceite: 01/07/2020

Jefferson Rodrigo Moreira de Sousa

Faculdade de Ciências Biomédicas de Cacoal
(FACIMED)
Cacoal/RO.

Rafael Bastos Duarte

Faculdade de Ciências Biomédicas de Cacoal
(FACIMED)
Cacoal/RO.

André Luiz Patrício França

Faculdade de Ciências Biomédicas de Cacoal
(FACIMED)
Cacoal/RO.

Sara Carreiro Beloni

Faculdade de Ciências Biomédicas de Cacoal
(FACIMED)
Cacoal/RO.

José Wanderson Oliveira Silva

Faculdade de Ciências Biomédicas de Cacoal
(FACIMED)
Cacoal/RO.

RESUMO: Temos como principal interesse nesse artigo, o desenvolvimento de uma prótese automática utilizando o sinal EMG como fator de destaque para o pleno funcionamento da mesma. Utilizaremos uma mão protética feita de ABS e impressa por uma impressora 3D, assim como o antebraço que também será impresso e estará ligado a uma base de tal forma que possibilite seus movimentos básicos, como dedos e a forma de punho. Em seu interior, teremos um circuito elaborado

que providenciarão um bom funcionamento dos movimentos, e possui como principais componentes o Arduino e os servo motores. Com a pesquisa até o momento, constatamos ser possível a criação dessa prótese funcional, não deixando também o critério da estética, mostrando e ofertando assim uma proposta de um produto simples, funcional e bonito. Espera-se que a criação dessa prótese venha a ajudar diversas áreas no meio científico, e que com o crescer das tecnologias seja possível a implementação da mesma, criando maiores expectativas e produtividade na vida dos que com esse estudo venham a se beneficiar.

PALAVRAS-CHAVE: EMG, Mão mecânica, Prótese, Arduino, Eletrônica.

DEVELOPMENT OF AN AUTOMATIC PROSTHESIS THROUGH THE ELECTROMYOGRAPHIC SIGN

ABSTRACT: We have as main interest in this article, the development of an automatic prosthesis using the EMG signal as a prominent factor for its full functioning. We will use a prosthetic hand made of ABS and printed by a 3D printer, as well as the forearm that will also be printed and will be connected to a base in such a way as to allow its basic movements, such as fingers and the fist shape. Inside, we will have an elaborate circuit that provided a good functioning of the movements, and its main components are the Arduino and the servo motors. With the research so far, we found it possible to create this functional prosthesis, without also leaving the criterion of aesthetics, thus showing and offering a proposal for a simple, functional and beautiful product. It is expected that the creation of this prosthesis will help several areas in the scientific environment,

and that with the growth of technologies it will be possible to implement it, creating greater expectations and productivity in the lives of those who will benefit from this study.

KEYWORDS: EMG, Mechanical hand, Prosthesis, Arduino, Electronics.

1 | INTRODUÇÃO

A complexidade biomecânica funcional da mão envolve uma grande área de representação no córtex cerebral, e isso leva a uma reorganização do sistema nervoso. A amputação da mão leva a incapacidades relacionadas com as áreas motoras, sensoriais ou cognitivas (COSTA, 2017). Segundo uma pesquisa publicada pela Secretaria de Estado da Saúde em 2018, dentro do estado de Rondônia, a maior parte dos acidentes e mortes no trabalho ocorre com homens na faixa etária de 18 a 24 anos. O levantamento também revela que, no decorrer desses últimos cinco anos, o número de acidentes fatais com máquinas e equipamentos é três vezes maior do que a média das outras causas; e as amputações são 15 vezes mais frequentes do que a média geral. A evolução do ser humano com a tecnologia, tende a melhorar de alguma forma a perspectiva de vida e busca sempre aumentar o conforto em que vivemos, e não sendo diferente disso a robótica vem sendo cada vez mais requerida e tendo que desempenhar diversas atividades, das quais o ser humano tem pouco interesse, não pode ou simplesmente não está apto a realizar. As áreas de atuação abrangem um leque enorme de opções, como: aplicações no meio industrial, criação de meios que facilitem as atividades humanas e melhorar a qualidade de vida de pessoas que perderam um membro, tornando-os menos dependentes. A mão e o punho são as partes mais ativas e complexas da extremidade superior e, por isto, a mão se torna um membro exposto a uma ampla incidência de lesões (COSTA, 2017). O musculo esquelético é de fundamental importância para inúmeras atividades cotidianas do ser humano, a falta da parte mais ativa dos membros superiores pode deixar o cidadão inapto a diversas ações comuns. Temos como finalidade, desenvolvimento de uma prótese automática por comando de sinal eletromiográfico, e com isso ocorrerá a criação de um antebraço que será impresso por uma impressora 3D e utilização de uma mão feita de ABS também por impressão 3d mantendo seu pleno funcionamento, que são os movimentos básicos de uma mão.

2 | FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Eletromiografia

A eletromiografia é uma técnica de monitoramento da atividade elétrica das membranas excitáveis, apresentando o potencial contido em uma fina camada de tecido conjuntivo que envolve a fibra muscular (COSTA, 2017). Algumas células são excitáveis, como as nervosas e musculares, e acabam gerando impulsos ao longo da membrana e com isso ocorre a transmissão de sinais. O sinal eletromiográfico (EMG) corresponde ao somatório dos potenciais de ação das fibras musculares que são captados na superfície do corpo. A forma de onda e a variabilidade deste sinal

dependem das posições anatômicas utilizadas para alocação dos eletrodos, do tipo de esforço e/ou movimentação realizado pelo indivíduo (SILVA, 2016). Esses sinais, captados por eletrodos na pele, são informações extremamente relevantes que nos traz a duração, a intensidade, e também o tempo de ativação da musculatura.

2.2 Mão

Em todas as atividades executadas pelo homem, a mão humana é considerada a ferramenta musculoesquelética mais sofisticada e diferenciada. Partindo do ponto de vista fisiológico, a mão não é somente um órgão de execução, mas também um receptor sensorial extremamente sensível e preciso. É também um dos principais órgãos efetores dos nossos comportamentos motores mais complexos, ajudando também a expressar emoções através de gestos, contato, música e arte. A mão pode coordenar uma grande variedade de movimentos, e sua estrutura anatômica e funcional complexa converge principalmente para a realização das preensões (COSTA, 2017).

Uma boa integridade e funcionalidade de todos os segmentos do membro superior resultam em uma boa função da mão, pois tem a capacidade de trabalhar como um órgão de preensão forte e de movimentos delicados ao mesmo tempo, além de ter grande importância sensorial e de discriminação (KAPANDJI, 2007; MAGEE, 2010; NEUMANN, 2011). O punho, ou carpo, possui oito ossos dispostos em duas fileiras, uma proximal e outra distal. A fileira proximal é constituída por quatro ossos, posicionados anatomicamente de lateral para medial com ossos escafoide; semilunar; piramidal e pisiforme. A fileira distal é constituída, de lateral para medial, pelos ossos: trapézio; trapezóide; capitato e hamato. A fileira distal inclui: capitato, trapézio, trapezóide e hamato. A mão tem cinco metacarpos, que muitas vezes são chamadas coletivamente de “metacarpo”, e cada um dos cinco dedos contém um conjunto de falanges (Figura 1) (COSTA, 2017).

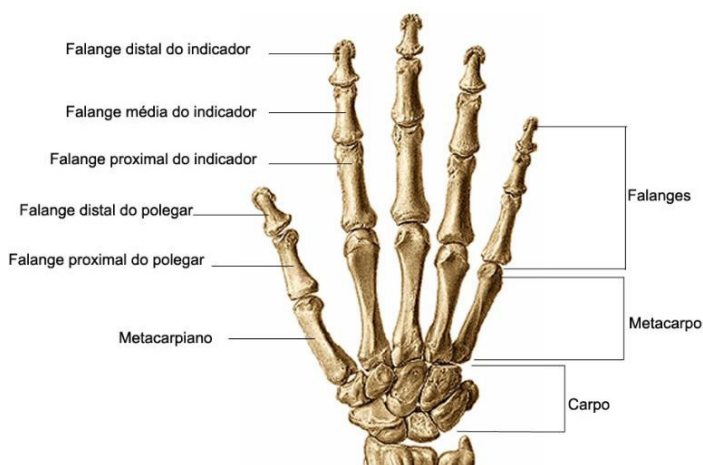


Figura 1. Ossos da mão (vista dorsal).

Fonte: Adaptado de Tortora e Grabowski, 2002.

2.3 Simulação do Circuito de Controle Eletrônico

2.3.1 Circuito

Para o circuito, o qual se baseia o modelo original de como será o protótipo ao se ligar todos os componentes, e que ao estar completo, torna possível adquirir os sinais através dos eletrodos. Como amostra da simulação, utilizamos o esquema da Figura 02, onde está presente todas as partes físicas necessárias para o bom funcionamento do circuito. A simulação do projeto, se baseia em duas etapas: a criação do circuito e a obtenção dos sinais eletromiográficos.

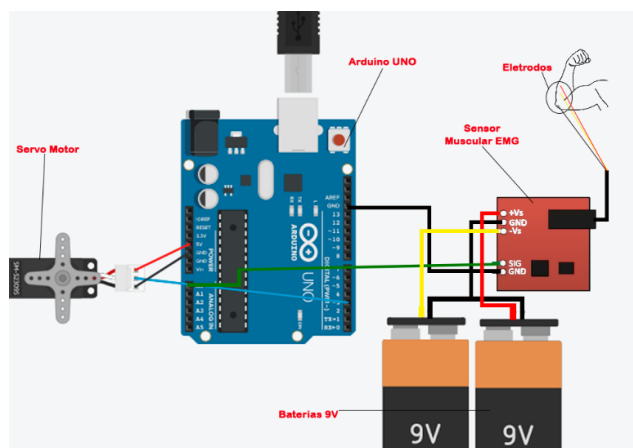


Figura 2 – Simulação do projeto montado.

Fonte: Autor.

2.3.2 Sinais Eletromiográficos

O sinal EMG (Figura 03) é captado após a finalização do circuito, e lido em forma de numeros para que possa ser trabalhado. Esse sinal possui amplitudes aleatórias que chegam a ordem de 10 mV pico-a-pico, relacionando amplitude do sinal com o tempo de contração. Já a frequência do sinal varia de 6 Hz a 500 Hz, com a maior potência localizada na faixa de 20 a 150 Hz (AMORIM, 2018).

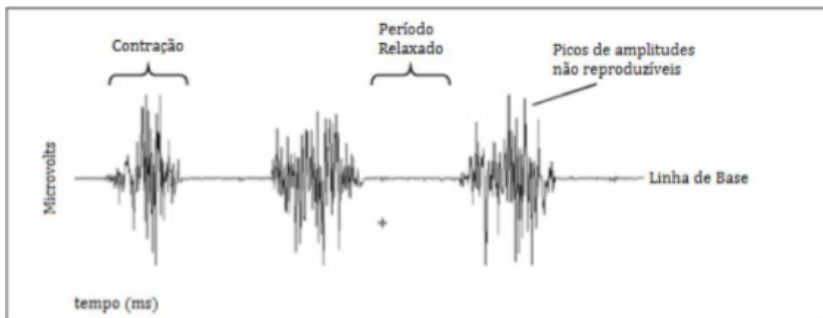


Figura 03 – Exemplo de um sinal EMG.

Fonte: Barion e Dourado, (2015).

3 | MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Lista de Materiais

Os materiais utilizados para o desenvolvimento de uma prótese automática com sinal EMG, são:

MATERIAL	QUANTIDADE	VALOR (R\$)
ARDUINO UNO R3	1	R\$ 54,90
ELETRODOS	~15	R\$ 20,00
FIOS DE AÇO	5	R\$ 15,00
JUMPERS MACHO/MACHO 10CM	VÁRIOS	R\$ 6,90 (40 unidades)
JUMPERS MACHO/FÊMEA 10CM	VÁRIOS	R\$ 6,90 (40 unidades)
PRÓTESE DA MÃO MECÂNICA	1	~R\$ 50,00
PROTOBOARD 400 PONTOS	1	R\$ 13, 90
SENSOR MUSCULAR EMG	1	~R\$ 100,00
SERVO MOTOR MG995	5	R\$ 30,00

3.1.1 Arduino Uno R3



Figura 04 – Arduino UNO.

Fonte: Blog próprio do site filipeflop. Disponível em: <<https://www.filipeflop.com/blog/o-que-e-arduino/>> Acessado em 07 de setembro de 2019.

O Arduino Uno é uma placa baseada no microcontrolador Tmega328, tendo 14 pinos de entrada/saída digitais, 6 entradas analógicas, um cristal oscilador de 16MHz, uma conexão USB, uma entrada de alimentação, uma conexão ICSP e um botão de reset. Ela é o centro de todo o sistema que ficará no interior da base, ele tem como propósito a comunicação das informações extraídas do musculo humano com o movimento que será executado pela prótese.

3.1.2 Eletrodos

Estes adesivos serão utilizados no monitoramento dos músculos, o mesmo podem ser utilizados para medir níveis de EEG, ECG e EMG. São feitos de gel e realizam o monitoramento de forma não evasiva. Assim que encaixado ao conector, nos possibilitará vigiar os sinais e reproduzir de forma espelhada no protótipo.



Figura 5 - Eletrodos descartáveis.

Fonte: Multilógica-shop. Disponível em: <<https://multilogica-shop.com/eletrodo-auto-adesivo>>.

3.1.3 Fios de Aço e Jumpers

Os fios terão seu uso exclusivo para ligações do protótipo, com a finalidade de que sua flexibilidade e força mantenham a comunicação entre a base (os servo motores) e os dedos do protótipo. Estes fios, são pequenos condutores utilizados para conectar dois pontos de um circuito eletrônico. Os mesmo farão uma ponte de todos os componentes eletrônicos utilizados para o Arduino Uno R3.

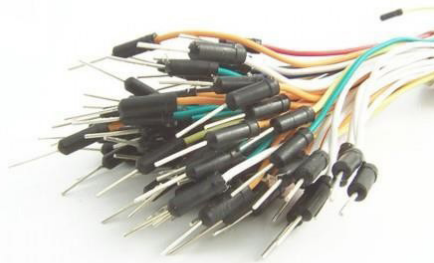


Figura 06 – Jumpers macho/macho.

Fonte: Loja online Vida de Silício. Disponível em: <<https://www.vidadesilicio.com.br/jumpers-macho-macho>> Acessado em 07 de setembro de 2019.

Assim como os jumpers macho/macho, os jumpers macho/fêmea também desempenham uma função de ligação em dois pontos de um circuito eletrônico. Os mesmos além de servir como ponte, poderão ser utilizados para alongar o alcance do circuito.

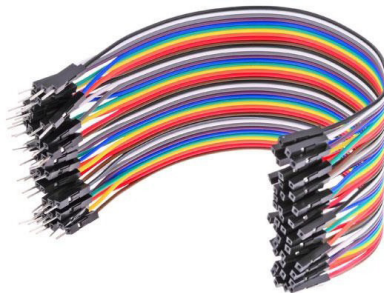


Figura 07 – Jumpers macho/fêmea.

Fonte: Site de vendas FilipeFlop. Disponível em: <<https://www.filipeflop.com/produto/jumpers-macho-femea-x40-unidades/>> Acessado em 14 de setembro de 2019.

3.1.4 *Prótese da Mão Mecânica*

A mão é uma das partes do corpo de maior uso e que em seu interior, é mantido um sistema de alta complexidade, a prótese que usaremos para o protótipo final possui externamente um molde idêntico ao original e realizará os movimentos básicos, o mais próximo possível da realidade.



Figura 08 - Protótipo da mão

Fonte: Autor.

3.1.5 *Protoboard 400 Pontos*

Esta é uma placa de ensaio que possui conexões condutoras para montagem de circuitos elétricos experimentais. A mesma será o ponto de encontro de todos os componentes do sistema, fazendo a ligação até o Arduino Uno R3.



Figura 09 - Protoboard 400 pontos

Fonte: Loja online Vida de Silício. Disponível em: < <https://www.vidadesilicio.com.br/protoboard-400-pontos> > Acessado em 07 de setembro de 2019.

3.1.6 Sensor Muscular Emg

O sensor muscular é uma placa de baixo custo utilizada para medir a atividade muscular através do potencial elétrico, que é conseguido de forma filtrada e retificada a partir de um conjunto de músculos, ou um musculo individual, o que o dá condições de controlar uma prótese facilmente.

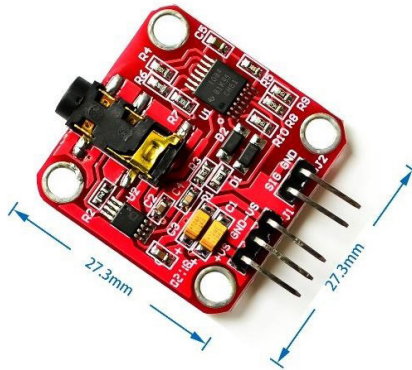


Figura 10 – Sensor Muscular

Fonte: Aliexpress. Disponível em: pt.aliexpress.com. Acessado em: 13/03/2020

3.1.7 Servo Motor Mg955

O servo motor é um atuador rotativo para controle de posição, que atua com precisão e velocidade controlada em malha fechada. Diferentemente de outros motores, o servo motor apresenta movimento rotativo proporcional e atualiza sua posição frequentemente, conforme for feito o comando.



Figura 11- Servo Motor mg995.

Fonte: Site de compras online. Disponível em: <https://blogmasterwalkershop.com.br/arduino/como-usar-com-arduino-servo-motor-mg995/> Acesso em: 13 de fevereiro de 2020.

4 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

Contribuir com o avanço da robótica de forma geral utilizando da tecnologia, com o uso de uma prótese automática comandada por sinais eletromiográficos, uma vez que ela promoverá muitos impactos positivos em diversos meios ligados à área. Desta forma, inicialmente, o protótipo da mão será capaz de realizar movimentos de abrir e fechar a mão e movimentar os dedos individualmente (o que possibilita vários movimentos), o que futuramente poderá proporcionar condições melhores para os que são impossibilitados de tais atos. Além disso, a mesma além de ter um baixo custo de produção, também possui um desempenho satisfatório no funcionamento e na praticidade do manuseio, de forma que seja agradável e ofereça uma melhor qualidade de vida. Através dos sinais captados pelos eletrodos, a mão protética que está fixada sobre a base consegue efetuar seu propósito para o qual foi programada.

5 | CONCLUSÃO

O entendimento de como funciona uma mão protética nos foi introduzido, tanto a parte biológica da mão quanto a robótica, sendo essa um dos órgãos efetores dos nossos comportamentos motores mais complexos, ajudando também a expressar emoções através de gestos, contato, música e arte. Utilizando o conceito de eletromiografia, o qual compreende o entendimento de que é uma técnica que vem sendo cada vez mais utilizada no meio científico, pois utiliza os sinais EMG que conseguem captar a atividade elétrica das membranas excitáveis e apresenta o potencial contido no sarcolema. Foi desenvolvido uma metodologia de aquisição, processamento e classificação de sinais eletromiográficos, com o intuito de controlar essa prótese, utilizando para seu devido controle a placa Arduino UNO juntamente com uma fonte externa DC para alimentar os servos motores presentes na prótese. A aplicação do Arduino UNO possibilitou realizar a conexão da saída da rede com os atuadores da prótese, de tal modo que foi possível desempenhar a calibragem da angulação de cada servo separadamente, facilitando os movimentos e os deixando com uma reprodução satisfatória na prótese.

REFERÊNCIAS

AMORIM, A. F. – **Desenvolvimento de uma prótese mioelétrica utilizando controle inteligente** – Caraúbas, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, 2018.

BARION, Diego P.; DOURADO, Marília A. L.; **Aquisição do sinal mioelétrico para acionamento de dispositivos**. 2015. 60f. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica com ênfase em eletrônica) - Escola de Engenharia de São Carlos. São Paulo, 2015.

BARROS, K. R. – **Metodologia para classificação de sinais EMG para controle de próteses com baixo esforço computacional** – Uberlândia, Universidade Federal de Uberlândia, 2005.

COSTA, R. M. – **Adaptação do usuário de próteses mioelétricas: implicações na aprendizagem de movimentos da mão** – Vitória, Universidade Federal do Espírito Santo, 2017.

KAPANDJI, I. A. – **Fisiologia articular** – Vol. 1 – 6ª Ed. 2007.

LEVANGIE, Pamela e NORKIN, Cynthia C. – **Joint structure and function: a comprehensive analysis** – 3ªEd. Jan 2001.

MARCHETTI, Paulo Henrique; DUARTE, Marcos. Instrumentação em Eletromiografia. São Paulo: Laboratório de Biofísica, Escola de Educação Física e Esporte da Universidade de São Paulo, 2006. 29 p. Disponível em: <<http://ebm.ufabc.edu.br/publications/md/EMG.pdf>> Acesso em: 06/06/20.

MOREIRA, Art. Demóstenes e ALVAREZ, Rosicler Rocha Aiza – **Avaliação da força de preensão palmar com o uso de dinamômetro Jamar em pacientes portadores de hanseníase atendidos em nível ambulatorial no Distrito Federal** – 2002. < <http://www.iisl.br/revista/imageBank/865-2571-1-PB.pdf>>.

NEUMANN, Donald A – **Cinesiologia do aparelho musculoesquelético: fundamentos para reabilitação** – 3ªEd. 2011.

NEUMANN, Donald A. – **Cinesiologia do aparelho musculoesquelético** – 2ªEd. 2018.

Portal do Governo do Estado de Rondônia: Disponível em <<http://www.rondonia.ro.gov.br/com-mais-de-15-mil-acidentes-de-trabalho-e-187-obitos-registrados-em-cinco-anos-rondonia-tem-reforcadas-atividades-de-conscientizacao-para-a-prevencao/>>. Acesso em 29/08/2019.

RAINOLDI, A.; MELCHIORRI, G.; CARUSO, I. The method for positioning electrodes during surface EMG recordings in lower limb muscles. J Neurosci Meth 2004; 134:37-43.

SCHIEBER, Marc e SANTELLO, Marco – **Função manual: restrições periféricas e centrais no desempenho** – Julho de 2004

SILVA, Luiz A. Z.– Controle de Prótese Mecânica Aplicado à Robótica Assistida através de eletromiografia – Juiz de Fora, 2016.

VIUDES, D. M. - **Desenvolvimento de sistema de biofeedback eletromiográfico para otimização do controle motor** – Campinas, Universidade Estadual De Campinas Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação, 2015.

VIUDES, Daniela Munaretti - **Desenvolvimento de sistema de biofeedback eletromiográfico para otimização do controle motor** – Campinas, 2015.

ZECCA, M., MICERA, Silvestro e CARROZZA, M. C. – **Critical reviews em engenharia biomédica** – Vol.30. 4-6ª Ed .201

CAPÍTULO 10

EFEITOS DA RADIAÇÃO ELETROMAGNÉTICA IONIZANTE EM EQUIPAMENTOS ODONTOLÓGICOS

Data de aceite: 01/07/2020

Data de submissão: 06/07/2020

Alessandro Márcio Hakme Da Silva

Faculdade de Tecnologia do Estado de São Paulo, Curso Sistemas Biomédicos, Campus Ribeirão Preto
Ribeirão Preto - SP

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7320-4790>

Marcelo Caetano Oliveira Alves

Faculdade de Tecnologia do Estado de São Paulo, Curso Sistemas Biomédicos, Campus Ribeirão Preto
Ribeirão Preto - SP

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2712-7541>

Thiago Augusto Neiva Spironelli

Universidade de Araraquara – UNIARA, Curso de Sistemas de Informação
Araraquara – SP

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0568-5400>

Eduardo Souza Sims

Universidade de Araraquara – UNIARA, Curso de Engenharia Elétrica, Araraquara – SP.

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/7708753552421482>

Patrícia Garani Fernandes

Universidade de São Paulo, Faculdade de Odontologia de Ribeirão Preto,
Ribeirão Preto/SP

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1095-1358>

Fernanda Florian

Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP- Faculdade de Odontologia de Araraquara-SP (FOAr).
Araraquara-SP.

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/5185858737746242>

Fabiana Florian

Universidade de Araraquara – UNIARA, Curso de Engenharia Elétrica, Araraquara – SP.

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/7128829324567785>

Marcelo Cláudio de Gouvea Duarte

Faculdade de Tecnologia do Estado de São Paulo, Curso Sistemas Biomédicos, Campus Ribeirão Preto
Ribeirão Preto - SP

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1468-8785>

RESUMO: O estudo dos níveis de radiação ionizante de alguns equipamentos odontológicos é oportuno, uma vez que estes ao serem utilizados apresentam riscos biológicos aos operadores, pacientes e a todos os envolvidos. Os equipamentos de Raios-X são fontes de radiação eletromagnética ionizante muito utilizados na odontologia. Três equipamentos de Raios-X pertencentes ao Núcleo de Odontologia de uma Universidade no interior do Estado de São Paulo foram analisados através de laudos técnicos emitidos para o controle de radiação do local. Os dados dos relatórios dos equipamentos foram analisados de modo a classificá-los em satisfatórios ou não quanto ao grau de segurança, por meio dos seguintes parâmetros: tempo de exposição, dose de entrada na pele e kerma no ar. Os

equipamentos de Raios-X estudados se enquadraram dentro das exigências dos valores referenciais da norma, exceto a divergência da dose de penetração na pele (ESD) de 0,13 mGy acima da norma para o equipamento RX3, e na medida do Kerma no ar 3.59 mGy para RX1, apresentando risco ao operador e paciente, principalmente em relação à exposição prolongada. O presente trabalho procurou avaliar e comparar os padrões internacionais de limites de dose com a legislação brasileira e ressaltar os princípios básicos de radioproteção, bem como dos mecanismos de ação danosos da radiação ionizante.

PALAVRAS-CHAVE: efeitos biológicos da radiação; biossegurança; equipamento odontológico; radioproteção.

EFFECTS OF IONIZING ELECTROMAGNETIC RADIATION IN DENTAL EQUIPMENT

ABSTRACT: The ionizing radiation assessment of dental equipment around the risk levels is timely, since its use involves risks of biological effects to the operators, patients and all those involved. X-ray equipment is a source of ionizing electromagnetic radiation (X-ray), widely used in dentistry. Three X-ray equipment from the Dental Nucleus of a local University at State of São Paulo were evaluated through technical reports issued by the radiation control company of the University's equipment. The comparison between the parameters obtained from the reports was analyzed to characterize the data evaluated as satisfactory or not for the safety level through the following parameters: exposure time, entrance skin dose (ESD) and air kerma. The results conformed to the requirements of the standard values reference, except for the divergence about the ESD (0.13 mGy) above the norm for the RX3 equipment and air kerma (3.59 mGy) for the RX1, thus presenting a risk to the operator, especially in relation to the effects of prolonged exposure. The present work sought to assess and compare the international standards about dose limits with Brazilian legislation and to highlight the basic principles of radiation protection, as well as the harmful ionizing radiation mechanisms of action.

KEYWORDS: biological effects of radiation; biosecurity; dental equipment; radiation protection.

1 | INTRODUCTION

Radiation is a form of energy emitted by a source, transmitted through vacuum, air or other material means that interacting with matter can produce several effects (Okuno 2013).

These radiations can be classified as of corpuscular (or particulate) origin - comprising natural radioactivity or radioisotopes such as α (alpha), β (beta), cathode rays and neutrons; and that of electromagnetic origin (Freitas 2000).

Electromagnetic radiation can be classified as ionizing and non-ionizing. According to Okuno and Yoshimura (2010), "a radiation is considered ionizing if it is capable of pulling an electron from an atom or a molecule to which it is electrically connected, otherwise it is considered non-ionizing."

Such radiations are present in X-ray equipment used in the acquisition of images of buccal structures, being the source of ionizing electromagnetic radiation,

justifying the non-approach of corpuscular radiation in this article.

The use of radiation in the search for benefits can bring some biological damage to those involved, with the ionizing radiation being the most harmful. Examples of damage to humans include those of skin lesions, cancer, leukemia, cataracts and DNA or cellular modifications, and may even become hereditary (Freitas 2000). Therefore, it is necessary to meet several standards regulated by national and international bodies to obtain and operate equipment of this nature in order to minimize the damages.

X-ray equipment may lose calibration over time, resulting in undue changes in the level of radiation emitted, making the exposure environment unsafe because of 'invisible' risks that go unnoticed by both the operator and the patient. Three X-ray equipment belonging to the Dental Nucleus of a local University at State of São Paulo, Brazil, were evaluated through technical reports issued for the radiation control of the site.

2 | OBJECTIVES

The purpose of this study was to compare the data related to the dental X-ray equipment of a local University at State of São Paulo, Brazil, with the data contained in the national and international legislation, allowing characterizing the data evaluated as safe or unsafe. Still in the scope of this study, we compared Brazilian legislation on radiation dose limits with US and European legislation, as well as discussing the basic mechanisms that determine the biological effects of radiation exposure.

3 | X-RAYS IN DENTISTRY

Radiology is the medical specialty that uses the effects of artificial radiation for image acquisition and diagnosis of the human body for disease control and treatment, the main methods being known for radiography, ultrasonography, tomography and magnetic resonance imaging (Mello Junior 2016). Such methods are vastly employed in medicine and dentistry.

In dentistry, X-ray machines are characterized by simpler construction to make them portable or, at least, mobile. According to Alvares and Tavano (1998) these devices are "equipped with Auto Rectifier type tubes, which can operate with alternating current (AC) power" which allows their more compact design.

According to Brazil (1998), the use of radiation represents a major advance in medicine, requiring, however, that the practices that give rise to radiological exposures in health be carried out under optimized conditions of protection to the operator of the equipment and to the patient.

Another source of radiation used is radiotherapy, which consists of a "method capable of destroying tumor cells, employing ionizing radiation beam [...] with the least possible damage to the normal surrounding cells, at the expense of which the regeneration of the irradiated area will be carried out" (Brazil 1993).

4 | BRAZILIAN REGULATION OF RADIATION SAFETY AT WORK

Occupational safety and health consist of obligations, rights and duties to be complied by employers and employees, ensuring a safe and healthy work, preventing the occurrence of diseases and accidents at work. Such measures are provided by means of regulatory standards (Brazil 2015).

Regulatory Standard No. 15 (NR15) - Unhealthy Activities and Operations, addresses safety requirements for exposure to ionizing radiation (Annex 5) and non-ionizing radiation (Annex 7). In Annex 5, we can verify that the safety measures to be adopted are those contained in the CNEN Standard NN 3.01: “Basic Guidelines for Radiation Protection”, published in 1988 and with updates, or one that supersedes it (Brazil 2014). The CNEN NN 3.01 standard is developed by the National Nuclear Energy Council, a federal agency linked to the Ministry of Science and Technology and responsible for “establishing the basic requirements for the radiation protection of people in relation to exposure to ionizing radiation” (National Nuclear Energy Commission 2014).

Besides, the Regulatory Standard N° 32 (NR32) - Health and safety at work in health services does not exonerate the compliance with the provisions established in the specific regulations of CNEN and ANVISA, and also regulates aspects of the Radiation Protection Plan (PPR).

The Secretariat of Health Surveillance, an agency of the Ministry of Health, in its Ordinance 453 (1998), establishes the basic guidelines for radiological protection in medical and dental diagnostic radiology (Brazil 1998). This ordinance regulates the sector of medical and dental diagnostic radiology throughout the country.

5 | PRINCIPLES OF RADIATION PROTECTION

From the standpoint of the patients' health, the professionals involved in the care, and members of general public, exposed to ionizing radiation, we must pay attention to the fact that this type of radiation, either if it is external, when the source is outside of the exposed organism, or internally, when the radioactive material is incorporated in the organism, generates cellular damage, and there is no safe dose. The doses received in radiation exposure are cumulative, some of the somatic damages (on the individual that receives the radiation) being reversible, but in the case of genetic damage, they are irreversible. Precisely because of these previously mentioned factors, the exposure of individuals to radiation should be reduced as much as possible (Soares 2002).

The basic guidelines for radiological protection in medical and dental diagnostic radiology are present in Ministry of Health Ordinance 453 (1998), as well as in specific legislation of the National Nuclear Energy Commission - CNEN - NN 3.01.

These principles are: justification, optimization, individual doses limitation and prevention of accidents: a) Justification: exposure to radiation should bring real benefits to the individual or to society, in exchange for the probability of occurrence and severity of the effects of their exposure, either for the individual himself or for his

descendants, and their efficacy, benefits and risks should also be weighed against that of alternative techniques; b) Optimization: Studies show that there is no dose threshold for stochastic effects, so there is always a carcinogenic risk involved depending on the radio sensitivity of the exposed tissue. There is still the possibility of changes in gametes when gonadal (testicles and ovaries) exposure to radiation. To mitigate these hazards, the principle of optimization works with the planning of facilities and practices in order to reduce exposure to ionizing radiation. In this context the principle of keeping such exposure As Low As Reasonably Achievable (ALARA) applies; c) Individual Doses Limitation: it establishes the primary limits of individual annual doses of workers and of members of the public. These limits in the scope of medical and dental radiological practices are present in the abovementioned legal regulation. The CNEN-NN-3.01 standard was based on the recommendations of the International Commission on Radiological Protection (ICRP), initially in its publication n. 26 and later in publication n. 60, in 1991; and d) Accident Prevention: it aims to minimize the probability of occurrence of accidents in the design and operation of equipment and facilities. It should be noted that this last principle is only present in the Ministry of Health Ordinance.

The annual effective dose of 20 mSv/year in a period of 5 consecutive years shall be used as annual limits for occupationally exposed individuals, not exceeding 50 mSv in a single year. For members of the public, this limit is 1 mSv/year, and CNEN may authorize, in special circumstances, an effective dose of up to 5 mSv/year, but not exceeding 1 mSv/year in a 5-year period. The equivalent dose limits for the lens, skin and extremities (hands and feet) in occupationally exposed individuals are 20 mSv/year for the first, and 500 mSv/year for the last two, being for the lens, this value (20 mSv) shall be the result of the arithmetic mean of 5 consecutive years and shall not exceed 50 mSv in any year. For individuals in the public, the equivalent dose limits for the lens and skin are, respectively, 15 mSv/year and 50 mSv/year, with no threshold reference for the extremities. In the case of occupationally exposed pregnant women, in order to ensure embryonic/fetal health, it is established that their activities should be controlled to ensure that the dose at the surface of the abdomen does not exceed 2 mSv throughout the remainder of the pregnancy, making it unlikely that, from pregnancy notification, the embryo/fetus receives an effective dose greater than 1 mSv.

When it comes to minors under 18 years of age, the Ministry of Health Ordinance defines that they cannot work with diagnostic x-rays, except in training, however, for students aged between 16 and 18 years, in traineeship, the effective annual dose should not be greater than 6 mSv and the annual equivalent dose limit should be 50 mSv for the lens and 150 mSv for the extremities. Although it is not expressly provided by law, the radiation exposure to students over 18 year of age who, in the context of academic studies, work with radiation, it is understood that the same professional exposure rules are applied.

For protection against ionizing radiation we must consider: 1) Distance from the Source: since the exposure is inversely proportional to the square of the distance, that is, by doubling the distance, we reduce the exposure by its fourth part;

2) Shielding: through the insertion of radiation absorber between the source and the person; and 3) Exposure Time: limiting exposure to the shortest possible time. Air kerma is a radiation measure used to express the radiation concentration delivered to a space point, such as the entrance surface of a patient's body. The quantification terminology originated from the acronym KERMA for Kinetic Energy released per unit of air mass. The measurement of the Kinetic Energy is the amount of radiation energy in the unit of joules (J), deposited in or absorbed in a unit mass (kg) of air. Therefore, Air kerma is expressed in the units of J/kg which is also the radiation unit, the gray (G).

According to the table 1 below, we verify the references of the levels of entrance skin dose (ESD), with unit in mGy (miligray), according to the previously mentioned Ordinance of the Ministry of Health, elaborated for typical adult patient (weight between 60 and 75 kg and height between 1.60 and 1.75 m).

EXAM		DEP (mGy)*
Lumbar spine	AP	10
	LAT	30
	LSJ	40
Abdomen, urography and cholecystogram	AP	10
Pelvis	AP	10
Thorax	PA	0.4
	LAT	1.5
Thoracic spine	AP	7
	LAT	20
Dental	Periapical	3.5**
	AP	5
Skull	AP	5
	LAT	3
Mammography***	CC using grid	10
	CC not using grid	4

TABLE 1. Diagnostic radiology by radiography reference levels for typical adult patient.

Source: adapted from Ordinance 453/1998 (Brazilian Ministry of Health).

Observations: PA: posteroanterior projection; AP: anteroposterior projection; LAT: lateral projection; CC: craniocaudal projection; LSJ: lumbosacral junction.

(*) ESD, entrance skin dose. These values are representative for medium sensitivity image receiver, with relative speed of 200. For faster screen-film combination (400-600), these values should be reduced by a factor of 2 to 3.

(**) for group E film.

(***) determined in a 4.5 cm compressed breast for screen-film system and a unit with anode and molybdenum filtration.

With the update of the ICRP-60 for the ICRP-103, in 2007, Brazil is relatively outdated compared to the one recommended by the world radiation protection community. Among the main differences between the Brazilian standard CNEN-3.01 (2014) and the last edition of the ICRP (2007) are the change in the radiation and tissue weighting values, the introduction of the concepts of planned and emergency exposures and of existing exposures (not included in the scope of this study), and recommendations for the development of a project of radiation protection of the environment. Despite these changes, the fundamental principles of radiation protection were maintained (Pereira et al. 2015).

In the most recent ICRP publication no. 118 (2012), some changes in dose limits were established for tissue reactions, previously said deterministic effects, when compared to what was previously established by the same organ.

When it comes to radiation induced cataracts, a threshold of 5 Gy for acute exposures and a dose greater than 8 Gy for highly fractionated doses as well as for prolonged exposures when considered cataract with visual impairment was established in ICRP publication 103, these values remaining unchanged from the recommendations of 1990 (ICRP 1991). Regarding cataract detection, lower dose limits were valid since the 1984 ICRP publication, being 0.5-2 Gy for acute exposures and 5 Gy for highly fractionated doses or prolonged exposures. The new publication considers a threshold dose value of about 0.5 Gy for both acute and chronic exposure for the presence of cataracts.

As for circulatory diseases, it has been recognized as important late effects of exposure to radiation, both for mortality and morbidity. A threshold dose of approximately 0.5 Gy has been proposed for acute and fractional/prolonged exposures, as they should lead to a low percentage of developing circulatory diseases in exposed individuals, one to a few percentage points. Although the risk estimate at this dose level is uncertain.

The threshold dose values for chronic exposure have great difficulty to be well defined, because it requires the evaluation of the exposure duration and the follow-up period after exposure to radiation, with variance among different studies. The threshold values for the lens and the circulatory system have the same incidence of injury, regardless of the acute or chronic exposures during the working life, following a period of more than 20 years. In relation to the public, the annual threshold dose should be scaled down in proportion to the individual's relative lifespan by subtracting the latency period for the onset of lesions (20 years for the lens and 10 years for the circulatory system), in contrast to working life.

There are biological response modifiers that reduce tissue reactions, resulting in threshold dose changes. Further studies on this subject is likely to have an increasing impact in the future.

In Europe, a treaty establishes the European Atomic Energy Community (EURATOM), with the task of contributing to the establishment of conditions for the rapid formation and growth of nuclear industries, requires that its signatory countries establishes basic safety standards for protection of health, workers and the general public against the dangers arising from ionizing radiation.

Currently, EURATOM, in Directive 59 (2013), establishes, as general principles of radiation protection, Justification, Optimization and Dose Limitation, setting the limits of professional exposure (Article 9), effective dose of 20 mSv/year and, in special circumstances or situations, the competent authority may authorize a higher dose limit that may reach 50 mSv in one year, and the average over a consecutive period of 5 years may not exceed 20 mSv. A higher threshold is established in Brazilian legislation, but not mentioning any requirement for special circumstances.

The equivalent dose limit for the lens of the eye is 20 mSv/year or 100 mSv over 5 consecutive years provided that the mean dose in the same year does not exceed 50 mSv and, in relation to the skin and the extremities, the equivalent dose of 500 mSv/year is applied, values equivalent to Brazilian legislation.

For members of the public, the effective dose limit allowed for the exposure is 1 mSv/year, with equivalent doses to the lens of the eye and to the skin, of 15 mSv/year and 50 mSv/year, respectively, in agreement with the Brazilian legislation.

For pregnant and breastfeeding workers (Article 10), the equivalent dose limit parameter received by the unborn child is similar to the Brazilian legislation, in which the dose received unlikely exceeds 1 mSv for at least the remainder of pregnancy, since the company or employers are informed.

For students and apprentices between 16 and 18 years old who are exposed to radiation, the established limit is 6 mSv/year. In addition, the following effective dose limits are defined as 15 mSv/year for the lens of the eye, 150 mSv/year for the skin and also for the extremities. For students and apprentices over the age of 18-year who are exposed to radiation due to the studies, EURATOM, unlike the Brazilian legislation, expressly states the same professional exposure rules as in Article 9 of its Directive 59 (2013).

Radiation protection recommendations in Europe and, in general, in the world, are based on the recommendations of the ICRP, thus making clear the similarity between the compared legislations.

In the United States, there is the USNRC - United States Nuclear Regulatory Commission, which establishes the radiation protection program and defines the dose limits of occupational exposure and members of the public, even, determining that it should be established, for radiation protection, the ALARA principle aforementioned.

The provided effective dose limit for occupational exposure is 50 mSv/year or the sum of the equivalent doses of any individual organ or tissue, other than the lens of the eyes, equal to 500 mSv/year. The annual equivalent dose limit for the lens is 150 mSv, which is the main difference from Brazilian legislation and that provided for by EURATOM, that is 7.5 times greater than the dose of these other legislations. The equivalent dose limit for the skin is 500 mSv/year. There is no dose limitation defined for the extremities.

For minors the dose limit is set at 10% of the annual limit specified for adult workers, a very different determination from the Brazilian and the European.

For members of the public, the effective dose limit is 1 mSv/year, that may reach 5 mSv/year in special circumstances, equivalent to the other legislations. No other limits are defined for public exposure to radiation relevant to the scope of this

paper.

For pregnant women, the equivalent dose limit is 5 mSv throughout pregnancy. If the equivalent embryo/fetus dose is 5 mSv at the moment the pregnancy is known, then the equivalent dose of the embryo/fetus should not exceed 0.5 mSv during the remainder of the pregnancy. The limits provided by the US agency, deviate from that recommended by the Brazilian legislation and by EURATOM, as illustrated.

Through this study it is possible to notice that the Brazilian and European legislation are very close, keeping some similarities with the American legislation. Compliances come from the influence of ICRP publications, which, although a non-governmental entity, is the most influential in the context of global radiation protection.

Finally, this ICRP publication No. 118 (2012) concludes that acute doses of up to about 0.10 Gy do not produce functional damage to tissues, this includes the lens, with regard to the risk of cataract, emphasizing that a dose threshold model remains unclear for this tissue. It should also be noted that the stochastic risks of radiation-induced cancer and the hereditary effects are still the main risks to be considered in occupational and for members of the public exposure to radiation. When considering high-dose exposures, there is a significant increase in the risk of tissue reactions, namely deterministic effects, particularly regarding accidents and incidents involving radiation, and exposures arising from medical procedures and interventions.

6 | BIOLOGICAL EFFECTS OF RADIATION

Regarding the biological effects of radiation, the human body is made up of molecules of varying size and complexity, which in turn are formed by atoms bonded by electrical forces. When an ionizing particle has sufficient energy to remove an electron from an atom that forms a particular molecule, such as DNA (deoxyribonucleic acid), there is a destabilization, determining molecular breakdown, which may result in a temporary organic response or in disease (Okuno 2013).

The organic reaction to exposure to radiation depends basically on five factors, namely: 1) total amount of radiation received; 2) total amount of radiation previously received by the body; 3) individuality of the organic constitution; 4) physical damage at the same time of the dose of radiation; and 5) time elapsed during which the total amount of radiation has been received (Soares 2002).

We can divide the radiation actions in the human body in the following stages: a) physical stage: occurs with the ionization of atoms; b) physical-chemical stage: there is a breakdown of the chemical bonds of the ionized molecules, resulting in molecular fragmentation; c) chemical stage: the molecular fragments bind to other molecules; and d) biological stage: biochemical and physiological effects appear, with morphological and functional alterations of the organs, lasting for days, weeks, years or even decades. In this final stage there are expression of symptoms, diseases (radiodermatitis, cancer, leukemia, cataract etc.) and/or genetic effects. It should be emphasized that not every organic change represents disease and may be temporary or even repaired by the body's defense mechanisms (Okuno 2013).

The most important cellular damage is related to DNA, which can determine instant cell death, somatic changes or hereditary effects. Cellular mutations, whether

somatic or hereditary, may originate from specific mutations due to modifications in DNA sequence, structural chromosomal aberrations (chromosome breakage) and aberrations involving the number of chromosomes (Soares 2002).

The biological effects of radiation can be divided into stochastic and deterministic.

Stochastic effects are often expressed after months or years of exposure to radiation, and their occurrence is proportional to the radiation dose received, but with no threshold dose considered safe. Besides, if a cancer develops due to exposure to radiation, for example, its severity is not linked to the greater or lesser amount of exposure to radiation, that is, the cancer will not become more or less aggressive (Soares 2002; Okuno 2013).

On the other hand, deterministic effects occur mostly days or weeks after irradiation of the exposed organ or tissue, only if absorbed a minimum dose of radiation. Also, the higher the dose, the more severe its effect, as, for example, in case of cataracts and radiodermatitis. In case of acute doses of radiation the results can vary from tens of minutes to years in cases of prolonged exposure. Cellular effects are varied, leading to premature cell death, delay or impairment in the division process, or permanent changes and/or hereditary changes (when the genetic material of spermatozoa or egg cells are altered) (Soares 2002; Okuno 2013).

7 | METHODOLOGY

A descriptive and bibliographic research was carried out, which made it possible to correlate already published contents on one or several subjects through a new approach, creating innovative content that provides an auxiliary basis for future research (Marconi and Lakatos 2010).

The Nucleus of Dentistry of a local University (State of São Paulo, Brazil) was used as a study reference. It was possible to evaluate three X-ray equipment by collecting data in technical reports issued by an outsourced company, regarding the control of radiation of the nucleus, allowing to visualize the real condition of the X-ray equipment.

This three dental x-ray equipment were named here RX1, RX2, RX3, and their brands, models and series numbers were suppressed to prevent undesirable exposure of their manufacturer as the objective of these work is not for certification or regulatory matters.

We can explain the omission of equipment information from the fact that it is not an assessment for certification purposes and is outside of NR 17025.

In order to understand the safe practices in environments exposed to radiation, both national and international regulatory rules valid in 2018 were analyzed.

The data were arranged and analyzed by means of descriptive statistics for a better interpretation of the information. Comparing the data collected from all the equipment involved with those of the safety standards, it was possible to verify whether or not the equipment complies with the required safety standards.

8 | RESULTS AND DISCUSSION

The following tables present the values (kVp, Focus-Film Distance used in the preparation of the DFF report, Filter, mGy/s, film, maximum exposure time and ESD) obtained through the technical reports of the radiological protection team for three X-Rays of the University Dentistry Nucleus.

Equipment	kVp	DFF(cm)	Total Filter (mm Al)	mGy/s	Film	Max. time (s)	ESD (mGy/s)*Max. Time
RX1	66.5	22.0	3.81	3.77	E	0.9	3.39 mGy
RX2	64.5	22.0	3.81	3.07	E	1.1	3.37 mGy
RX3	67.5	22.0	3.81	3.63	E	1.0	3.63 mGy

TABLE 2 Values obtained from the respective x-ray reports.

Equipment	Exposure Time (s)			Air Kerma (mGy)		
	T1	T2	T3	T1	T2	T3
RX1	0.56	0.75	0.96	2.12	2.81	3.59
RX2	0.59	0.74	0.95	1.74	2.34	2.92
RX3	0.61	0.78	0.98	2.21	2.88	3.48

TABLE 3 Air Kerma values obtained from respective x-ray reports.

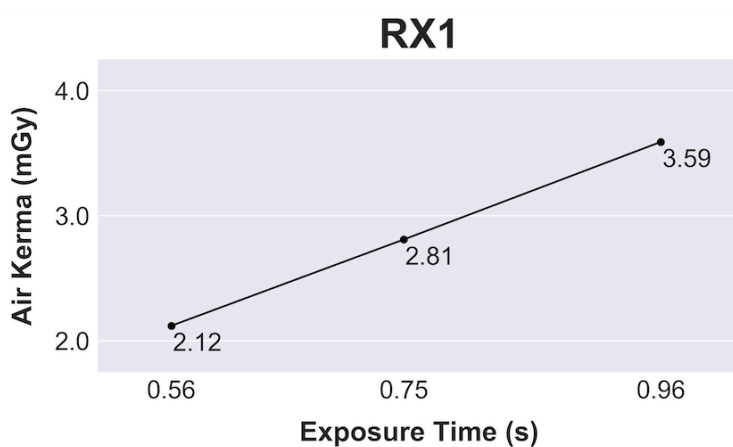


FIGURE 1 Kerma air vs. Exposure time graph from RX1.

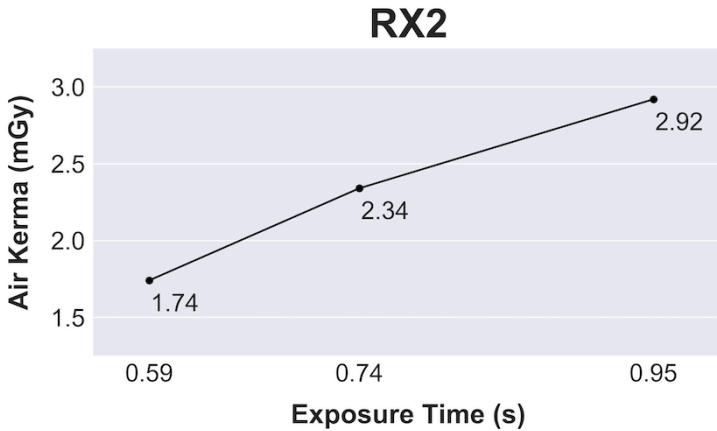


FIGURE 2 Kerma air vs. Exposure time graph from RX2.

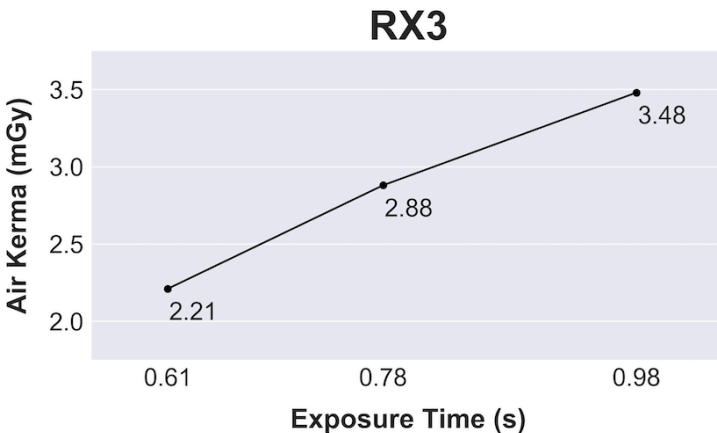


FIGURE 3 Kerma air vs. Exposure time graph from RX3.

According to Brazil (1998), in ANVISA Ordinance 453, in intraoral radiographs the tension in the x-ray tube should preferably be higher than 60 kVp and for extraoral radiographs should not have a voltage lower than 60 kVp. Equipment with a tube tension ≤ 70 kVp must have a total filter of not less than 1,5 mm Al. The Entrance Skin Dose - ESD, in dental radiology for typical adult patients, must not exceed 3.5 mGy for E type filter.

All the equipment evaluated presented voltage values in the X-ray tube (kVp) within ANVISA standards. ESD is defined as the dose absorbed at the center of the beam incident on the surface of the patient undergoing a radiological procedure. Only the RX3 equipment presented a result for the entrance skin dose (ESD) slightly above that recommended by the rules, with an increase of 0.13 mGy, which highlights the importance of a semiannual or annual screening of the X-ray equipment by the institution. A new radiographic report with a smaller field amplitude, at more frequent

exposure times throughout the year, would challenge the results obtained in the reports for comparative effect with the legislation.

Thus, it is again sought to highlight the stochastic effects that are expressed after exposure to medium to long-term radiation, once their occurrences are proportional to the dose of radiation received, but without a threshold considered safe. As for the deterministic effects, the higher the dose, the more severe its effect and in the case of higher doses of radiation the results can vary from tens of minutes to prolonged effects over the years. Cellular effects are varied, with premature cell death, delay or impairment in its division process, or even permanent and/or hereditary changes.

9 | CONCLUSIONS

In order to compare the X-ray equipment data with the data contained in the national legislation, we conclude that the studied X-ray equipment are in compliance with the reference values of the standard, except for the divergence of the ESD of the RX3 equipment that presents a risk to the operator and patient mainly to the effect of prolonged exposure, as observed through the biological effects of stochastic and deterministic radiation. The results conformed to the requirements of the standard values reference, except for the divergence about the ESD (0.13 mGy) above the norm for the RX3 equipment and air kerma (3.59 mGy) for the RX1, thus presenting a risk to the operator, especially in relation to the effects of prolonged exposure. The ESD, which is significantly higher than that recommended by the standards, above 0.13 mGy, emphasizes the importance of an annual investigation of the equipment or, preferably, biannual. We also compared the Brazilian, European and North American legislations in relation to the dose limits established for occupational exposure and for members of the public. By demonstrating the biological effects and dose thresholds involved in tissue and organ changes, we emphasize the importance of radiation protection for society, both from the point of view of the worker and individual.

REFERENCES

ALVARES, Luiz Casati; TAVANO, Orivaldo. **Curso de Radiologia em Odontologia**. 4. Ed. São Paulo: Santos Editora, 1998.

BRASIL. **COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR - CNEN NN 3.01. Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica**. 2014. Available at: <http://appasp.cnen.gov.br/seguranca/normas/pdf/Nrm301.pdf>. Accessed on September 8, 2018.

UNIÃO EUROPEIA. **EURATOM – Comunidade Europeia de Energia Atômica. Diretiva 59/2013**. 2013. Available at: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32013L0059&from=pt>. Accessed on November 11, 2018.

FREITAS, Leonidas de. **Radiologia Bucal - Técnicas e Interpretação**. 2. Ed. São Paulo: Editora Pancast, 2000

International Commission on Radiological Protection - ICRP. **Early and Late Effects of Radiation in Normal Tissues and Organs - Threshold Doses for Tissue Reactions in a Radiation Protection Context**. Publication 118. Ann. ICRP 41. Elsevier, 2012.

MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. **Fundamentos da Metodologia Científica**, 7. Ed., São Paulo: Editora Atlas, 2008.

MELLO JUNIOR, Carlos Fernando de. **Radiologia Básica**. 2. Ed. Rio de Janeiro: Editora Revinter, 2016.

BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE - AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. **Portaria 453/98. Aprova o Regulamento Técnico que estabelece as diretrizes básicas de proteção radiológica em radiodiagnóstico médico e odontológico, dispõe sobre o uso dos raios-x diagnósticos em todo território nacional e dá outras providências**. 1998. Available at: http://www.anvisa.gov.br/anvisa/legis/portarias/453_98.htm. Accessed on September 8, 2018.

BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE - INCA – INSTITUTO NACIONAL DO CÂNCER. **Controle do Câncer: uma proposta de integração ensino-serviço**. 2. Ed. Pro Onco. Rio de Janeiro, 1993.

BRASIL. MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO. **Segurança e Saúde no Trabalho**. 2015. Available at: <http://trabalho.gov.br/seguranca-e-saude-no-trabalho>. Accessed on September 8, 2018.

BRASIL. MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO. **NR15 – Atividades e Operações Insalubres**. 2014. Available at: https://enit.trabalho.gov.br/portal/images/Arquivos_SST/SST_NR/NR-15-atualizada-2019.pdf. Accessed on July 2, 2020.

MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO. 2011. **NR32 – Segurança e saúde no trabalho em serviços de saúde**. Available at: <http://www.trabalho.gov.br/images/Documentos/SST/NR/NR32.pdf>. Accessed on June 25, 2019.

OKUNO, Emico. **Efeitos biológicos das radiações ionizantes. Acidente radiológico de Goiânia**. [S.l.]: Rev Cien Estud Av 27 (77) - Universidade de São Paulo, 2013. Available at: <https://www.researchgate.net/publication/262437353>. Accessed on September 8, 2018.

OKUNO, Emico; YOSHIMURA, Elisabeth. **Física das Radiações**. 1. Ed. São Paulo: Editora Oficina de Texto, 2010.

PEREIRA, Wagner de Souza; KELECOM, Alphonse; PEREIRA, Juliana Rodrigues de Souza. **Comparação entre a norma brasileira de radioproteção e a recomendação da International Commission on Radiological Protection publicadas em 2007**. Braz J Radiat Sci 3(2). 2015. Available at: <https://www.bjrs.org.br/revista/index.php/REVISTA/issue/view/10>. Accessed on November 11, 2018.

SOARES, Júlio César de A. C. R. **Princípios Básicos de Física em Radiodiagnóstico**. 2. Ed. São Paulo: CBR – Colégio Brasileiro de Radiologia, 2008.

UNIÃO EUROPEIA. **Tratado EURATOM - Versão Consolidada**. 2010. Available at: https://europa.eu/european-union/sites/europaeu/files/docs/body/consolidated_version_of_the_treaty_establishing_the_european_atomic_energy_community_pt.pdf. Accessed on November 11, 2018.

UNITED STATES OF AMERICA. U.S.NRC – United States Nuclear Regulatory Commission. **Title 10, Code of Federal Regulations – Part 20 – Standards for Protection Against Radiation, Subtitles B, C, D**. 2018 Available at: <https://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/cfr/>. Accessed on November 11, 2018.

CAPÍTULO 11

ESTIMATION OF FIBRILLATORY ATRIAL SIGNAL PARAMETERS IN ELECTROCARDIOGRAM

Data de aceite: 01/07/2020

Data de submissão: 06/05/2020

Miriam Ferraz de Paulo

Instituto Federal de Educação Ciência e
Tecnologia de São Paulo
São Paulo – SP
<http://lattes.cnpq.br/3527587050180447>

Eduardo Guy Perpétuo Bock

Instituto Federal de Educação Ciência e
Tecnologia de São Paulo
São Paulo – SP
<http://lattes.cnpq.br/0580997618984789>

Dalmo Antonio Ribeiro Moreira

Instituto Dante Pazzanese de Cardiologia
São Paulo – SP
<http://lattes.cnpq.br/4672778359552110>

ABSTRACT: Atrial fibrillation is a common heart disease and it reaches between 1.5% to 2% of the global population. It occurs when different spreading patterns emerge in the atria electrical activity and it can affect the pulse by changing the heart beat to irregular and faster pulsation. The Electrocardiogram (ECG) represents the heart electrical activity. It is divided in waves that receive letters names. The P wave represents the atrial cells depolarization. During atrial fibrillation, a wandering baseline takes place of the P wave. Despite the symptoms such as palpitations, sudden tiredness, dizziness, discomfort in breathing, patients can live with the disease. But after years, it can lead to complications such as systemic thromboembolism and it can cause a stroke. The diagnosis of atrial

fibrillation requires the medical confirmation of his electrocardiogram records. As atrial activity occurs independently of ventricular activity, the proposed algorithm aims to analyze and characterize atrial fibrillation cancelling the ventricular activity from ECG. Thus, it will be possible to observe only the atrial activity after removing the QRS complex and the T wave. Since P wave is synchronized with the atrial contraction, it is possible to detect the atrial fibrillation and analyze its behavior. In order to evaluate the algorithm performance, ECG waves from healthy patients were collected from Physionet database plus a simulated AF and tested in MATLAB R2012b environment.

KEYWORDS: Atrial Fibrillation, Atrial Fibrillatory Signal, Signal Processing, ECG.

ESTIMAÇÃO DE PARÂMETROS DO SINAL ÁTRIAL FIBRILATÓRIO NO ELETROCARDIOGRAMA

RESUMO: A fibrilação atrial é uma doença cardíaca comum e atinge entre 1,5% a 2% da população global. Ocorre quando diferentes padrões de onda surgem na atividade elétrica dos átrios e pode afetar a pulsação alterando o batimento cardíaco torna-se irregular e mais rápido. O eletrocardiograma (ECG) representa a atividade elétrica do coração. É dividido em ondas que recebem nomes de letras. A onda P representa a despolarização das células atriais. Durante a fibrilação atrial, ocorre uma linha de base errante da onda P. Apesar dos sintomas como palpitações, cansaço repentino, tontura, desconforto na respiração, os pacientes podem conviver com a doença. Mas, após anos, pode levar a complicações como tromboembolismo sistêmico e pode causar um acidente vascular cerebral. O diagnóstico de

fibrilação atrial requer a confirmação médica através do ECG. Como a atividade atrial ocorre independentemente da atividade ventricular, o algoritmo proposto visa analisar e caracterizar a fibrilação atrial, cancelando a atividade ventricular do ECG. Assim, será possível observar apenas a atividade atrial após a remoção do complexo QRS e da onda T. Como a onda P está sincronizada com a contração atrial, é possível detectar a fibrilação atrial e analisar seu comportamento. Para avaliar o desempenho do algoritmo, as ondas de ECG de pacientes saudáveis foram coletadas no banco de dados Physionet mais uma FA simulada e testado no ambiente MATLAB R2012.

PALAVRAS-CHAVE: Fibrilação atrial, sinal atrial fibrilatório, processamento de sinal, ECG.

1 | INTRODUCTION

Atrial fibrillation (AF), among heart diseases, is the most common arrhythmia, affecting 1.5% to 2% of the general population (MOREIRA AND HABIB, 2001; FONSECA, et al., 2011). AF occurs when there are multiple wave fronts wandering in the atria with different propagation patterns. This affects the ventricles, the heartbeat becomes irregular and usually faster. Thus, in place of the P wave of the electrocardiogram (ECG), which represents atria depolarization, there is a floating baseline. Despite symptoms such as palpitations, tiredness, dizziness, discomfort to breathe, the patient is able to live with the disease. But over the years, AF can lead to complications, such as systemic thromboembolism, which can cause stroke or thrombosis.

The ECG is used to diagnose AF, but not to analyze and choose the cardiologist's daily treatment. There are studies that demonstrate that it is possible to explore the information contained in fibrillatory waves using computational techniques. As atrial activity occurs independently of ventricular activity, one way to analyze and characterize the disease is to cancel ventricular activity, in order to observe only atrial activity.

The motivation for this research arose from the need for cardiologists from Institute Dante Pazzanese of Cardiology, to monitor patients with AF. In order to extract useful clinical information on this disease, this work presents a tool that characterize the atrial fibrillatory signal through the peak intervals of fibrillatory waves, the atrial activity amplitude and the dominant spectral peak.

2 | MATERIALS AND METHODS

The program was developed in MATLAB environment (R2012b, MathWorks Inc., Natick, United States) through the following steps: a) detection of the R peaks of the ECG based on the idea proposed by Pan and Tompkins (1985) and Souza *et al.* (2014); b) ECG filtration to attenuate noise with the 4th order Butterworth bandpass filter with cutoff frequency between 0.05Hz and 50Hz; c) detection of QRS complexes and T waves from R peaks and inflection points; and d) suppression of ventricular activity with the ABS (Average Beat Subtraction) technique where a model QRST complex, obtained with the arithmetic mean of the QRST complexes of the ECG signal, is subtracted from each QRST complex of the ECG resulting in atrial

fibrillatory waves (STRIDH AND SÖRNMO, 2001).

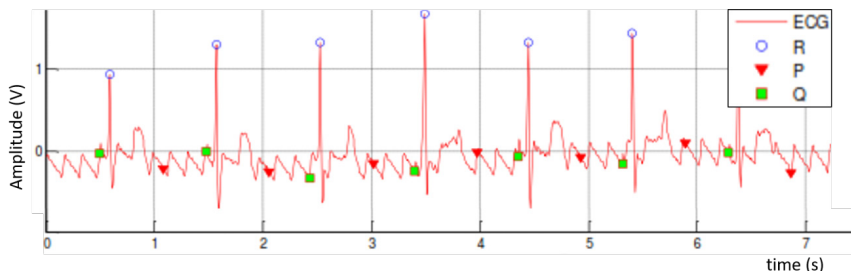


Figure 1. Atrial signal hidden by the ventricular activity before ABS technique applied.

In order to characterize the residual fibrillatory atrial activity, a peak detector (the same one used to detect the R peaks) was applied to obtain the peak intervals of the fibrillatory waves, the identified peaks and the minimum values between these peaks was used to calculate the mean amplitude of atrial activity.

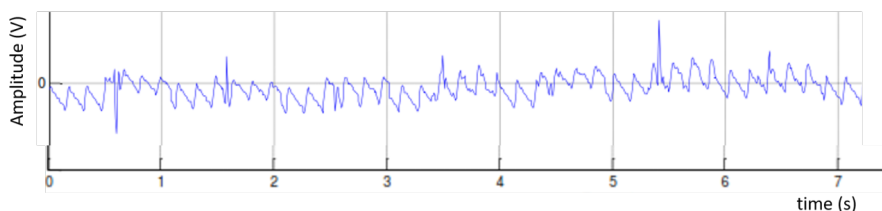


Figure 2. Residual Atrial ECG after ventricular activity suppression technique applied.

Finally, Fourier analysis was applied to obtain the power spectrum and thus the dominant spectral peak. To check the program, ECG signals from healthy patients on the Physionet website of the MIT-BIH Normal Sinus Rhythm database are being used, plus a simulated AF through a sinusoid and its harmonics with non-stationary behavior (PAN AND TOMPKINS, 1985; UEBELHART et al., 2013).

3 I RESULTS

The methodology used for the R peaks detection, QRS complexes and T waves, filtering and suppressing ventricular activity was considered adequate for the moment. As all stages are being evaluated from a known AF, it is possible to state that the results for characterization of fibrillatory atrial signal have shown a promising technique to explore the information carried by the ECG fibrillatory waves.

4 | CONCLUSIONS

The fact that the fibrillatory atrial signal is known on the simulated ECGs allowed a study of the performance of the QRST cancellation with the ABS method. The characteristics extracted from the residual atrial signal obtained after cancellation of ventricular activity can be compared to simulated atrial fibrillation.

REFERENCES

- Bock, E., Araki, S., Souza, R., Ronei, D. et al. (2017) **“Integrated supervisory system to control a reconfigurable platform of assistive technology.”** IEEE International Conference on Control, Automation and Robotics (ICCAR), pp. 444-447.
- Fonseca, J., Andrade, A., Nicolosi, D, Biscegli, J., et al. (2011) **“Cardiovascular simulator improvement: pressure versus volume loop assessment”** Artificial Organs 35 (5), 454-458.
- Lemay, M., Ihara, Z., Vesin, J. M., Kappenberger, L. (2004), **“Computers in Cardiology/ PhysioNet Challenge 2004: AF Classification Based on Clinical Features”**, Computers in Cardiology 2004, 31, p. 669 -72.
- Moreira, D.A.R., Habib, R.G. (2001), **“Tratamento da Fibrilação Atrial na Sala de Emergência - Management Of Atrial Fibrillation In The Emergency Room”**. Revista Ciências em Saúde”, p.1-14.
- Pan, J., Tompkins, W. J. (1985), **“A Real-Time QRS Detection Algorithm”**, IEEE Transactions On Biomedical Engineering, 32(3).
- Souza, E., Paula, I., Munhoz Filho, I., Santos, D. et al. (2014) **“Design of a Controller for VAD with Electrocardiogram-Based Setpoint”** Recent Advances in Environmental and Biological Engineering, 67-73.
- Stridh, M., Sörnmo, L. (2001), **“Spatiotemporal QRST Cancellation Techniques for Analysis of Atrial Fibrillation”**, IEEE Transactions on Biomedical Engineering, v. 48, n. 1, p. 105-111.
- Uebelhart, B., Silva, B., Fonseca, J. et al. (2013) **“Study of a centrifugal blood pump in a mock loop system”** Artificial organs 37 (11), 946-949.

CAPÍTULO 12

ESTUDIO DEL IMPACTO DE LA ADICIÓN DE GLICERINA COMO CO-SUSTRATO EN LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS A PARTIR DE RESIDUOS ORGÁNICOS

Data de aceite: 01/07/2020

Fecha de sumisión: 05/05/2020

María Isabel García Rodríguez

Universidad de Pamplona, Facultad de ingenierías y arquitectura
Pamplona, NS-Colombia
<http://lattes.cnpq.br/9510707734385773>

Marcos Vinícius Konopka

Universidad Federal de Integración Latinoamericana, Instituto Latino Americano de Tecnología, Infraestructura y Territorio.
Foz de Iguazú, PR - Brasil
<http://lattes.cnpq.br/3607910304643163>

Matheus Vitor Diniz Gueri

Universidad Federal de Integración Latinoamericana, Instituto Latino Americano de Tecnología, Infraestructura y Territorio.
Foz de Iguazú, PR - Brasil
<http://lattes.cnpq.br/3278513228141856>

Andreia Cristina Furtado

Universidad Federal de Integración Latinoamericana, Instituto Latino Americano de Tecnología, Infraestructura y Territorio.
Foz de Iguazú, PR - Brasil
<http://lattes.cnpq.br/0969254728157087>

la producción de biogás en los procesos de digestión anaeróbica, tratando conjuntamente residuos orgánicos con un nuevo sustrato que aporte los nutrientes carentes al proceso, formando una sinergia positiva entre estos. En este sentido el presente trabajo estudia alternativas energéticas en el aprovechamiento de residuos orgánicos de origen agrícola como excretas de ganado vacuno y porcino, en co-digestión con subproductos como la glicerina residual, originaria de la industria de biodiesel; la glicerina empleada presenta demanda limitada y acumulación creciente en el mercado, así como propiedades como elevado contenido de carbono, estabilidad química y pH neutro, lo que la hace atractiva para su uso como co-sustrato en la producción de biogás. Para tal fin se realizó un análisis de sólidos de la mezcla y la construcción de un set de digestores a pequeña escala, en donde fueron llevadas a cabo pruebas de degradabilidad en configuración mesofílica a 37°C, en un intervalo de 0-15%(w/w) de glicerina pura y 0-6%(w/w) de glicerina residual, analizando su efecto en parámetros importantes del proceso como relación C/N y volumen de biogás, obteniendo una concentración óptima de 4%w/w con ambos tipos de glicerina y un incremento cercano a cuatro y seis veces más de gas para la glicerina pura y residual respectivamente, respecto al blanco sin glicerina.

PALABRAS CLAVE: Co-digestión anaeróbica, glicerina, biogás.

RESUMEN: La co-digestión busca mejorar

STUDY OF THE IMPACT OF THE

ADDITION OF GLYCERIN AS A CO - SUBSTRATE IN THE PRODUCTION OF BIOGAS FROM ORGANIC RESIDUES.

ABSTRACT: Co-digestion seeks to improve the production of biogas in anaerobic digestion processes, jointly treating organic waste with a new substrate that provides nutrients lacking in the process, forming a positive synergy between them. Following this idea, the present work studies energy alternatives with the use of organic residues of agricultural origin such as excreta from cattle and pigs, in co-digestion with by-products originating from the biodiesel industry such as residual glycerin; The residual glycerin has limited demand and presents a growing accumulation in the market, as well as properties such as high carbon content, chemical stability and neutral pH, which makes it attractive for use as a co-substrate in biogas production. For this purpose, an analysis of solid in the mixture and the construction of a set of small-scale digesters was performed, where degradability tests were carried out in a mesophilic configuration at 37 ° C, in a range of 0-15% (w / w) of glycerin PA and 0-6% (w/w) of residual glycerin, analyzing its effect on important process parameters such as C/N ratio and biogas volume, obtaining an optimal concentration of 4% w/w with both types of glycerin and an increase of nearly four and six times more gas for pure and residual glycerin, respectively, compared to the blank without glycerin.

KEYWORDS: Anaerobic co-digestion, glycerin, biogas.

1 | INTRODUCCIÓN

El desarrollo de las ciudades y sociedades humanas como actualmente las conocemos, está estrechamente relacionada al uso de combustibles para la producción de energía, la mayoría de los cuales son de origen fósil. El requerimiento energético para suplir las necesidades humanas cada vez es mayor; entre 1971 y 2016 el suministro mundial total de energía primaria (TPES) aumentó casi 2.5 veces, de la cual, los combustibles fósiles constituyen cerca del 81.1% (IEA,2017). Este tipo de combustible durante su quema emite dióxido de carbono y otros gases de efecto invernadero a la atmósfera, contribuyendo al problema de calentamiento e impacto ambiental, por esto hoy en día la búsqueda de alternativas energéticas renovables es foco de innumerables investigaciones, entendiéndose como energía renovable aquella procedente de fuentes que se pueden regenerar, por lo que son consideradas inagotables (NASCIMENTO, 2017, p.2).

Una de las alternativas es la biomasa, la cual ha cobrado fuerza en los últimos años y se presenta como una opción sustentable. A través de la historia, la biomasa en todas sus formas ha sido la fuente más importante para todas las necesidades básicas (comida, alimento, combustible, materia prima, fibra y fertilizante), y aun hoy en día continúa siendo la principal fuente de energía para países en desarrollo proveyendo en promedio el 35% de la energía necesaria para tres cuartos de la población mundial y hasta un 60 o 90% en los países en desarrollo (ROSILLO et al., 2007). Dentro de los diferentes métodos de tratamiento de esta es de principal interés en este estudio el proceso de fermentación para la generación de energía, específicamente la producción de biogás a partir de residuos orgánicos.

Según Lora y Venturini (2012, p.5), el biogás era considerado solo como un subproducto obtenido de procesos bioquímicos como la digestión anaeróbica

de residuos orgánicos. Sin embargo, la crisis ambiental, la implementación de mecanismos de desenvolvimiento limpio (MDL) y el rápido desenvolvimiento económico de los últimos años, sumados a la creciente elevación del precio de los combustibles convencionales lo ha convertido en una alternativa atractiva de autoabastecimiento energético. Al igual que el gas natural fósil, el biogás tiene como principal componente el metano (CH_4) que dependiendo del sustrato usado para su producción su contenido puede oscilar entre el 50 y 75%, y puede ser usado para calentamiento de estufas, calentadores de agua, antorchas motoras y otros equipos.

A pesar de las propiedades que posee el biogás, el proceso de producción tiene varios factores limitantes ya que el contenido energético de la biomasa es relativamente bajo en comparación con el carbón y otros combustibles fósiles debido a su alto contenido de Oxígeno (DINCER; ZAMFIRESCU, 2014, p.126), por esto se estudian alternativas que permitan mejorar esta situación, como son los procesos de co-digestión, donde se tratan en conjunto dos o más residuos, aprovechando la sinergia en la composición de estos para mejorar la actividad microbiana, la eficiencia y los rendimientos de los productos del proceso.

Ante este planteamiento la glicerina aparece como un co-sustrato adecuado debido a su gran contenido de carbono, baja toxicidad, buena degradabilidad, estabilidad química y pH neutro, como destacan Betancourt, Prado y Gonzales (2016, p.8). Además de los posibles beneficios que podría aportar al proceso de digestión anaeróbica, se abriría una alternativa para el tratamiento de residuos que no son aprovechados, como lo es la glicerina cruda, obtenida de los procesos de producción de biodiesel. Con el auge de la producción de biodiesel aumentó significativamente la glicerina residual proveniente de esta industrial, siendo Brasil responsable del 9,1% de la producción mundial (MATURANA; PAGLIUSO, 2011, p.1). Debido a que la glicerina residual presenta una baja demanda y costoso proceso de refinamiento por las impurezas presentes, la producción de biodiesel debe encontrar vías para su eliminación, la cual puede ser costosa, afectar el medio ambiente y ser un desperdicio (HE; MCNUTT; YANG, 2017,p.63), por lo que su impacto en el proceso de digestión anaeróbica es de gran importancia en el presente estudio.

2 I MATERIALES Y METODOS

Fue montado un set de 8 biodigestores de bajo costo con volumen total 0.5L, usando kitsatos de vidrio sellados de forma segura donde se desarrolló el proceso de co-digestion, cada uno de los cuales fue conectado a un gasómetro plástico rígido, como se puede observar en la figura 1.

Cada gasómetro cuenta con una conexión de entrada de gas, una conexión de salida de líquido y una conexión adicional para recarga del agua. El gas generado en los biodigestores, desplaza el agua contenida en los gasómetros permitiendo monitorear el volumen de gas generado en cada digestor de forma continua. Cada volumen fue recogido y medido en probetas.



(a)

(b)

Figura 1. (a) Montaje general de los biodigestores; (b) Detalle de las conexiones.

Las excretas de animales usadas para las pruebas fueron recolectadas del colegio agrícola Colegio Agrícola Estadual Manoel Moreira Pena ubicado en la ciudad de Foz de Iguazú, estado de Paraná.

Se eligieron dos residuos de cuatro opciones posibles por medio de un análisis multicriterio basado en el modelo AHP, este método, según Briozzo y Musetti (2015, p.806), permite establecer una lista de criterios para evaluar diferentes opciones y facilitar la toma de decisiones. Mediante el programa Hiview3 (KITCHEN, 2011), fueron evaluadas cuatro opciones de los animales disponibles: cabras, cerdos, gallinas y vacas, considerando tres criterios importantes: Disponibilidad, potencial de producción de biogás e impacto ambiental, siendo el primer criterio el de mayor peso.

Al inicio y al final del proceso de digestión se midieron valores de pH y se realizó una caracterización de sólidos de la mezcla, determinando: ST, SV, SF, según la metodología establecida por la sociedad americana de salud pública (APHA 2012, pp.2-66), y análisis de humedad siguiendo la metodología de Magaña (2006, p.30).

Como parámetros fijos para la carga de los biodigestores se usaron valores considerados por diversos autores como óptimos en el proceso AD (KANGLE et al., 2012; GRILC, 2012; RINCON, 2017). Se usó un volumen útil correspondiente al 75% del volumen total de los biodigestores, un contenido de sólidos en la mezcla de 8%, y un factor de dilución 2:1 de agua destilada/materia orgánica, determinada en función de la fracción de sólidos totales de la mezcla. El proceso fue llevado a cabo en configuración mesofílica en una estufa usada como medio de calentamiento a temperatura constante de 37°C, adicionando la glicerina al inicio del proceso y agitando la mezcla de forma manual una vez al día, durante un periodo de digestión de 20 días.

Fueron empleadas para los ensayos de forma independiente, dos tipos de glicerina: Glicerina 99,5% P.A Alphatec en un rango de concentración de 0-15% w/w, y glicerina cruda obtenida de los procesos de producción de biodiesel de los grupos de trabajo de Biocombustibles de la Universidad Federal De Integración Latinoamericana en un intervalo de concentración de 0-6%w/w.

3 | RESULTADOS

Los residuos elegidos para las pruebas fueron las excretas frescas de cerdo y vaca por ser los de mayor puntuación obtenida en el análisis multicriterio, como se puede observar en la figura 2.

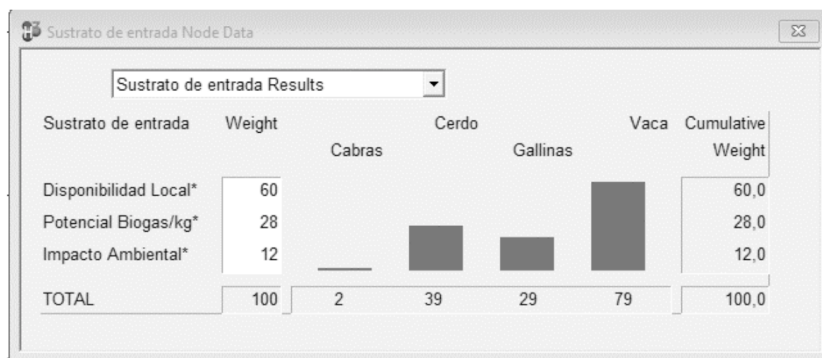


Figura 2. Resultado Hiview3 del análisis multicriterio en la elección del sustrato.

A pesar que el potencial de producción de biogás del estiércol de vaca es menor a los valores de las otras opciones, la mayor disponibilidad local de este residuo, fue factor de peso para su elección.

El estudio fue desarrollado partiendo de una mezcla fresca con relación 70/30 de estiércol vaca/cerdo, elegido en base al número de animales disponibles de cada especie en el lugar de recolección, para el aprovechamiento máximo de sus residuos. En tabla 1, se recopilan los resultados del análisis realizado de la mezcla, en función de estos resultados fue determinada la carga orgánica y el factor de dilución para cada biodigestor.

Caracterización de sólidos de la mezcla				
Análisis	%ST	%SV	%SF	% Humedad
Resultado	23,380	74,261	35,540	76,620

Tabla 1. Caracterización de sólidos de la mezcla estiércol vaca-cerdo.

En la tabla 2, se relaciona la carga másica en gramos de todos los digestores (D), siendo el parámetro variable la concentración w/w de glicerina variando de un rango de 0-15%w/w para la glicerina pura inicialmente y de 0-6% para la glicerina residual.

Cantidad (g)	D-0	D-2	D-3	D-4	D-5	D-6	D-8	D-10	D-12	D-15
Glicerina	0	7,5	11,25	15	18,75	22,5	30	37,5	45	56,3
Materia Orgánica	128,3									
Agua	246,7									

Tabla 2. Carga de los Biodigestores.

Teóricamente, la relación C/N de la mezcla fue calculada por medio de la ecuación (1), como lo describe (FAO, 2011, p.35).

$$K = (C_1 \cdot Q_1 + C_2 \cdot Q_2 \dots C_n \cdot Q_n) / (N_1 \cdot Q_1 + N_2 \cdot Q_2 + N_n \cdot Q_n), \quad (1)$$

Dónde: K es la reacción C/N de los sustratos de la mezcla, C el % de carbono orgánico contenido en cada materia prima, N el % de nitrógeno orgánico contenido en cada materia prima y Q el Peso fresco de cada materia, expresado en kilos o toneladas.

Usando la información de composición elemental de los dos tipos de glicerina determinada por (MATTOS, 2014), se observa en la figura 3, una relación positiva entre el aumento de la relación C/N y la concentración de glicerina, desplazando la relación hacia el intervalo considerado como óptimo que oscila entre 25-30 unidades de Carbono por cada unidad de Nitrógeno, según diversos autores (MAGAÑA, J. et al., 2006; KANGLE et al., 2012; WANG, X. et al., 2014).

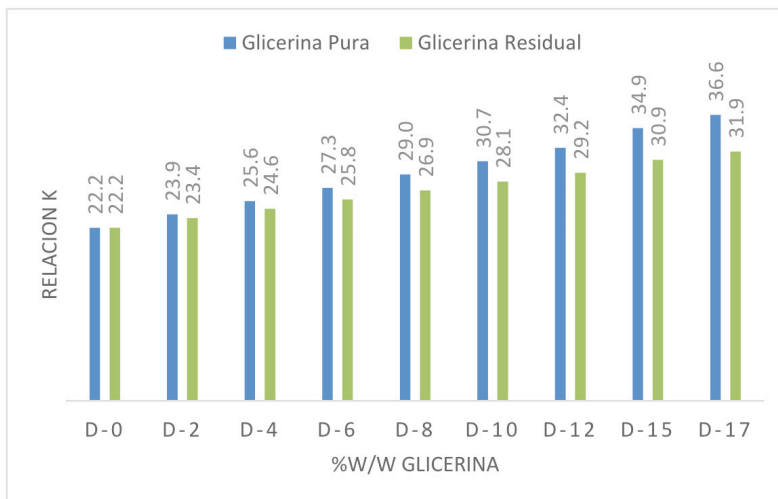


Figura 3. Efecto de la glicerina en la relación K (C/N) de la mezcla.

Producción de Biogás con Glicerina PA: Los resultados iniciales del proceso de producción de biogás en función del tiempo en las muestras para la glicerina pura, se muestran en la figura 4, donde se observa una disminución drástica en la producción de biogás a elevadas concentraciones de glicerina.

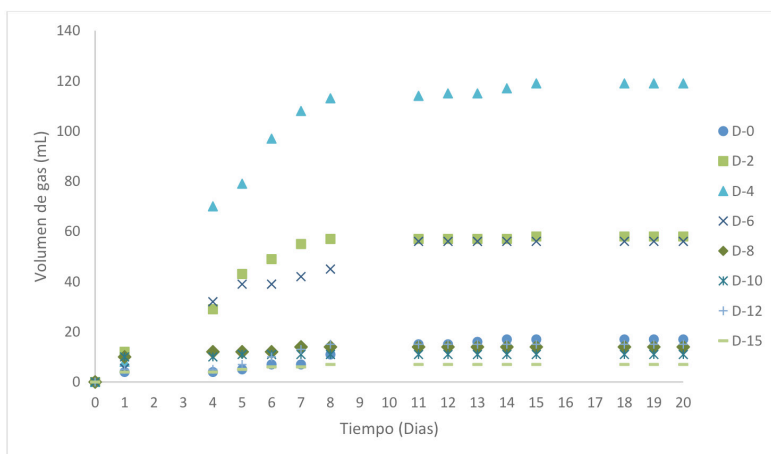


Figura 4. Producción de biogás con glicerina PA 0-15%w/w en función del tiempo.

Según los resultados observados en la primera prueba, se realizó una nueva prueba eliminando los digestores a elevadas concentraciones D-15, D-12, D-10 y D-8, ampliando el rango a bajas concentración, agregando los digestores D-3 y D-5, obteniendo el perfil de producción de biogás que se observa en la figura 5.

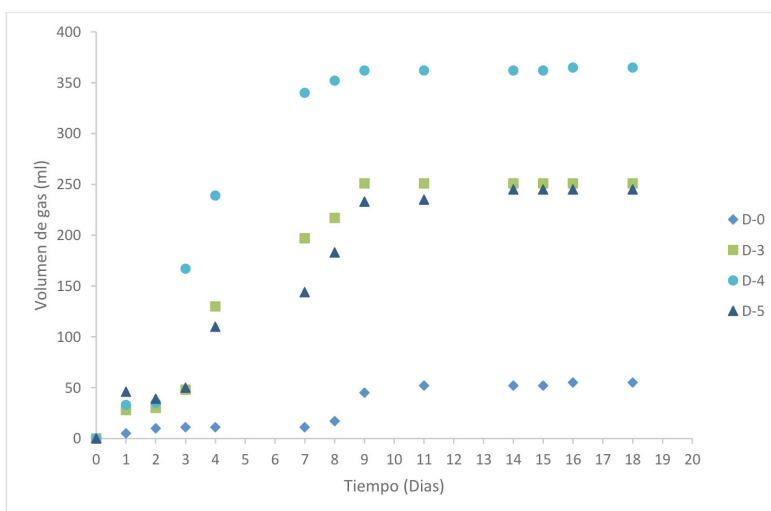


Figura 5. Producción de biogás con glicerina PA 0-5%w/w en función del tiempo.

Producción de Biogás con glicerina residual: De acuerdo a los resultados arrojados por las pruebas con glicerina PA, fueron descartadas las concentraciones elevadas del co-sustrato, por lo que la producción de biogás con glicerina residual fue realizada en un intervalo de concentración de 0-6%w/w, cuyos resultados que se muestran en la figura 6.

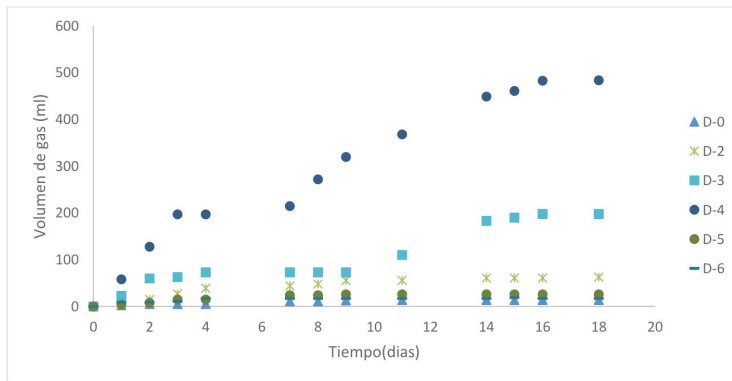


Figura 6. Producción de biogás con glicerina residual 0-6%w/w en función del tiempo.

Los volúmenes totales de los tres tipos de mezclas analizadas, se recopilan en la figura 7, donde se hace una comparación entre los volúmenes producidos y el volumen total finalizados los 20 días de proceso.

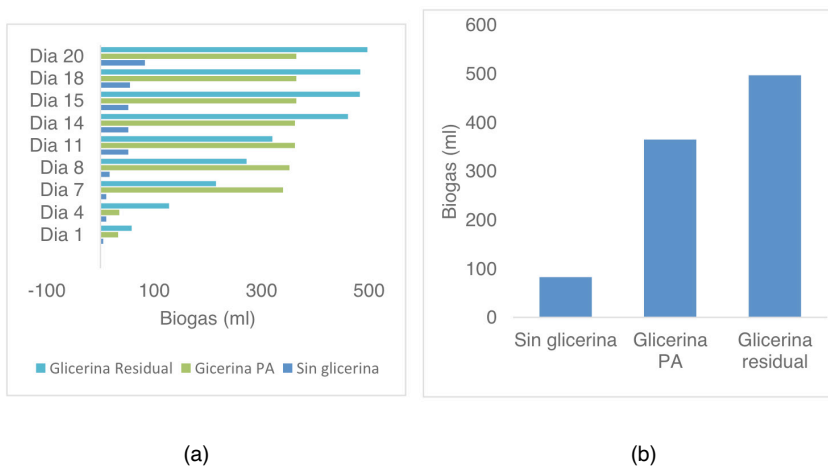


Figura 7. Comparación entre producción diaria de gas (a), y volúmenes totales al final de proceso (b).

4 | DISCUSIONES Y CONCLUSIONES

El análisis de sólidos de la mezcla de excretas vaca –cerdo, tuvo un porcentaje de sólidos volátiles de 74,26%, por lo que la mezcla tiene una buena tendencia a transformar materia orgánica en biogás.

En la figura 3, se observó un comportamiento positivo con la adición de glicerina tanto PA como residual a la muestra de estudio, mejorando en teoría la relación C/N del proceso, dentro de esta estimación, se esperaba que el obtener una concentración de glicerina optima dentro del intervalo D-4 a D-12, lo cual coincidió con los resultados del estudio, ya que los biodigestores, tuvieron mayor actividad dentro de un intervalo aproximado de D-3 a D-10.

Los resultados iniciales de producción de biogás glicerina PA obtenidos en la figura 4 establecieron un perfil de referencia y delimitó los intervalos de concentración para las pruebas con glicerina residual, la cual es el residuo de interés a ser usado como co-sustrato del proceso AD. A pesar de las diferencias entre las composiciones de los dos tipos de glicerina, y la variación en los volúmenes producidos, se mantuvo la similitud en el comportamiento de los diferentes intervalos de concentración, por lo que la diferencia entre el tratamiento con glicerina pura y residual no fueron significativas. De forma general, la adición de glicerina estimuló el proceso de producción de biogás, excepto en concentraciones muy elevadas como 12 y 15%w/w, donde la diferencia respecto a la muestra sin glicerina fue mínima y prácticamente se inhibió el proceso.

En este estudio, se obtuvo un aumento en la producción de biogás respecto al blanco sin glicerina, de aproximadamente 4.4 veces más con glicerina residual y 6 veces con glicerina PA, obteniendo en ambos casos un mejor resultado con una carga de glicerina de 4%w/w. Según estudios desarrollados por (NGHIEM, L.et al.,2014), altas dosis de glicerina producen efectos negativos el proceso AD, debido a la acumulación de ácidos grasos que los microorganismos no logran asimilar, disminuyendo la materia orgánica y desestabilizando el proceso.

En pruebas de degradabilidad de la glicerina residual desarrolladas por Siles et.al.,(2009), en reactores batch de 1L bajo condiciones mesofílicas, los autores determinaron que la glicerina fue biodegradable 100%, en pruebas realizadas con lodo residual. Ante los resultados obtenidos en los estudios relacionados y las variables analizadas en el presente estudio, el aumento en la producción de biogás se dio probablemente por la mejora en la sinergia de los componentes de la mezcla, el aumento de la carga orgánica de las mezclas y a buena degradabilidad de la glicerina.

REFERENCIAS

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard Method for Examination of Water and Wastewater**. Washington:APHA 2017, 23nd edition.pp 2-66.

BETANCOURT, C.; PRADO, R.; GONZALES, L. Características de la glicerina generada en la producción de biodiesel, aplicaciones generales y su uso en el suelo. **Cultivos Tropicales**, la Habana, v.37,n.3, p.1-3, 2016.

- BRIOZO, R. A.; MUSETTI, M. A. Método multicritério de tomada de decisão: Aplicação ao caso da localização espacial de uma Unidade de Pronto Atendimento-UPA 24 h. **Gestão e Produção**, são carlos, v.22,n.4,p.805-819, 2015.
- DINCER, I.; ZAMFIRESCU, C. Fossil Fuels and Alternatives. In: **Advanced Power Generation Systems**. Elsevier, 2014. p. 126-139.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. **Manual de Biogás**. Santiago de Chile, 2011.
- GRILC, V.; GREGOR, D. Anaerobic Treatment and Biogas Production from Organic Waste. In: **Management of Organic Waste**, Dr Sumir Kumar (Ed.), 2012.
- HE, Q. (SOPHIA); MCNUTT, J.; YANG, J. Utilization of the residual glycerol from biodiesel production for renewable energy generation. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Colorado, v.71, p. 63-76, 2017.
- IEA. Total primary energy supply (TPES) by source. Disponível em: < [https://www.iea.org/data-and-statistics?country=WORLD&fuel=Energy%20supply&indicator=Total%20primary%20energy%20supply%20\(TPES\)%20by%20source](https://www.iea.org/data-and-statistics?country=WORLD&fuel=Energy%20supply&indicator=Total%20primary%20energy%20supply%20(TPES)%20by%20source)>. Acessado em: 22 de Mar. 2019.
- KANGLE, K. M.; KORE, S. V.; KORE, V. S.; KULKARNI, G. S. Recent Trends in Anaerobic Codigestion : A Review. **Universal journal of environmental research and technology**, v.2,n.4, p.210-219, 2012.
- KITCHEN, B. **Catalyze**: Hiview3, version 3.2.0.9. Disponível em: www.catalyzeconsulting.com/software/hiview3/.
- LORA, E.; VENTURINI, O. **Combustíveis**. primeira ed ed. Rio de Janeiro: Interciencia, v.1, p.5-25, 2012.
- MATTOS, A. P. **Caracterização termoquímica do glicerol bruto e aproveitamento energético da queima do glicerol em uma planta de médio porte de produção de biodiesel**. Dissertação (maestria) Universidade Federal de Itajubá, Instituto de Engenharia Mecânica, 2014. Disponível em: <<https://repositorio.unifei.edu.br/xmlui/handle/123456789/741>>.
- MAGAÑA, J. et al. Producción de Biogás a Nivel Laboratorio Utilizando Estiércol de Cabras. **Acta Universitaria**. Guanajuato, v.16,n.2,p.27-37, 2006.
- MATURANA, A.Y.; PAGLIUSO, J.D. Thermal decomposition behavior of crude glycerin. **Cobeem**, 2011.
- NASCIMENTO, R. S. DO; ALVES, G. M. Fontes Alternativas E Renováveis De Energia No Brasil: Métodos E Benefícios Ambientais. **Revista Univap**, 2017.
- NGHIEM, L. D. et al. Co-digestion of sewage sludge and crude glycerol for on-demand biogas production. **International Biodeterioration and Biodegradation**. Australia, v.95,p.160-166.
- RINCON, L. E. Biogas industrial, User manual. **Food and Agriculture Organization of the United Nations**, 2017. Roma. Disponível em: <<http://www.fao.org/3/a-i7227e.pdf>>
- ROSILLO, F.; GROOT, P.; HEMSTOCK, S.L.; WOODS, J. **The biomass Assessment Handbook**. United Kingdom: Earthscan, 2007.
- SILES, J. A. et al. Anaerobic co-digestion of glycerol and wastewater derived from biodiesel manufacturing. **Bioresource Technology**, 2010.
- WANG, X. et al. Effects of temperature and Carbon-Nitrogen (C/N) ratio on the performance of anaerobic co-digestion of dairy manure, chicken manure and rice straw: Focusing on ammonia inhibition. **PLoS ONE**, v.9,p.1-5, 2014.

CAPÍTULO 13

ESTUDO COMPARATIVO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E EXERGÉTICA DE UM PROCESSO SPRAY DRYER ALIMENTADO POR ENERGIA ELÉTRICA E GÁS NATURAL

Data de aceite: 01/07/2020

Antonio Rimaci Miguel Junior

SENAI CIMATEC – Campus Integrado de Manufatura e Tecnologia, Brasil e-mail: antoniorm@fieb.org.br

Valmir da Cruz de Souza

SENAI CIMATEC – Campus Integrado de Manufatura e Tecnologia, Brasil e-mail: valmir.souza@fieb.org.br

Alex Alisson Bandeira Santos

SENAI CIMATEC – Campus Integrado de Manufatura e Tecnologia, Brasil e-mail: alex.santos@fieb.org.br

RESUMO: Instalações industriais demandam geração de calor para operações de troca térmica, nas quais se utiliza com frequência aquecimento elétrico ou a combustão. O Aquecimento através de energia elétrica apresenta em geral baixas eficiências energética e exergetica, enquanto a combustão de gás natural apresenta rendimentos térmicos satisfatórios para a maioria dos processos. O presente trabalho tem como objetivo avaliar o impacto nas eficiências energética e exergetica causado pela substituição de um aquecedor elétrico por um a gás natural em um sistema de secagem com tecnologia Spray Dryer. Utilizando um sistema projetado para gerar aquecimento por energia elétrica, obteve-se dados experimentais que permitiram uma análise comparativa com um processo simulado movido a gás natural. Os resultados mostram que, apesar de um ligeiro ganho de

eficiência energética e exergetica no sistema a combustão, o controle do aquecimento por energia elétrica diminui significativamente distância, em termos de eficiência, entre os dois processos.

PALAVRAS-CHAVE: Análise Exergetica; Análise Energética; Aquecedores Elétricos; Gás Natural.

COMPARATIVE STUDY OF ENERGETIC AND EXEGETICAL EFFICIENCY OF A SPRAY DRYER PROCESS POWERED BY ELECTRIC AND NATURAL GAS

ABSTRACT: Industrial installations demand heat generation for thermal exchange operations, in which electric heating or combustion is often used. Heating through electric power generally exhibits low energy and exergetic efficiencies, while the combustion of natural gas presents satisfactory thermal yields for most processes. The present work aims to evaluate the impact on the energy and exergetic efficiencies caused by the replacement of an electric heater with a natural gas in a drying system with Spray Dryer technology. Using a system designed to generate heating by electric energy, we obtained experimental data that allowed a comparative analysis with a simulated process driven by natural gas. The results show that, despite a slight gain in energy efficiency and exergy in the combustion system, the control of the electric energy heating significantly decreases efficiency distance between the two processes.

KEYWORDS: Exergetic Analysis; Energy Analysis; Electric Heaters; Natural gas.

1 | INTRODUÇÃO

Os processos industriais muito frequentemente necessitam de operações de troca térmica. Essas podem ser executadas através de trocadores de calor, onde um fluido quente transfere calor a um fluido frio através das paredes de um equipamento destinado a troca térmica – os trocadores de calor; através de fornalhas, nas quais um combustível é queimado, fornecendo calor a um fluido que atravessa a câmara de combustão em tubos ou serpentinas; ou ainda por aquecimento elétrico, no qual calor é fornecido através de algum mecanismo de geração de calor por resistência elétrica, e transferido a um fluido que escoar passando por essas resistências. A seleção da tecnologia de geração de calor depende de diversos fatores, entre eles a disponibilidade de recurso – energia elétrica, combustível ou fluido quente do processo -, a potência térmica requerida e os custos de implantação e operação.

É crescente o uso de Gás Natural como combustível em processos industriais. Esse traz benefícios tanto em relação a emissões atmosféricas, quanto ao custo energético das operações [1]. Em muitos casos, a queima de Gás Natural é associada a sistemas de cogeração, ofertando as unidades industriais independência em relação a disponibilidade de energia para seus processos.

A operação de secagem por Spray Dryer utiliza uma corrente de ar aquecido para promover a evaporação da água presente na corrente de processo, a qual geralmente se constitui em uma mistura sólido-líquido, resultado na secagem do sólido presente nessa mistura. O contato entre as duas correntes é direto, podendo ser contracorrente ou concorrente, e acontece dentro do vaso Spray Dryer. A corrente contendo o sólido é injetada no vaso através de um spray, gerando microgotas, o que resulta em um aumento da superfície de contato entre ar quente e líquido, facilitando a evaporação. O vaso Spray Dryer tem um fundo cônico para facilitar o escoamento do sólido seco para a sua parte inferior, e posterior coleta. O sistema geralmente é acoplado a equipamentos de remoção de sólidos mais finos, os quais não são retirados no fundo do vaso Spray Dryer. Os mais comuns são ciclones e filtros de mangas. Obviamente, o processo Spray Dryer demanda uma fonte de aquecimento do ar que promoverá a evaporação do líquido injetado no sistema. O sistema utilizado nesse trabalho é provido por um aquecedor elétrico contendo resistências aletadas e equipado com sistema de controle que liga e desliga as resistências com base na temperatura programada para o ar quente na saída do aquecedor. A figura (1) traz um fluxograma básico do sistema utilizado na obtenção de dados desse trabalho.

Reações de combustão são reações químicas que envolvem a oxidação completa de um combustível. Materiais ou compostos são considerados combustíveis industriais quando sua oxidação pode ser feita com liberação de energia suficiente para aproveitamento industrial. A seleção de combustíveis utilizados em plantas industriais obedece a alguns critérios, dentre eles: poder calorífico, disponibilidade, estrutura necessária para armazenamento e transporte e impacto ambiental. O Gás Natural tem sido amplamente aplicado a processos industriais justamente por apresentar vantagens em grande parte desses critérios. Desse modo, o presente trabalho tem como objetivo avaliar comparativamente as eficiências energéticas e

exergéticas do sistema de secagem por Spray Dryer conforme descrito acima, e um sistema simulado no qual o aquecimento da corrente de ar quente seria realizado através da queima de gás Natural em uma fornalha. Para tanto, projetou-se o sistema a GN, considerando todos os parâmetros operacionais de modo a fornecer a potência térmica necessária para fornecer o aquecimento do ar demandado pelo sistema existente. A figura (2) mostra de forma simplificada o sistema simulado com o uso de Gás Natural.

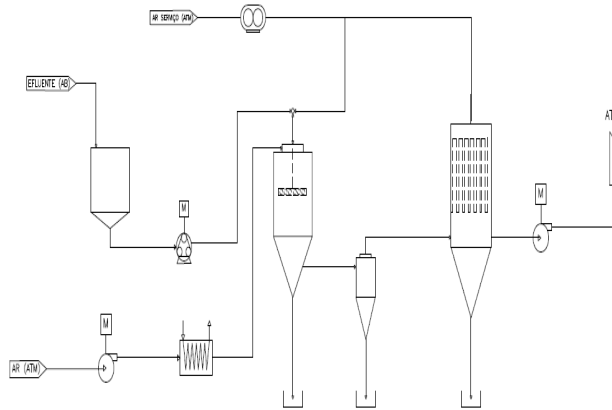


Figura 1. sistema Spray Dryer existente.

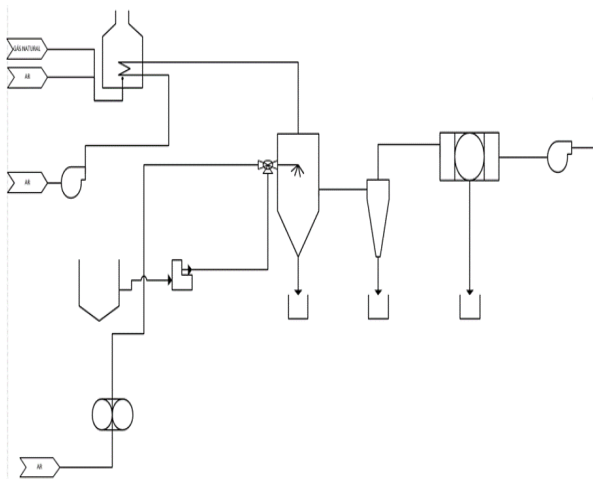


Figura 2. sistema simulado, utilizando queima de GN.

Postos os dois modelos de sistema Spray Dryer a serem comparados, um existente e outro simulado, procedeu-se os cálculos dos parâmetros para análise de eficiência energética e exergética, da forma descrita a seguir.

2 | METODOLOGIA

2.1 Obtenção dos dados

O sistema existente foi utilizado em testes de secagem de um determinado efluente, para fins de avaliar outros requisitos de operação que não são objeto desse trabalho. Desse conjunto de dados obtido, selecionou-se um dos pontos do planejamento de experimentos executado, o que corresponde ao aquecimento da corrente de ar a uma temperatura de 160 °C. Como o sistema possui monitoramento do consumo de energia elétrica, foi possível levantar dados do consumo por hora de experimento, permitindo dessa forma obter dados experimentais da energia e exergia consumida pelo aquecimento da corrente de ar. De posse desses dados, foi possível simular o sistema a Gás Natural, considerando as mesmas demandas energética e exergética do ar, ou seja, os cálculos para o sistema simulado foram realizados para um suposto aquecimento do ar a mesma temperatura (160°C) com a utilização da fornalha aquecida pela queima de Gás Natural. As premissas utilizadas na obtenção dos dados estão descritas a seguir.

2.1.1 Aquecedor Elétrico

O sistema de aquecimento elétrico foi desenvolvido como um conjunto de resistências elétricas divididas em cinco circuitos, permitindo ao pesquisador colocar em funcionamento um circuito por vez até uma temperatura pré-definida, monitorada por instrumento de medição de temperatura. O sistema de aquecimento possuía arme e desarme automático capaz de ligar e desligar as resistências quando atingisse a temperatura definida pelo pesquisador. Esse sistema de controle permite economia de energia, o que consequentemente gera maiores eficiências energética e exergética.

O sistema foi posto em operação por um período de uma hora, durante a qual o sistema de controle de aquecimento do ar tinha como input manter a temperatura em 160°C. A tabela (1) mostra os dados de potência dos equipamentos elétricos do sistema, e o consumo estimado do sistema de aquecimento de ar no período de uma hora. Esse consumo foi determinado através da subtração do consumo dos demais equipamentos do valor registrado no medidor de consumo acoplado ao sistema.

Equipamento	Unidade	Potência
Compressor	kW	1,23
Soprador	kW	2,45
Exaustor	kW	0,74
Consumo experimental total	kWh	15
Consumo experimental do sistema de aquecimento do ar	kWh	10,59

Tabela 1. consumo energético dos equipamentos

Através da medição da variação de temperatura, foi possível calcular a energia e a exergia consumida pelo aquecimento do ar, e esses dados foram definidos como a variação de energia e variação de exergia experimentais do ar. Os valores podem ser vistos na tabela (2). Esses valores foram calculados através das seguintes correlações matemáticas, nas quais as variações de entalpia e entropia dos gases é calculada considerando os componentes das correntes como gases ideais [2]; [3]:

$$(I) \quad \Delta H^{ig} = \int_{298,15K}^{T_{comb}} C_p^{ig} dT = (AT + BT^2 + CT^{-1})|_{298,15K}^{T_{comb}} = \frac{[J]}{[mol]}$$

$$(II) \quad \Delta S^{ig} = \int_{298,15K}^{T_{comb}} \frac{C_p^{ig}}{T} dT = (A \ln(T) + BT + CT^{-2})|_{298,15K}^{T_{comb}} = \frac{[J]}{[mol][K]}$$

$$(III) \quad ex = \Delta h - T_0 \Delta s = \frac{[J]}{[mol]}$$

Parâmetro	Unidade	Resultado
Vazão volumétrica de ar à T_{atm}	m ³ /h	127,17
Vazão molar de ar no sistema	mol/h	5198,24
Varição de Entalpia do ar	kJ/mol	3,63
Varição de Entropia do ar	kJ/mol/K	0,01
Varição de Exergia do ar	kJ/mol	0,37
Varição de energia total do sistema	kJ/h	18847,54
Varição de exergia total do ar	kJ/h	1942,97

Tabela 2. consumo energético dos equipamentos

Para os cálculos de eficiência energética, utilizou-se a relação entre a variação de energia total do sistema tabela (2) e o consumo de energia das resistências elétricas - tabela (1). E para determinar a eficiência exergética, a relação utilizada foi entre a variação de exergia do sistema - tabela (2) - e o consumo de energia das resistências, levando-se em conta que a relação entre energia e exergia para a fonte elétrica é igual a 1.

2.2 Fornalha a Gás Natural

O Gás Natural é um combustível fóssil não renovável constituído por uma mistura de hidrocarbonetos leves, composto principalmente de metano, com mais de 70% da constituição em volume e pode ser obtido por três origens distintas: na decomposição de matéria orgânica por bactérias anaeróbias (sem presença de oxigênio), da degradação de matéria orgânica e carvão à alta pressão e temperatura ou da alteração térmica de hidrocarbonetos líquidos [4]. A composição do gás

natural pode variar dependendo do poço de onde é extraído e de sua origem. Sendo assim, seu Poder Calorífico Inferior (PCI) pode variar. Para o sistema simulado nesse trabalho, considerou-se o PCI de 32771,77 kJ/m³, à CNTP. Para efeito de cálculo considera-se o PCI pelo fato de que, nem toda energia existente no gás natural é efetivamente transferida durante o processo de queima. Parte da energia total disponível no gás natural é consumida para vaporização da água liberada durante o processo de queima, resultando apenas o PCI como o calor efetivamente aproveitável durante a queima.

Os cálculos de eficiência energética foram feitos através da estimativa de variação de entalpia entre reagentes e produtos, considerando-se uma combustão completa, com vazão estequiométrica de ar atmosférico. O cálculo da energia efetivamente disponível no forno para aquecimento da corrente de ar é feito subtraindo-se do valor da variação de entalpia citada antes, toda a energia levada pelos gases de combustão, considerando-se a variação de temperatura e a concentração mássica de cada componente da corrente dos gases de exaustão. Por fim, compara-se o valor de energia disponível com a energia efetivamente utilizada para aquecimento do ar, vista na tabela (2).

Para determinar a eficiência exergética, calculou-se a variação de entropia do sistema, e em seguida utilizou a equação (III) para estimar a exergia efetivamente disponível para aquecimento do ar. A exergia disponível no combustível foi calculada a partir da equação (IV), considerando-se o fator ϕ para o Gás Natural igual a 1,04 [3]:

$$(IV) \text{ ex}_{Comb.} = \phi * PCI_{Comb.}$$

A determinação de eficiência, nesse caso, poderia considerar a exergia efetivamente disponível no forno com a exergia presente no combustível e calculada através da equação (IV). Entretanto, como a exergia efetivamente transferida a corrente de ar quente está disponível na tabela (2), decidiu-se calcular uma eficiência exergética mais rigorosa, na qual se compara a exergia presente no combustível com a exergia efetivamente transferida para a corrente de ar quente.

3 I RESULTADOS

Os resultados obtidos podem ser vistos na tabela (3). É possível observar que o sistema a Gás Natural simulado nesse trabalho apresenta eficiências energética e exergética superiores as obtidas no sistema existente, que utiliza aquecimento via resistências elétricas aletadas. As diferenças entre as eficiências exergética e energética representam um ganho de 30% e 12%, respectivamente. Esse resultado era esperado, considerando que a transformação de energia elétrica em energia térmica é um processo que geralmente apresenta eficiências mais baixas que processos de transferência de calor via combustão. Pode-se dizer que esse resultado também é favorecido pela simulação com Gás Natural, que demanda menor volume de ar atmosférico para queima estequiométrica. Isso significa menor volume de gases inertes que roubam energia do processo de combustão, favorecendo maiores eficiências do sistema.

Parâmetro	Valor
Eficiência exegética aquecedor a Gás Natural	7,15 %
Eficiência energética aquecedor a Gás Natural	55,77%
Eficiência exegética do trocador elétrico	5,10%
Eficiência energética do trocador elétrico	49,45%

Tabela 3. Comparação entre as eficiências dos métodos

Apesar dos ganhos em eficiência projetados no sistema simulado, os dados evidenciam que as eficiências obtidas no sistema elétrico ficaram acima das que geralmente se obtém nesse tipo de processo. Credita-se esse resultado ao controle de temperatura que se consiste em medição constante de temperatura, gerando sinal para o arme e desarme automático dos conjuntos de resistências elétricas, que no experimento somavam 10 (dez) e eram armadas aos pares divididas em 5 (cinco) circuitos elétricos, ambos habilitados e desabilitados pelo mesmo *set point* de temperatura. Esse controle efetivamente diminui os períodos onde as resistências consumiram energia acima do necessário para o aquecimento do ar até a temperatura definida, o que consequentemente diminui o desperdício de energia térmica, acrescentando eficiência energética e exergética ao sistema.

Essa conclusão ainda carece de observação do comportamento de consumo de energia do sistema com aquecedor elétrico em períodos mais longos, posto que os experimentos avaliados nesse trabalho tiveram tempos de execução relativamente curtos (uma hora por experimento). É possível que a modulação de consumo com o desarme automático dos pares de resistência se mostre menos eficiente em períodos maiores, ou em regime contínuo. Além disso, a medição indireta do consumo das resistências elétricas acrescenta alguma incerteza aos resultados, considerando que a medição do consumo elétrico do sistema integrado foi realizada por um único totalizador. O consumo específico do sistema de aquecimento foi estimado com base na potência dos demais equipamentos. Para refino dos resultados, seria importante medir isoladamente o consumo do conjunto de resistências.

Em que pese os fatores atenuantes dos resultados obtidos para o sistema com aquecimento elétrico, citados acima, é importante salientar que os cálculos do sistema simulado consideraram uma queima com vazão de ar atmosférico estequiométrica, o que em termos práticos é de difícil execução. É esperado que, em um sistema real, seja necessário prover um excesso de ar para garantir a queima de todo o gás injetado a fornalha. Esse acréscimo de ar atmosférico constitui em um aumento correspondente de gases inertes, aumentando a ineficiência energética e exergética do sistema.

Apesar dos fatores limitantes citados acima, os experimentos realizados, associados a simulação de um processo alternativo movido a Gás Natural, permitem confirmar a tendência apontada pela literatura no que tange à maiores eficiências de processos de combustão para fornecimento de calor, em operações industriais. Entretanto, observa-se que o sistema de controle interfere nessa relação, indicando

que há um caminho que pode viabilizar a implantação de sistemas elétricos associados a sistemas de controle que modulem o consumo de energia aos níveis estritamente necessários, tornando-os uma opção tecnicamente viável na elaboração de projetos para aplicações industriais, sem deixar de considerar todas as restrições envolvidas – disponibilidade dos recursos e análise econômica estão entre as principais.

4 | CONCLUSÕES

O presente trabalho permitiu concluir que a utilização de sistemas de modulação do consumo de energia elétrica, nas condições estudadas, pode permitir uma aproximação em termos de eficiência entre esses processos e os processos de combustão para fornecimento de calor. Obviamente, novos estudos são necessários para aprofundar essa tendência identificada. Entre eles, o estudo do sistema a combustão através de um sistema físico, que permita a caracterização dos gases de exaustão, diminuindo a incerteza das aproximações utilizadas nos cálculos realizados através de um sistema simulado; experimentos no sistema com aquecimento elétrico em períodos mais longos, que permitam identificar tendências do perfil de consumo em operações contínuas; experimentos com medições individuais de consumo em cada subsistema do processo, isolando a medição de consumo elétrico do aquecedor. Além disso, ainda que a diferença entre eficiências se confirme, seria necessário realizar uma avaliação técnico-econômica para que se analise outros aspectos da decisão de que tecnologia aplicar a esse tipo de aquecimento, associando os ganhos em termos de eficiência a valores de mercado dos insumos e utilidades pertinentes a cada tecnologia.

REFERÊNCIAS

- [1] P.L. Viera et al. “Gás natural: benefícios ambientais no Estado da Bahia,” Salvador: Solisluna Design e Editora, 2005.
- [2] J.M. Smith, H.C. Van Ness e M.M. Abbott, Introdução à Termodinâmica da Engenharia Química, 7a Ed., LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora, Rio de Janeiro, 2007.
- [3] A.A. Bandeira, T.D. Oliveira e L.D. Vilas Boas. “Exergy Analysis of Natural Gas Confined Flames With OEC”. 15th Brazilian Congress of Thermal Sciences and Engineering, ABCM, Belém, Pará, 2014.
- [4] P. Poulallion et al. “Synthèse et caractérisation d’une série de bis-9, 9’(thio-9-acridinyl)- α , ω -alcanes”, Journal of heterocyclic chemistry 23.4. 1986.
- [5] R. Catapan, F.M. Pereira e A.M. Oliveira. “Relatório de caracterização de queimadores porosos radiantes de alta temperatura”, RedeGás Energia, 2004.
- [6] M. Petterson e S. Stenström, “Experimental evaluation of electric infrared dryers,” TAPPI Journal Peer Rewied Paper, 2000.
- [7] J.P. Salazar e A.M. Oliveira, “Convective and radiative heat transfer in a roller kiln for ceramic tiles manufacture,” 2D model”, 2005.

[8] J.G. Speight, "Natural Gas: A Basic Handbook," Gulf Publishing Company, Houston-Texas, 2007.

[9] S.R. Turns, "An Introduction to Combustion: Concepts and Applications,," McGraw-Hill, Boston, 2000.

[10] F.A. Williams, "Combustion Theory," Benjamin Cumings, New York, 1985.

[11] J.S. Yagoobi, S.J. Sikirica, e M.R. Ricks, "On-line pre-heating-drying of paper sheet with gas-fired infrared emitters," TAPPI Vancouver, <http://www.scielo.cl/pdf/rcp/v80n1/art10.pdf> (2000).

CAPÍTULO 14

ESTUDO DE APLICAÇÃO DA TURBINA DE TESLA COMO MICROGERADOR

Data de aceite: 01/07/2020

Eloi Rufato Junior

UTFPr - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Departamento Acadêmico de Engenharia Elétrica
COPEL - Departamento de Energia Eólica.

Alison Baena de Oliveira Monteiro

UTFPr - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Departamento Acadêmico de Engenharia Elétrica

Ricardo Ribeiro dos Santos

UTFPr - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Departamento Acadêmico de Engenharia Elétrica

RESUMO: A busca e utilização de fontes de energias renováveis tem apresentado grande crescimento nos últimos anos, e tal desenvolvimento trouxe consigo a microgeração distribuída e seus desafios. Sob este viés, o presente trabalho traz a proposta de mais uma fonte renovável a ser aproveitada, com o emprego de uma turbina pouco usual na geração de energia elétrica. Aqui serão apresentados os estudos que abordam o projeto e avaliação de uma Turbina de Tesla aplicada à microgeração distribuída. Para tal, primeiramente foi pesquisado a tendência de crescimento da demanda energética e a contribuição de fontes renováveis, sendo a microgeração a maior representante destas fontes. Foram abordados os aspectos construtivos dos modelos de turbinas consagradas, para efetuar um paralelo

com a Turbina de Tesla e destacar suas diferenças estruturais e dinâmicas. Diferentes autores vêm estudando a Turbina de Tesla, e destacando várias características relevantes como a facilidade de montagem, a versatilidade de aplicação e o baixo custo de produção e manutenção da turbina. Os aspectos citados são de grande importância para atender as demandas de sistemas de microgeração, bem como para o desenvolvimento de um produto para este público. Para projetar a turbina buscou-se um parâmetro inicial, um valor de vazão média, expresso em litros por minuto. Esta informação foi obtida por meio do levantamento de consumo de água de dois condomínios residenciais. A partir da metodologia empregada por diferentes autores, foi projetada e montada uma Turbina de Tesla para a execução de ensaios e levantamento de dados empiricamente. Os ensaios ocorreram com a aplicação dos valores médios de vazão, simulando os valores oriundos da pesquisa de consumo, para a avaliação de desempenho da Turbina tendo um gerador de ímãs permanentes acoplado a ela. Foi obtida uma baixa potência de geração sobre as cargas analisadas, 14 W sobre o resistor de 5 Ohms, e 20 W para o resistor de 50 Ohms, mas podendo ser elevada ao contornar as dificuldades apontadas. Desta forma, a inovação apresentada neste trabalho consiste na abertura de exploração de fontes de força motriz disponível no sistema de abastecimento de água, e outros sistemas hídricos que forneçam vazão suficiente para a geração em pequeno potencial. Os ensaios ocorreram na cidade de Curitiba, Paraná, no ano de 2019.

PALAVRAS-CHAVE: Turbina de Tesla. Microgeração distribuída. Hidro turbina. Fontes

renováveis. PMSM (Permanent magnet synchronous motor).

ABSTRACT: The search for and use of renewable energy sources has shown a great growth in recent years, and the development of a distributed microgeneration and its challenges. On this bias, the present work brings a proposal of a renewable source to be used, with the use of a more unusual turbine in an electric power generation. Here will be presented the studies that addressed the project and evaluation of a Tesla turbine applied to the distributed microgeneration. It was first investigated the trend of growth in energy demand and the contribution of renewable sources, with microgeneration being the largest representative of these sources. The constructive aspects of established turbine models were addressed, to make a parallel with the Tesla Turbine and highlight their structural and dynamic differences. Different authors have been studying the Tesla Turbine for several relevant features such as ease of assembly, application versatility, and low turbine production and maintenance costs. These aspects are of great importance to meet the demands of microgeneration systems, as well as for the development of a product for this public. To design the turbine, an average flow value, expressed in liters per minute was used as an initial parameter. This information was obtained through the survey of water consumption of two residential condominiums. Based on the methodology used by different authors, a Tesla Turbine was designed and assembled for the execution of tests and empirical data collection. The experiments were carried out with the application of the mean values of flow, simulating the values from the research of consumption. To evaluate the performance of the Turbine, a permanent magnet generator was coupled to it. The innovation presented in this work consists of the exploration of sources of driving force available in the water supply system, and other water systems that provide sufficient flow for a small potential generation. The tests were carried out in the city of Curitiba, Paraná, in the year 2019.

KEYWORDS: Tesla Turbine. Distributed microgeneration. Hydro turbine. Renewable sources. PMSM (Permanent magnet synchronous motor).

1 | INTRODUÇÃO

Na busca por novas alternativas, e um tema que trouxesse inovação, verificou-se a existência de um modelo de turbina que apresenta características construtivas muito interessantes, e pouco exploradas atualmente. Concebida e patenteada por Nikola Tesla em 6 de maio de 1913, sob o registro 'United States Patent' N°.1061206, a turbina de Tesla tem o diferencial de ser estruturalmente mais simples, quando comparada com modelos Francis, Kaplan ou Pelton, conseqüentemente mitigando o custo de montagem. Tal aspecto despertou o interesse deste estudo sob o viés da microgeração.

Em 17 de abril de 2012, por meio da resolução normativa ANEEL n°482/2012, a micro e mini geração foram regulamentadas, e, desde então, tornou-se possível estabelecer uma nova relação entre concessionárias de energia e consumidores, isso permitiu ao consumidor, que tivesse já implementado algum tipo de geração de energia elétrica, fornecer o excedente de produção à rede de distribuição local. Outro aspecto relevante da microgeração distribuída é a proximidade entre o consumidor que fornece o excedente de produção com aqueles que são apenas consumidores.

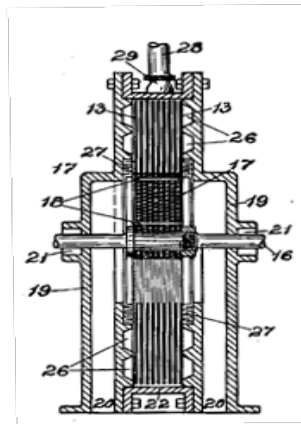
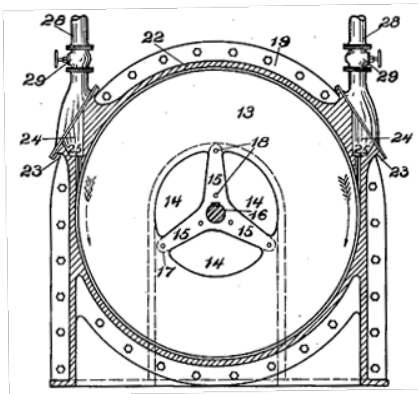
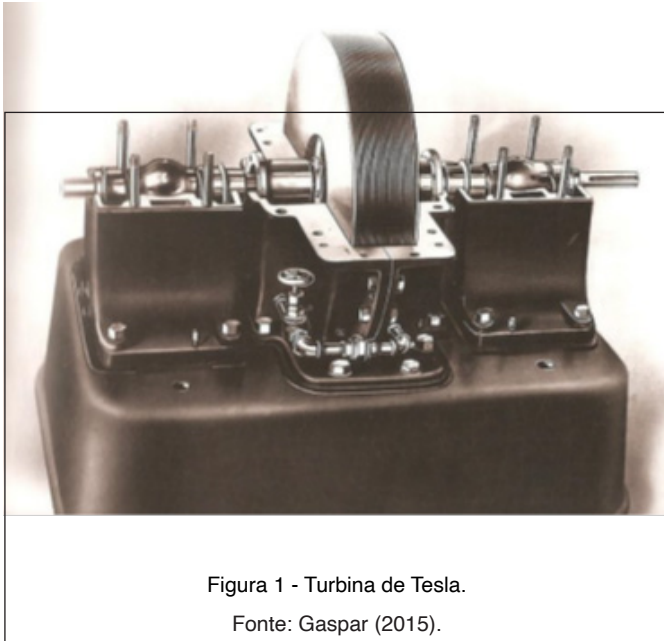
Este aspecto é vantajoso quando há diminuição das perdas e, principalmente, há diminuição de investimentos de infraestrutura associados à geração, transmissão e distribuição.

O interesse pela microgeração e minigeração tem se intensificado no Brasil; dados da ANEEL apontam um crescimento significativo de agosto de 2014 a setembro de 2016: “em um ano, o número de conexões de micro e minigeração de energia teve um rápido crescimento. São 5.040 conexões em agosto, contra 1.148 ligações registradas na ANEEL em setembro de 2015, o que representa uma potência instalada de 47.934 kW” (ANEEL, 2016). Este crescimento destaca que as principais fontes exploradas pela microgeração no Brasil são a solar e a eólica, tendo até então 4955 pontos de geração solar e 39 eólica ligados a rede de distribuição (ANEEL, 2016). Entretanto, outros modais poderiam ser igualmente explorados por pequenos e grandes consumidores. Como aponta Silva (2012), existe a possibilidade e a viabilidade de aproveitamento da matriz de abastecimento de água tratada, em seu estudo analisou, na cidade de Pato Branco - Paraná, a cutilização da rede de abastecimento d’água na produção de energia elétrica.

A busca por fontes renováveis é uma realidade e uma necessidade; muitos países investiram na mudança, como destaca a CPFL ENERGIA (2014) nas modificações das matrizes energéticas pelo mundo: a Alemanha em 2008 contava com 4,4 TWh de geração solar; em 2014 chegou ao patamar de 26,4 TWh; O crescimento abrupto até 2014, da oferta de energia, criou uma situação ímpar: preços negativos. Na China, no mesmo período houve crescimento de 0,2 TWh para 6,3 TWh. Tais modificações e seus benefícios inspiram observar os potenciais disponíveis no Brasil, para assim fazer uso correlato e trazer benefícios a curto, médio e longo prazo.

2 | EMBASAMENTO TEÓRICO E METODOLOGIA

Nikola Tesla (1856-1943) foi responsável por diversas descobertas em vários seguimentos, aclamado como pai da rede distribuição de energia elétrica alternada, criador do motor de indução, entre outros feitos, em 1910 apresentou a dupla patente de turbina e compressor: a turbina de Tesla veio com características pouco convencionais (Batista 2009). Em parceria com a empresa Allis Chalmer Manufacturing Company (USA), Figura 1, desenvolveu 3 protótipos da turbina, a maior turbina continha 60 discos de 1,5 m de diâmetro, rotação de 3600 rpm, alimentada por vapor d’água a 5,5 atm de pressão, fornecendo a potência de 500 kW, (Neckel 2013). A Turbina é composta pelas seguintes partes (Figura 2 e Figura 3): Discos Lisos: cilindros finos com a superfície não porosa (detalhe 13, Figura 2 e Figura 3), material leve e inerte, com furos defasados igualmente próximo ao centro (escape do fluido, Figura 2 – detalhe 14,); No projeto original de Tesla eram barras e chapas no centro do disco (detalhe 15, Figura 2), por causa de problemas mecânicos, os projetos mais recentes alteram para furos no meio do disco (Rocha et al, 2013), com será apresentado na sequência.



Uma das características mais versáteis da Turbina de Tesla (TT) é a possibilidade de utilizar vários tipos de fluidos em diversos estados, pois os componentes devem ser planejados para ser adequar ao fluido operante. Por exemplo os materiais que a compõe devem ser resistentes: a corrosão, pressão, vibração, choques e esforços mecânicos, de preferência, (Rocha at al 2013). Existem muitas variáveis a serem exploradas na TT, como “da geometria dos seus componentes, ao posicionamento das peças, dentre eles” (Neckel 2013):

- Distância entre disco: os discos acoplados paralelamente em relação ao outro; a sua distância interfere diretamente na queda de pressão, na velocidade e torque aplicados no eixo.
- A distância do rotor (disco) e o estator (encapsulamento), distância interfere no que tange a direção e escoamento do fluido, também afeta no desempenho do mesmo.
- Raio dos Discos: o raio externo, região total do disco fornece a área de contato com a vazão do fluido ponto onde realiza trabalho e transfere energia para o rotor.
- Números de bocais Injetores e saídas do fluido: seu formato, ou posição e quantidade; influencia diretamente no comportamento do fluido dentro da TT, se o mesmo atua em comportamento regime laminar ou turbulento.
- Já as saídas e a composição dos furos na proximidade do centro do disco, fica responsável pela extração do fluido do interior da TT pede compatibilidade ao sistema de entrada. Para evitar resistência na saída do fluido do interior da TT.

2.1 Princípios de Funcionamento da Turbina de Tesla (TT)

O princípio de funcionamento da TT consiste na capacidade de aderência de um fluido sobre a uma superfície (Couto et al, 2006). Quando um fluido é injetado, sua tendência natural é preencher o local e buscar uma saída; estabelecido o percurso, o fluido se desloca adquirindo velocidade; pelo princípio da aderência, os discos são forçados a se movimentar e adquirir velocidade compatível ao fluido; destacado na Figura 4, neste fenômeno, a energia contida no deslocamento do fluido é transferida à turbina, permitindo a sua conversão, como na geração de energia elétrica. Sua principal diferença entre as demais turbinas é a capacidade de ser acionada com gases, fluidos com mais de uma fase, fluidos com viscosidade elevada, e ainda com partículas sólidas suspensas no fluido.



Figura 4 - Trajetória do fluido na turbina de Tesla.

Fonte: Gaspar (2015).

2.2 Estado da Arte

Na forma original proposta por Nikola Tesla, o sentido de rotação da turbina é reversível, uma vez que há dois bicos de injeção em posições opostas. Em projetos recentes, esta característica não é adotada. Nos estudos de Gaspar (2015), Rocha (2013), Neckel (2013) e Couto (2006), por exemplo, dispõe de apenas um duto de admissão, como destacado pela parte 2, Figura 5.

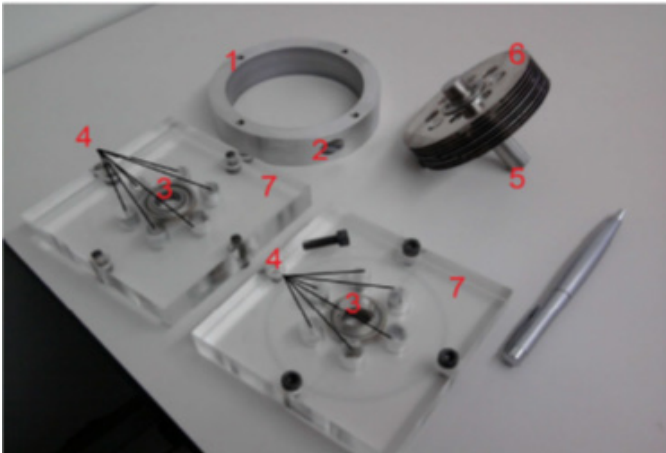


Figura 5 - Protótipo de turbina de Tesla.

Fonte: Placco (2010).

Os discos também tiveram proposta de modificação, gerando novas patentes; o Engenheiro Eletricista Julio Cesar Batista e o Físico Heraldo da Silva Couto, uniram ao disco características análogas a forma das pás da turbina Pelton, tal alteração foi registrada sob o n° de patente MU 8601863-9 U2 de 2008, com a forma explicitada na Figura 6, os autores atribuem maior eficiência na obtenção de torque sobre o eixo ou pressão, quando acionada como bomba.

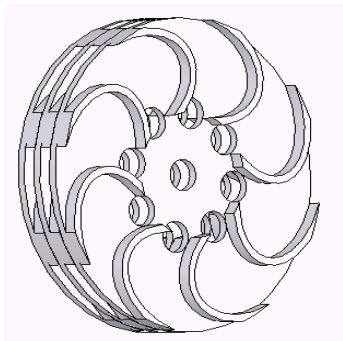


Figura 6 - Turbina Tesla-Pelton (1).

Fonte: Batista (2009).

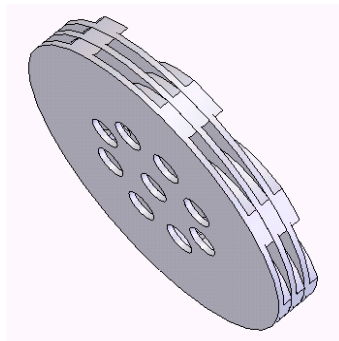


Figura 7 - Turbina Tesla-Pelton (2).

Fonte: Batista (2009).

A disposição dos discos, em função do posicionamento dos orifícios de escoamento do fluido, círculos ou triângulos distribuídos em torno do eixo, também foi ensaiado com modificações em referência a TT original. Placco (at al, 2010) efetuou estudos aplicando defasagem angular entre os discos da TT, como evidenciado nas Figura 24 e Figura 25.



Figura 8 - Discos (Defasagem de -30°).

Fonte: Placco (2010).



Figura 9- Discos (Defasagem de $+30^\circ$).

Fonte: Placco (2010).

As aplicações destas defasagens obtiveram resultados significantes; Placco (2010) relata ganhos observados na ordem de 12%, quando da defasagem de +30°; os resultados foram evidenciados pelo Gráfico 1.

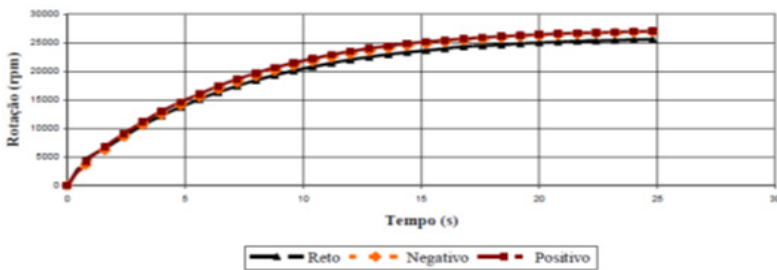


Figura 10 – Gráfico de ganho de rotação para comparação da defasagem dos orifícios.

Fonte: Placco (2010).

Tais estudos são de grande valia para o desenvolvimento da TT. Dos materiais às características construtivas, os avanços podem propiciar uma turbina de baixo custo, com rendimento aceitável para microgeração, impactando na cadeia energética como um todo, por se tornar acessível aos, até então, apenas consumidores de energia elétrica.

2.3 Pesquisa de perfil de consumo hídrico

Foram coletados os dados de consumo mensal de dois condomínios da cidade Curitiba, o objetivo do levantamento foi encontrar a vazão média em litros por minuto e utilizar este dado como parâmetro de dimensionamento da TT. O primeiro condomínio é constituído por um prédio de 20 andares. O segundo consumidor é um condomínio constituído por 10 prédios de 5 andares, 8 unidades por andar. Suas médias mensais estão dispostas nas Tabela 2 e Tabela 3 respectivamente:

Mês	Consumo (m³)	Mês	Consumo (m³)	Mês	Consumo (m³)	Média Consumo
set/17	344	mar/18	370	set/18	485	385 m³/mês
out/17	387	abr/18	383	out/18	455	12,83 m³/dia
nov/17	422	mai/18	349	nov/18	457	0,53 m³/h
dez/17	401	jun/18	367	dez/18	412	534,72 l/h
jan/18	406	jul/18	330	jan/19	358	8,91 l/min

Tabela 1- Consumo de água condomínio 1 (setembro de 2017 a abril de 2019).

O Autor (2019).

Medidor		0176-4060		Hidrômetro		315n003926-5-2			
Mês	Consumo (m ³)	Mês	Consumo (m ³)	Mês	Consumo (m ³)	Mês	Consumo (m ³)	Média	
mai/17	601	nov/17	596	mai/18	704	nov/18	619	600,5	m ³ /mês
jun/17	507	dez/17	569	jun/18	629	dez/18	600	20,01	m ³ /dia
jul/17	547	jan/18	558	jul/18	628	jan/19	667	0,83	m ³ /h
ago/17	569	fev/18	610	ago/18	619	fev/18	595	834,0	l/h
set/17	539	mar/18	603	set/18	591	mar/18	620	13,90	l/min
out/17	577	abr/18	665	out/18	629	abr/18	563		

Tabela 2 - Consumo mensal médio (cond. 2 / medidor 1).

O Autor (2019).

As médias de m³ consumidos apresentaram diferenças significativas. Como metodologia do ensaio, para a vazão que será aplicada na turbina optou-se por utilizar a média geral dos consumidores pesquisados, onde fora obtido:

Média Geral de Consumo	
555,50	m ³ /mês
12,86	l/min

Tabela 3 - Médias de consumo.

O Autor (2019).

Desta forma, o valor inicial para ensaio e projeto da turbina será a aplicação de vazão aproximada de 13 litros por minuto. Entretanto, caso seja verificado, durante o ensaio, que a vazão média não desenvolva força de arrasto suficiente para a geração de energia elétrica, conforme a Turbina de Tesla elaborada, buscar-se-á a vazão mínima para geração para a situação.

2.4 Caracterização do ensaio

O setup de ensaio é constituído por três caixas d'água de 400 L, duas como reservatório, e uma caixa para coleta da água escoada pela Turbina de Tesla. Conta ainda com uma bomba d'água de recalque entre as caixas, de coleta e de armazenamento, e uma bomba injetando vazão limite de 100 l/min na TT, ou até 50 l/min com 116 mca. A estrutura de ensaio permite a realização de testes sem interrupções; O controle da vazão é feito por um sistema de by-pass instalado na tubulação, validando o fluxo é utilizado um hidrômetro residencial. O procedimento de simulação ocorreu inicialmente com a vazão média encontrada, e em segundo momento foram feitas variações de vazão até limite máximo do setup.

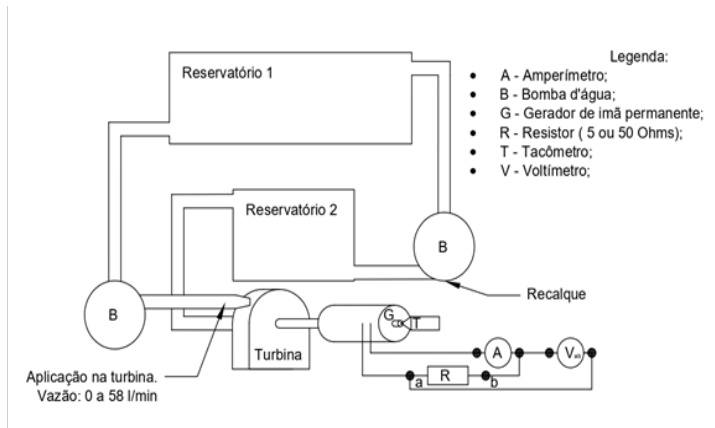


Figura 11 - Diagrama do conjunto de equipamentos.
Fonte: O Autor (2019).

Para a escolha do modelo de gerador mais adequado à turbina, foram selecionados dois tipos de motores ligados para funcionar como gerador, sendo:

1. Motor monofásico - 127 V tipo universal de 450 W;
2. Servo motor 1 - 24 V_{cc} de imã permanente;
3. Servo motor 2 - 24 V_{cc} de imã permanente;



Figura 12- Servo Motor Electro-Craft
PN0650.00-020.

O Fonte: O Autor (2019).



Figura 13 - Servo Motor Maxon Motor Pn.:
2260.88-54.

Fonte: O Autor (2019).

Foram avaliadas as curvas de potência fornecidas pelos fabricantes, e curvas de teste de geração: aplicando-se as mesmas velocidades de rotação e torque e efetuaram-se as leituras de tensão de saída, para circuito aberto; e corrente máxima, quando curto circuitado os polos.

Gerador	Rotação (rpm)	Excitação do rotor		Tensão gerada	Corrente de curto
Motor Monofásico	1492	8,0 A	2,3 V	5 Vac	7,0 A
Servo Motor 1	1435	0	0	46,72 Vdc	4,7 A
Servo Motor 2	1468	0	0	42	3,2 A

Tabela 4 - Comparativo de geração entre máquinas elétricas.

Fonte: O Autor (2019).

Os servos motores mostraram-se mais eficientes, não necessitam excitação e são fabricados com ímãs permanentes. Em geral, os motores forneceram as potências de 35 W, 219 W e 134 W respectivamente. O motor monofásico consumiu 18,4 W, tendo um balanço de apenas 16,6 W. Assim, pela potência optou-se pelo servo motor 1 como gerador.

3 I PROJETO DESENVOLVIMENTO E ENSAIO

Inicialmente foi arbitrado um valor para o número de Reynolds mantendo escoamento laminar, posto que: “quando a extremidade do disco atinge a velocidade do fluido injetado tangencialmente, a velocidade relativa entre fluido e disco é nula,” e “não há realização de trabalho ou potência no eixo” (Batista, 2009). Baseado na metodologia de Batista (2009), efetuou-se adaptações para a água em estado líquido, e aproveitou-se a defasagem entre os disco, apresentado por Placco (2010). Alguns parâmetros foram estipulados via comparações, pelos critérios sugeridos por Choon et al (2011).

3.1 Cálculo para medidas dos componentes

Adaptando a metodologia de Choon, et al. (2011) e de Batista (2009) para a utilização de água como fluido de propulsão, os cálculos utilizados foram iniciados com a equação 3.1, o ponto de partida foi utilizar os dados de vazão média de consumo e vazão máxima do setup como parâmetros, sendo 100 l/min a vazão máxima (para o SI: 0,00167), e a área do tubo de admissão, com diâmetro de 0,0127 m tem área de 0,0005067 , conforme a equação 3.2:

$$V = \frac{Q_v}{A} \quad (3.1)$$

$$V = \frac{0,00167}{0,0005067} = 3,289 \frac{m}{s} \quad (3.2)$$

Q_v Vazão Volumetrica (l).

V Velocidade relativa do escoamento (m/s).

A Área (m²).

Batista (2009, pág.98) afirma que não existe equações específicas para a TT, cálculo de sua potência ou torque, assim estipulou-se proporções para os

discos pela a metodologia de Choon et al. (2011), a relação de 3.3. Para o modelo reduzido definiu-se: raio externo em 0,073 m, raio interno 0,018 m (eixo mais furos de exaustão), aplicado em 3.3, resulta em 3.4:

$$\frac{R}{r_0} \geq 2,5 \quad (3.3)$$

$$\frac{0,073}{0,018} \geq 4,056 \quad (3.4)$$

R Raio externo dos discos paralelos (m).

r_0 Raio interno fictício (m).

Para determinar o espaçamento dos discos calculou-se a camada de limite laminar, pôr meio da equação 3.5. A água á 20°C tem viscosidade cinemática $1,003 \times 10^{-6} \frac{m^2}{s}$ (Evangelista, 2018):

$$\delta \approx 5 \sqrt{\frac{v \cdot \pi \cdot D}{V}} \quad (3.5)$$

$$\delta = 5 \times \sqrt{\frac{1,003 \times 10^{-6} \times \pi \times 0,146}{3,289}} = 1,867 \times 10^{-3} \text{ m} \quad (3.6)$$

δ Espaçamento entre disco e encapsulamento (m).

v Viscosidade cinemática do fluido (/s).

V Velocidade Relativa de Escoamento (m/s).

D Diâmetro do disco (m).

Como o vão está contido entre duas superfícies, o espaço máximo entre disco será o dobro, como a equação 3.7:

$$D_{\delta\text{máx}} = 2.$$

$$\delta = 2 \times 1,867 \times 10^{-3} = 3,74 \times 10^{-3} \text{ m} \quad (3.7)$$

$D_{\delta\text{máx}}$ Distancia máxima entre discos (m).

Caso o número de Reynolds seja superior a 2300 estará no regime transitório, turbulento acima dos 2400 (Rodrigues, 2019). Neste caso calcula-se para camada limite turbulenta, equação 3.8 e aplicada em 3.9:

$$\delta = 0,526 \cdot r_0 \cdot \sqrt[5]{\left(\frac{v}{r_0^2 \cdot \omega}\right)} \quad (3.8)$$

$$\delta = 0,526 \times 0,018 \times \sqrt[5]{\left(\frac{1,003 \times 10^{-3}}{0,018^2 \times \left(\frac{3,289}{0,073}\right)}\right)} = 5,646 \times 10^{-3} \text{ m} \quad (3.9)$$

O espaçamento entre disco, é a solução da equação 3.7. Com valor da equação 3.9, chega-se na equação 3.10:

$$D_{\delta\text{máx}} = 2 \cdot \delta = 2 \times 5,646 \times 10^{-3} = 1,129 \times 10^{-2} \text{ m} \quad (3.10)$$

Estas projeções estabelecem limites de contorno, Batista fixou um número Reynolds obtendo o número de discos, utilizando densidade da água a 20°C, $\rho = 998,2 \text{ kg/}$ e viscosidade dinâmica $\mu = 1,67 \times 10^{-3} \text{ Pa/s}$ (Evangelista, 2018):

$$\dot{m} = \rho \cdot Q_v = 998,2 \times 0,00167 = 1,663 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \quad (3.11)$$

\dot{m} Vazão massica (kg/s).

ρ Densidade da água (kg/m³).

O coeficiente de vazão é calculado por 3.12. O número de Reynolds arbitrado foi 320, e usando 3.11 em 3.12 verificou-se em 3.13, o coeficiente de vazão:

$$n = \frac{4}{3 \cdot \pi \cdot \mu \cdot D \cdot Re} \dot{m} \quad (3.12)$$

$$n = \frac{4 \times 1,663}{3 \times \pi \times 1,002 \times 10^{-3} \times 0,146 \times 320} = 15 \text{ discos} \quad (3.13)$$

O número de discos mínimo seria, conforme a equação 3.14:

$$N = n + 1 = 16 \quad (3.14)$$

n coeficiente de vazão (adimensional).

N número de discos (adimensional).

Para melhorar o torque final, decidiu-se utilizar 20 discos, calculando com novo número de Reynolds em 3.15:

$$Re = \frac{4 \cdot \dot{m}}{3 \cdot \pi \cdot \mu \cdot D \cdot n} = \frac{4 \times 1,663}{3 \times \pi \times 1,002 \times 10^{-3} \times 0,146 \times 20} = 254 \quad (3.15)$$

A partir de 3,15, o espaço entre disco é obtido conforme a equação 3.16, tendo como resultado 3,17:

$$Re = \frac{4 \cdot \rho \cdot V \cdot a}{3 \cdot \mu} \quad (3.16)$$

$$a = \frac{3 \cdot \mu \cdot Re}{4 \cdot \rho \cdot V} = \frac{3 \times 1,002 \times 10^{-3} \times 254,028}{4 \times 998,2 \times 3,289} = 5,814 \times 10^{-5} \text{ m} \quad (3.17)$$

O distanciamento resultante dos cálculos não era praticável, optou-se por estipular um valor entre discos (1,2 mm, espessura da chapa de aço que seria utilizada na produção dos discos) e verificar se era adequado pela equação 3.18:

$$Re = \frac{4 \cdot \rho \cdot V \cdot a}{3 \cdot \mu} = \frac{4 \times 998,2 \times 1,2 \times 10^{-3}}{3 \times 1,002 \times 10^{-3}} = 1593,93 \quad (3.18)$$

O valor encontrado atende à necessidade, não é superior a 2000, o escoamento é laminar. Para os novos parâmetros, o cálculo de Torque em escoamento laminar, em uma das faces do disco, é obtido por 3.19 e encontrado em 3.20:

$$T_0 = \frac{1}{4} \cdot \rho \cdot \omega^2 \cdot R^5 \cdot 3,87 \cdot \left(\frac{R^2 \cdot \omega}{\nu} \right)^{-\frac{1}{2}} \text{ N.m} \quad (3.19)$$

$$T_0 = \frac{1 \times 998,2 \times 45,058^2 \times 0,146^5 \times 3,87 \left(\frac{0,146^2 \times 45,058}{1,003 \times 10^{-6}} \right)^{-\frac{1}{2}}}{4} = 0,334 \text{ N.m} \quad (3.20)$$

T_0 Torque fornecido (N.m).

R Raio dos discos paralelos (m).

ω Velocidade Angular (rad/s).

ν viscosidade cinemática do fluido (m/s).

Torque total, para os 20 discos, fornecido na camada limite laminar, assim como na equação 3.21:

$$T_T = 2 \cdot (N - 1) \cdot T_0 = 2 \times (20 - 1) \times 0,334 = 12,687 \text{ N.m} \quad (3.21)$$

T_T Torque total (N.m).

N número de discos (adimensional).

Potência Ativa fornecida na camada de limite laminar, conforme a equação 3.22:

$$P = T_T \cdot \omega = 12,687 \times 45,058 = 571,666 \text{ W} \quad (3.22)$$

Caso o regime de escoamento fosse turbulento o Torque resultante seria, para uma das faces do disco, conforme a equação 3.23 e sendo equacionado na 3.24:

$$T_0 = \frac{0,073}{2} \cdot \rho \cdot \omega^2 \cdot R^5 \cdot \sqrt[5]{\frac{\nu}{\omega \cdot R^2}} \quad (3.23)$$

$$T_0 = \frac{0,073}{2} \times 998,2 \cdot 45,058^2 \cdot 0,146^5 \times \sqrt[5]{\frac{1,003 \times 10^{-6}}{45,058 \times 0,146^2}} = 0,312 \text{ N.m} \quad (3.24)$$

O torque total e potência na camada turbulenta, é encontrado utilizando das equações 3.25 e 3.26, respectivamente:

$$T_T = 2 \cdot (N - 1) \cdot T_0 = 2 \times (20 - 1) \times 0,312 = 11,856 \text{ N.m} \quad (3.25)$$

$$P = T_T \cdot \omega = 11,856 \times 45,058 = 534,208 \text{ W} \quad (3.26)$$

Os valores encontrados para potência são projeções, adaptados de metodologias para gases em elevadas temperaturas e pressões, desta forma, entende-se que poderá ocorrer variações significativas utilizando água em temperatura ambiente.

3.2 Desenho das peças

Após os cálculos dos parâmetros para a turbina, executou-se a modelagem das partes da Turbina de Tesla com o auxílio de software CAD (computer-aided design). Com o uso desta ferramenta pode-se utilizar de processos mais precisos na produção dos componentes. Na Figura 14 apresenta-se o projeto da Turbina de Tesla em vista explodida:

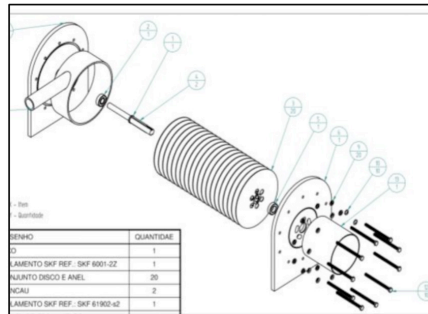


Figura 14 - Vista explodida da Turbina de Tesla.

O Autor (2019).

3.2.1 Montagem da Turbina de Tesla

Objetivando maior velocidade de entrada, o bico de injeção foi modificado; Foi utilizado tubo de PVC, como pode ser visto na Figura 15; o bico injetor ficou em retangular, com 3 mm de altura por 50 mm de largura (15 mm²), foi ajustado para que a água atinja os discos numa linha secante, aproximadamente 72 mm acima do eixo, destacado pelo item 1 da Figura 15; buscando aperfeiçoar o protótipo, seguindo os resultados de Placco (2010), aplicou-se a defasagem de -30° nos discos, destacado nas Figura 16 e Figura 17:



Figura 15.
Detalhe bico de injeção

O Autor (2019).

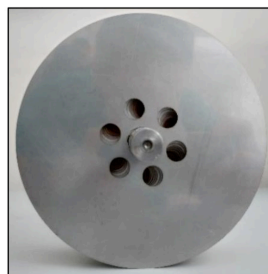


Figura 16.
Defasagem de -30°

O autor (2019).

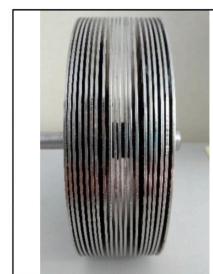


Figura 17.
Disco, vista lateral.

O autor (2019).

A turbina finalizada é apresentada nas Figura 16 e Figura 17. Algumas falhas que podem comprometer a eficiência da Turbina de Tesla foram encontradas: distanciamento dos discos, não foi possível manter a distância de 1,2 mm entre eles; elevada massa dos discos e eixo, 4,85 kg. O setup composto pela Turbina de Tesla acoplado ao gerador é apresentado nas Figura 18 e Figura 19. A turbina finalizada conta ainda com: um duto para direcionar a água que sai de dentro dela; um conjunto de registro com união, na entrada do bico de injeção; junção entre eixos, adaptada com tubo plástico termoencolhível; base em acrílico. Verificou-se uma leve tortuosidade entre eixo e discos, sem solução, ocasionou excessiva vibração acima de 100 rpm.

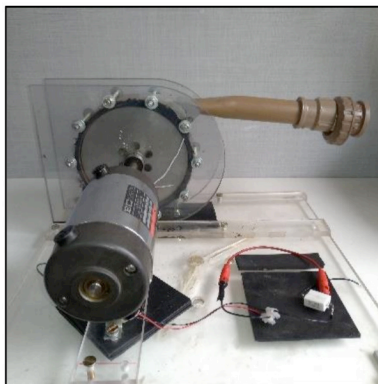
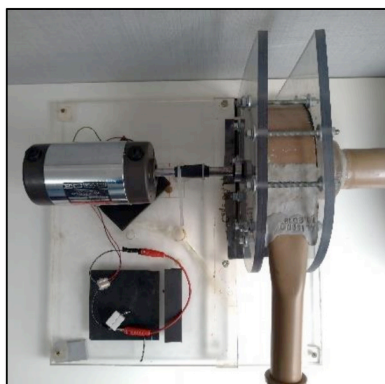


Figura 18 - Setup de teste (vista superior). Figura 19 - Setup de teste (vista frontal).

O autor (2019).

O autor (2019)

4 | DISCUSSÃO E RESULTADOS

Foram realizados dois ensaios: o primeiro com carga de 50Ω ligada ao gerador, o segundo com carga de 5Ω . A expectativa era observar redução na máxima tensão gerada, em função da força contra eletromotriz do gerador, sendo evidenciada na tensão máxima produzida, e limitação de rotação imposta à turbina pelo gerador.

4.1 Ensaio 1 - carga de 50 Ohms

Sob esta condição foram realizadas medições de vazão, rotação, tensão e corrente, conforme apresentado na Tabela 5, e nos gráficos a seguir:

Velocidade (RPM)	Tensão (V)	Corrente (mA)	Vazão (l/min)	Potência dissipada na carga
72,0	1,9	20,0	14,2	0,0
356,0	9,8	180,0	26,3	1,8
480,0	13,3	240,0	30,6	3,2
561,0	15,6	300,0	34,7	4,7
823,0	22,5	430,0	43,6	9,7
884,0	24,2	460,0	46,4	11,1
928,0	25,5	490,0	46,9	12,5
1065,0	27,5	530,0	50,9	14,6
1160,0	29,3	570,0	54,0	16,7
1175,0	32,0	600,0	52,7	19,2
1180,0	32,2	630,0	56,8	20,3

Tabela 5 - Dados de ensaio: carga 50 Ω .

O autor (2019).

Os valores de rotação encontrados pela da vazão apresentaram bom rendimento, chegando a 1180 rpm com vazão de 56 l/min, entretanto indicam restrição da vazão e ocasionam menor torque e potência gerada, visto no Gráfico 1:

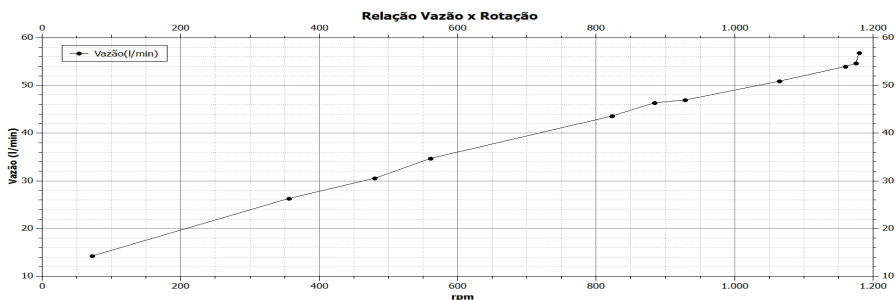


Gráfico 1 - Relação Vazão (l/min) x Rotação (rpm) – carga 50 Ω .

O autor (2019).

Os valores máximos de tensão encontrados chegaram a bons níveis, próximos de 33 V, adequados para ligação em inversores de frequência amplamente utilizados em sistemas fotovoltaicos de microgeração distribuída. No a curva de corrente medida sobre a carga de 50 Ohms, em função da rotação.

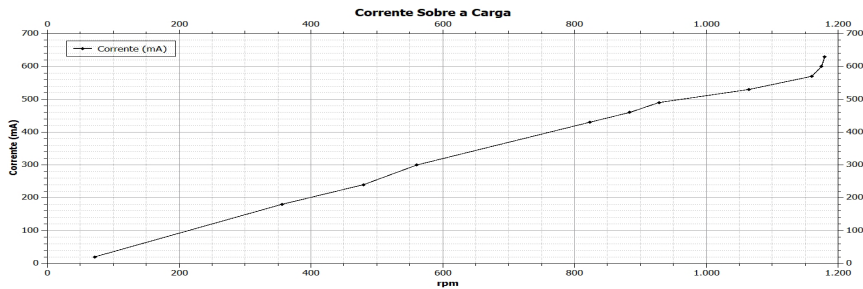


Gráfico 2 - Relação Corrente (mA) x Rotação (rpm) – carga 50 Ω.

O autor (2019).

Conforme visto a seguir, a menor capacidade de escoamento da turbina influenciou a tensão máxima sobre a carga.

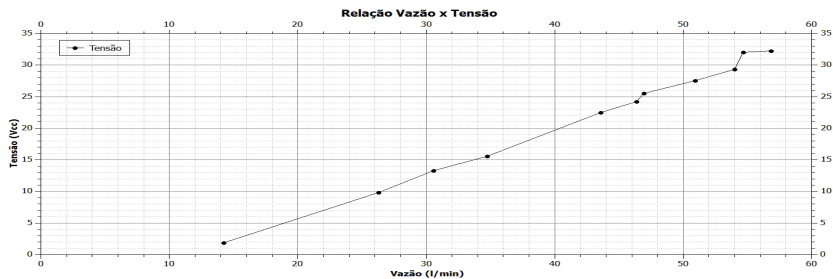


Gráfico 3 - Relação Tensão (V) x Vazão (l/min) – carga 50 Ω.

O autor (2019).

O ensaio sobre uma carga de 50 Ω gerou um bom nível de tensão, aproximadamente 32,2 Vcc. Observou-se que a limitação de vazão não permitiu maior produção energética, assim, com maior fluxo de água injetada na turbina, maior será a capacidade de produção energética. O cálculo do rendimento na potência gerada 50, na faixa de vazão 56.8 l/min, com a potência recalculada, assim como na equação 5.27:

$$\eta = \frac{P_{G50\Omega}}{P} = \frac{20,3}{179,27} = 0,1132 = 11,32\% \quad (4.27)$$

η Rendimento (adimensional)

$P_{G50\Omega}$ Potência gerada com resistor 50;

P Potência Ativa (W)

4.2 Ensaio 2 - carga 5 Ohms

Este ensaio foi realizado para verificar o comportamento do grupo Turbina de Tesla -Gerador sob aspecto do conceito de máxima transferência de potência. Foi medido 5,2 Ohms na bobina do motor, e por consequência acoplada como carga um par de resistores em paralelo, com resistência equivalente de 5 Ohms. Os valores de rotação, tensão e corrente sobre a carga encontrados são apresentados na Tabela 6:

Velocidade (rpm)	Tensão (V)	Corrente (A)	Potência dissipada na carga (W)	Velocidade (rpm)	Tensão (V)	Corrente (A)	Potência dissipada na carga (W)
0,00	0,00	0,00	0,00	384,90	6,58	1,31	8,64
46,90	0,71	0,14	0,10	385,90	6,00	1,22	7,29
88,00	1,55	0,31	0,49	413,80	6,26	1,25	7,83
225,20	3,42	0,68	2,32	439,40	6,62	1,32	8,75
234,20	3,39	0,68	2,29	451,70	6,93	1,39	9,61
235,20	3,43	0,68	2,34	462,00	7,38	1,48	10,89
289,50	4,46	0,89	3,96	470,40	7,39	1,48	10,92
301,40	4,53	0,91	4,11	495,60	7,75	1,60	12,38
348,10	5,29	1,05	5,58	522,40	7,98	1,60	12,76
360,20	5,44	1,00	5,46	542,00	8,34	1,69	14,07

Tabela 6 - Dados de ensaio: carga 5 Ω .

O autor (2019).

A potência gerada não apresentou grande magnitude, entretanto já era esperado após a verificação do nível de torque medido pela turbina. Entendeu-se que o torque do motor não era adequado, a configuração da turbina pedia um motor de menor torque, como apresentado no Gráfico 4:

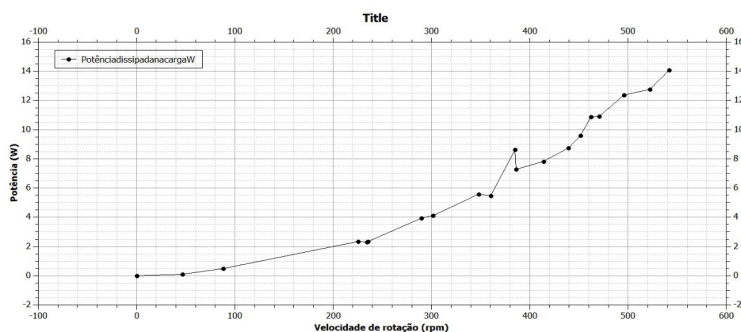


Gráfico 4 - Curva de potência - carga 5 Ω .

O autor (2019).

Mesmo não sendo o conjunto o ideal, a magnitude da corrente na vazão máxima foi 1,7 A, e a relação tensão pela rotação apresentava potencial de crescimento, a curva não mostrava saturação do gerado, como visto no Gráfico 5.

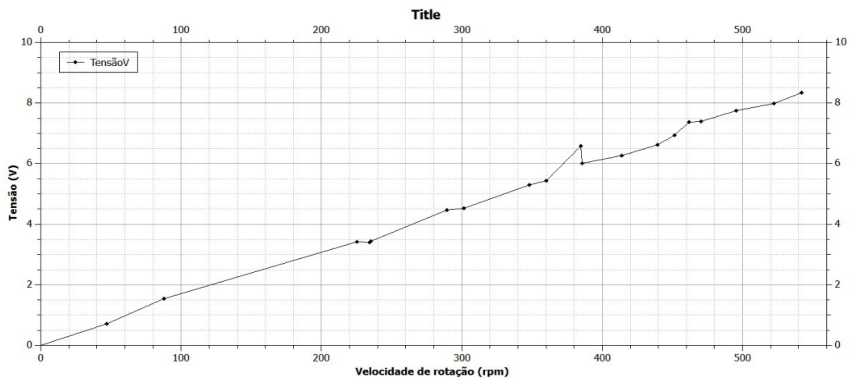


Gráfico 6 - Relação Tensão (V) x Rotação (rpm) - carga 5 Ω.

O autor (2019).

Os dados foram limitados pela vazão, 56 l/min, quando a possibilidade do setup era 100 l/min. A turbina não pôde ser levada à sua maior capacidade. O grupo turbina-gerador apresentou potência gerada de 14 W. Com as devidas adequações, no setup e na turbina, é esperada maior potência gerada, conforme calculado pela equação 3.22. Desta forma, o rendimento com carga de 5 Ω, na vazão de 56 l/min, conforme equação 4.28:

$$\eta = \frac{P_{G5\Omega}}{P} = \frac{14}{179,27} = 0,0781 = 7,81\% \quad (4.28)$$

η Rendimento (adimensional)

$P_{G5\Omega}$ Potência gerada com resistor 5Ω (W);

P Potência Ativa (W)

A execução do ensaio a vazio resultou em bom nível de tensão, na máxima vazão atingida pelo setup, o patamar alcançado de 45 Vcc é adequado para ligação em inversores já utilizados com sistema fotovoltaico. Uma vez que painéis em circuito aberto atingem tensões de 46,7 V (Sino Sola, modelo SA330-72P), e 38,4 V quando acoplado ao inversor. No ensaio com carga de 50 Ω foi atingido 32,2 Vcc, e corrente de 630 mA, resultando numa potência calculada de 20,3 W. Foi verificada a redução na velocidade de rotação, reflexo da força contra eletromotriz gerada pela corrente fornecida pelo gerador. Por sua vez, na aplicação do conceito de máxima transferência de potência, utilizando carga de 5 Ω, a força contra eletromotriz gerada foi maior, diminuindo a potência gerada. Os valores alcançados foram 8,34 Vcc e 1,68 A (14 W, potência calculada). Em função da alta carga inercial, somadas às perdas mecânicas e a limitação inesperada do setup, o rendimento resultou num

valor muito inferior ao esperado, em torno dos 11% para teste com carga de 50 Ω , e 7,8% com carga de 5 Ω . Os rendimentos calculados em função dos dados coletados (apresentados nas equações 27 e equação 28) indicam que a turbina estava sendo subexcitada. Maiores níveis de vazão aplicados na turbina, os mesmo para qual foi projetada, deverão expressar melhor rendimento final colaborando na viabilidade de sua aplicação como microgerador. Os dados indicam que: o uso de um grande intervalo de vazão para projetar a turbina resulta num sacrifício na qualidade da conversão energética. Entende-se que mais correto seria limitar o espectro de atuação da turbina, para uma faixa mais restrita, por exemplo, de 15 a 20 l/min (a turbina deste trabalho foi projetada para atuar de 13 l/min à 100 l/min).

5 | CONCLUSÃO

O torque gerado pela turbina foi de intensidade significativa, sendo prejudicado pela massa total dos discos sobre o eixo, bem como a restrição de vazão verificada nas medições, e excessiva vibração e desbalanceamento no eixo. O motor acoplado não era o mais indicado para a capacidade da turbina, mitigando a potência final produzida pelo grupo gerador. Detalhes de projeto como bico de injeção, área da seção de exaustão, regularidade dos discos, aplicação de outros materiais, como outras ligas metálicas mais leves, para eixo e discos, bem como rolamentos de melhor desempenho poderão melhorar a capacidade de geração, em diferentes níveis de vazão, contornando as limitações apontadas.

A capacidade de aproveitamento por meio deste tipo de turbina para a aplicação estuda apresenta-se viável, ainda que haja muitos pontos de melhoria nos aspectos construtivos e de eficiência para o conjunto Turbina de Tesla -Gerador. As formas de aplicação são inúmeras, e o crescente uso de inversores utilizados com painéis solares eleva o número de locais aplicáveis, uma vez que se apresenta como mais uma fonte de energia elétrica para um sistema de microgeração já em funcionamento. Grandes indústrias e condomínios com elevado consumo de água, e outros consumidores com tal perfil, poderiam se utilizar de mais esse modal para a elevação de produção energética em suas centrais de microgeração.

AGRADECIMENTOS

Aos Prof. Dr. Eloi Rufato Junior, pelo acolhimento da proposta e orientação, bem como pelos conhecimentos transferidos na elaboração de todo o trabalho.

Ao corpo de profissionais do LabCE (Laboratório de Compatibilidade Elétrica), Engenheiro, Técnico e estagiários pelo auxílio quando da montagem do modelo e execução dos ensaios, permitindo o importante estudo da parte prática.

Aos colegas e amigos Engenheiros César Ricardo Hubsch, Erison Carlos Oliveira, Matheus Brati Rossetto, ao técnico mecânico Albari Soares, pelo companheirismo e auxílio técnico prestados durante a prototipagem e montagem do modelo reduzido da Turbina de Tesla.

REFERÊNCIAS

ANEEL, 2012. **Resolução Normativa nº482 de abril de 2012:** Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>>. Acesso em: 10 de maio de 2017.

ANEEL, 2015. **Agência Nacional de Energia Elétrica:** tabela montante e despesas de perdas. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=801&idPerfil=4>>. Acesso em: 11 de maio de 2017.

ANEEL, 2016. **Brasil Ultrapassa 5 mil conexões de micro e minigeração:** Disponível em: <<http://rgrenergia.com.br/detalhesnoticia.php?id=172>>. Acesso em: 11 de maio de 2017.

BATISTA, J.C., **MICROGERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA (ABAIXO DE 100 kW) UTILIZANDO TURBINA TESLA MODIFICADA.** Tese para obtenção do título de Doutor em Engenharia Mecânica na área de Transmissão e Conversão de Energia. Universidade Estadual Paulista (UNESP) Campus Guaratinguetá, 2009.

CEPA, Centro de Ensino e Pesquisa Aplicada. **Turbina Pelton,** 1999. Disponível em: <<http://www.cepa.if.usp.br/energia/energia1999/Grupo2B/Hidraulica/turbina3.htm>>. Acesso em: 15 de setembro, 2017.

CHOON, T. W.; RAHMAN, A. A.; JER, F. S. **Optimization of Tesla Turbine Using Computational Fluid Dynamics Approach.** IEEE 2011 Symposium on Industrial Electronics and Application (ISIEA 2011), Langkawi, Malasia.

EVANGELISTA, A. W. P. **1.1.2 Propriedades Fundamentais dos Fluidos.** Material disciplinar. Universidade de Agronomia e Engenharia de Alimentos, Setor de Engenharia Rural. Disponível em: <https://www.agro.ufg.br/up/68/o/1.1.2__Propriedades_dos_fluidos.pdf>. Acesso em: 28 de setembro de 2018.

NECKEL, A.L., **INFLUÊNCIA DA GEOMETRIA SOBRE O RENDIMENTO DE BOCAIS INJETORES DE TURBINAS TESLA NO ESCOAMENTO COMPRESSIVEL SUPERSÔNICO.** Dissertação para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Processos. Universidade de Caxias do Sul, 2013.

PLACCO, G.M.; GUIMARÃES, L.N.F.; **CAMILLO, G.P. PARÂMETROS DE FUNCIONAMENTO DE UMA TURBINA DE TESLA.** VI CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA. Campina Grande – Paraíba, agosto de 2010.

ROCHA, G.V.B. da; GUIMARÃES, L.N.F.; PLACCO, G. G., **OTIMIZAÇÃO DE MATERIAIS PARA AS PARTES QUE COMPÕE UMA TURBINA TIPO TESLA.** International Nuclear Atlantic Conference (INAC). Salvador - Bahia, 2013.

RODRIGUES, L. E.M.J.; **Aula 10 – escoamento laminar e turbulento.** Material didático. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, São Paulo. Disponível em: <<http://www.engbrasil.eng.br/pp/mf/aula10.pdf>>. Acesso em: 27 de maio de 2019.

SILVA, B. L. A. **Levantamento do potencial energético e estudo da viabilidade econômica da geração hidroelétrica utilizando a rede pública de distribuição de água- estudo de caso: sistema de abastecimento de Pato Branco.** Dissertação de defesa do título parcial de mestre de engenharia elétrica UTFPR de pato branco, 2012

UNITED STATES PATENT' N°.1061206, 1913. **N. Tesla Turbine.** Lens Org - The Lens is a joint initiative of Cambia and Queensland University of Technology Disponível em: <https://www.lens.org/lens/patent/US_1061206_A>. Acesso em: 10 de maio, de 2017.

VIEIRA, A. L. **Motores elétricas e princípios de funcionamento.** Engenheiro agrícola Universidade Estadual Maringá, 2013.

CAPÍTULO 15

ESTUDO DO POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS POR DEJETOS BOVINOS

Data de aceite: 01/07/2020

Data de Submissão: 05/05/2020

Marcos Vinícius Konopka

Universidade Federal da Integração Latino-Americana
Foz do Iguaçu - Paraná
<http://lattes.cnpq.br/3607910304643163>

María Isabel Garcia Rodriguez

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colômbia
<http://lattes.cnpq.br/951070773485773>

Denis Porfirio Viveros Rodas

Universidade Federal da Integração Latino-Americana
Foz do Iguaçu - Paraná
<http://lattes.cnpq.br/6784497151927121>

Andreia Cristina Furtado

Universidade Federal da Integração Latino-Americana
Foz do Iguaçu - Paraná
<http://lattes.cnpq.br/0969254728157087>

RESUMO: A busca por fontes de energia renovável tem se tornado, cada vez mais, uma prioridade na sociedade. Analisando que, no Brasil a criação de gado é uma importante atividade econômica e muito presente em todo o território nacional, este trabalho foi desenvolvido a fim de estudar o quanto bem podem ser aproveitados os dejetos produzidos pela atividade pecuária, e assim produzir biogás utilizando uma planta piloto de biodigestão modelo batelada. Inicialmente foram definidas as melhores condições para a

produção do biogás a partir dos dejetos bovinos. Foi identificado que a ação das bactérias mesófilas, que trabalham sem contato com o oxigênio e a uma temperatura média de 37°C, é uma boa escolha, pois a faixa de temperatura em que trabalham é maior que outras bactérias, e o tempo para o início da produção é menor. Através da literatura foi definido a melhor relação para a diluição do dejetos para o processo de produção de metano. As amostras foram então preparadas e o processo foi iniciado. A temperatura dos reatores de digestão foi mantida a 37°C por um controlador de temperatura e ventiladores instalados no interior do sistema para homogeneizar a temperatura no interior do sistema de biodigestão. Foi feito um monitoramento constante dos reatores e dos gasômetros em que o biogás estava sendo armazenado. O processo teve duração de 79 dias. Observou-se um aumento progressivo na produção de gás a partir do 5º dia. A quantidade máxima de gás produzido foi de 1,64 litros, obtido após 30 dias do início do processo, com uma média de 0,056 litros por dia de gás. Após ser atingido o volume máximo o gasômetro foi esvaziado. Analisando o tempo que a amostra poderia continuar produzindo biogás, constatou-se que após 54 dias a produção começou a diminuir.

PALAVRAS-CHAVE: Biogás, biodigestão, metano, dejetos bovinos.

STUDY OF THE BIOGAS PRODUCTION FROM BOVINE MANURE

ABSTRACT: The search for renewable energy sources has increasingly become a priority in society. Take into consideration that in Brazil the livestock breeding is an important economic activity and very present throughout the national

territory, this work was developed in order to study how well the waste produced by livestock activity can be used, and thus produce biogas using a biodigester pilot plant. Initially were defined the best conditions to produce biogas from bovine manure. It was identified that the action of mesophilic bacteria, which work without contact with oxygen and at an average temperature of 37°C, is a good choice because the temperature range that they work and the time for production start is greater than another bacterium. A research in the literature was made to define the best relation for the dilution of manure for the methane production process, the samples were then prepared, and the process was started. To homogenize the temperature inside the biodigestion system, the digestion reactors was maintained at 37°C through a temperature controller and fans installed. The process took 79 days and during that period constant monitoring of the reactors and gasometers in which the biogas was being stored was carried out. There was a progressive increase in gas production from the 5th day and the maximum amount of gas produced was 1.64 liters that was obtained 30 days after the beginning of the process, with an average of 0.056 liters per day of gas. After reaching the maximum volume, the gasometer was emptied. Analyzing the time that the sample could continue producing biogas, it was verified that after 54 days the production started to decrease.

KEYWORDS: Biogas, biodigestion, methane, bovine manure.

1 | INTRODUÇÃO

É fato de que os problemas ambientais da atualidade têm como um dos motivos a desenfreada utilização de combustíveis fósseis, resultando em problemas como o agravamento do efeito estufa. A grande dependência desses recursos naturais e sua utilização como uma fonte de energia, e a sua futura escassez, podem resultar em um aumento dos custos da matriz energética (FURTADO, 2009).

Com isso, a busca por matrizes energéticas que não se esgotam, e a grande importância de utilização de combustíveis não poluentes, levaram o biogás a se transformar numa alternativa para a substituição das matrizes energéticas mais poluentes. No Brasil, a utilização do biogás tem crescido cada vez mais, segundo Campos (2005) a utilização desse tipo de energia reduz a demanda de combustíveis fósseis e permite que a energia produzida seja mais limpa e renovável.

O Brasil, por ter entre suas principais atividades comerciais a pecuária, possui um enorme potencial para a produção de biogás através da pecuária intensiva e a leiteira, por exemplo, em que nelas a concentração dos dejetos é muito mais fácil do que na extensiva, como também a criação de suínos e frangos, em que os animais ficam confinados e os seus dejetos podem ser melhor aproveitados. Nas três categorias o potencial de produção de biogás totaliza 15,5 milhões de metros cúbicos por dia no país (ZANETTE, 2009, pg. 51)

Segundo Karlsson et al (2014), o biogás sempre foi formado através da decomposição anaeróbia da matéria orgânica, mesmo quando ainda não era um objeto de estudo para a sociedade. Como por exemplo, a matéria orgânica degradada no fundo do oceano. E somente entre o final do século XIX e início do século XX a exploração da produção de biogás através da digestão anaeróbia foi iniciada.

A formação do biogás é dividida em várias etapas, ilustrada na Figura 1. A

primeira delas é a hidrólise onde substâncias menos complexas são decompostas como aminoácidos, açúcares e ácidos graxos (ROHSTOFFE, 2010). No segundo estágio, a acidogênese, os materiais hidrolisados são transformados em álcoois, cetonas, aldeído, hidrogênio, dióxido de carbono e em grande maioria ácidos orgânicos (MACHADO, 2016). A terceira etapa do processo de digestão anaeróbia é a acetogênese, nesse estágio as bactérias acetogênicas precisam estar trabalhando juntas com as bactérias da metanogênese, pois elas produzem muito hidrogênio, o que pode prejudicar a produção de metano (ROHSTOFFE, 2010), além também de produzirem o ácido acético e dióxido de carbono. A quarta e última etapa é a metanogênese, onde as arqueas metanogênicas são responsáveis pela transformação dos produtos da acetogênese em metano e dióxido de carbono. As arqueas metanogênicas se dividem em hydrogenotróficas, que produzem metano a partir da reação do hidrogênio e dióxido de carbono da etapa anterior, e acetoclásticas, que promovem a redução do ácido acético (ROHSTOFFE, 2010).

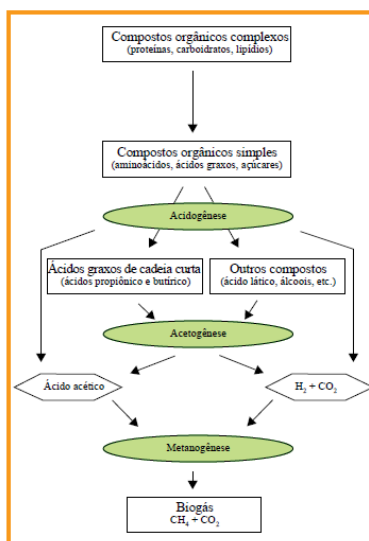


Figura 1 – Esquema da decomposição anaeróbia (ROHSTOFFE, 2010).

Durante a produção do metano há também a produção de sulfeto de hidrogênio (H_2S), através da competição entre as bactérias redutoras de sulfato e as bactérias acetogênicas e metanogênicas. Isso pela capacidade das redutoras de sulfeto de utilizar o acetato e hidrogênio para produção do sulfeto de hidrogênio (MACHADO, 2016). Quando o gás é utilizado em motores à combustão é necessário realizar dessulfurização do biogás.

A escolha da temperatura utilizada para a digestão anaeróbia está diretamente ligada com a produção. Na digestão, utilizando as bactérias mesofílicas, a faixa de temperatura é de $20^{\circ}C$ a $40^{\circ}C$, e para Karlsson et al (2014), o melhor rendimento de produção está acima de $32^{\circ}C$ e a temperatura ideal para produção do metano é

entre 35°C e 37°C.

São três tipos de alimentação de biodigestores, sendo eles o de alimentação contínua, o de alimentação semi-contínua e o de batelada. Neste o substrato é adicionado de toda uma vez, e o biodigestor é totalmente fechado. O gás é produzido e armazenado em um gasômetro ligado à câmara digestora. Depois da batelada ele é esvaziado e o processo é reiniciado (ALVES, INOUE, BORGES, 2010).

2 | METODOLOGIA

Para a realização do estudo, foi utilizado uma planta piloto de um biodigestor em batelada, construído através de materiais recicláveis. O biodigestor possui seis reatores com o capacidade de 3 litros e outros seis reatores com capacidade de 1,5 litros, demonstrado na Figura 2.

Foram utilizados dejetos bovinos de vaca leiteira. Para a preparação da solução para carga dos reatores foi utilizado a proporção de 4 partes de dejetos para 5 partes de água, utilizando setenta e cinco por cento da capacidade dos reatores. Para a preparação da solução foi utilizada uma espátula, uma balança semi-analítica e uma proveta de 1 litro. Foram utilizados apenas os reatores de 1,5 litros. Para a preparação da solução de cada reator, pesou-se 666,67 g de dejetos para a carga dos reatores, e aferido na proveta 833,34 mL de água, depois a solução foi homogeneizada. Depois de preparada a solução, carregou-se o reator com setenta e cinco por cento de sua capacidade. O procedimento todo foi realizado em triplicata e depois calculado a média dos resultados obtidos.



Figura 2 – Interior do biodigestor com os reatores

Os reatores foram colocados no biodigestor, o set point do termostato foi regulado em 37°C, já que foi escolhido trabalhar com as bactérias mesofílicas. O substrato foi mantido em retenção hidráulica por 79 dias. Durante esse período foi monitorado a temperatura dos reatores com o auxílio de um termômetro de

infravermelho.

Depois de o gás ser produzido, ele foi transportado por meio de mangueiras e armazenado nos gasômetros demonstrados na Figura 3. O volume de gás produzido foi monitorado através das marcações de volumes dos gasômetros. Além disso, a análise da composição do biogás foi feita com um Dräger X-am 7000.



Figura 3 – Mangueiras de transporte de gás e gasômetros

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante o período de retenção hidráulica, a temperatura dentro do biodigestor foi controlada através de ventilação por meio de micro ventiladores. Mesmo com isso, foi observado uma pequena variação na temperatura como demonstrado na Tabela 1 e o gráfico da variação na Figura 4. A variação da temperatura é causada pelo biodigestor que, durante a realização da batelada, esteve em área externa, sofrendo a influência da temperatura do ambiente. Contudo, mesmo com a variação, a temperatura foi mantida na faixa apropriada para a produção do biogás.

Dias a partir do início da retenção hidráulica	Temperatura em cada dia de medição
0	35,8
3	37,2
5	37,8
7	37,6
9	37,0
12	37,9
17	36,8

22	37,0
30	37,8
34	37,5
38	38,2
42	37,3
49	37,2
54	37,0
57	37,0
Dias a partir do início da retenção hidráulica	Temperatura em cada dia de medição
62	37,8
66	38,2
70	38,5
72	37,9
75	37,2

Tabela 1 - Valor da temperatura em cada dia de medição a partir do início de retenção.

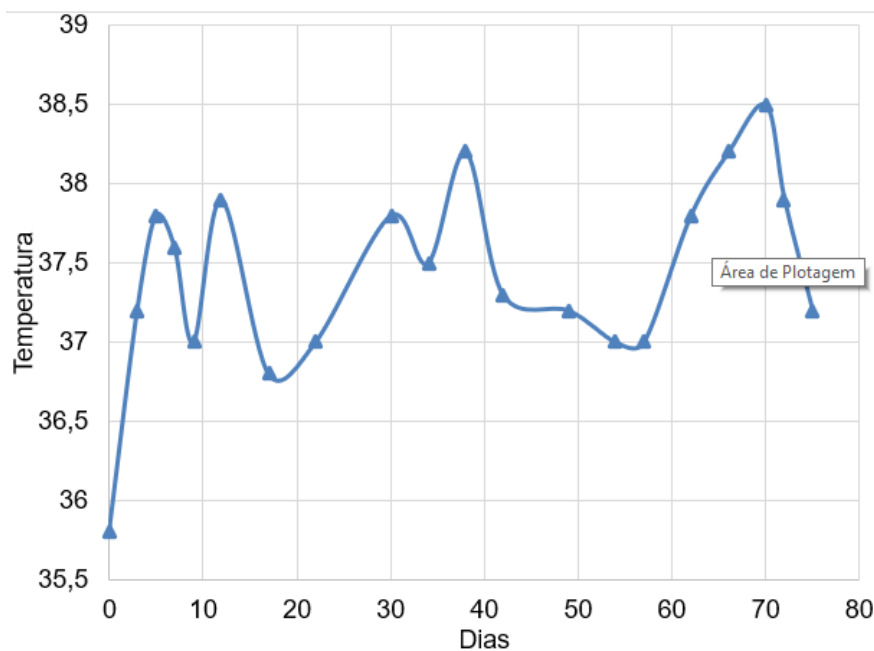


Figura 4 - Gráfico da variação da temperatura X dias desde o início da retenção.

A produção de biogás foi perceptível a partir do quinto dia de retenção hidráulica, com a produção de 0,0117 mL de gás. Após o sétimo dia de retenção, foi analisado um crescimento exponencial da produção de gás. Quando os gasômetros

atingiram sua capacidade máxima, foram esvaziados. Para a construção do gráfico da Figura 5, foi feito um somatório dos valores de produção de cada gasômetro e calculado a média. Após 38 dias, determinou-se a produção máxima de biogás, como fala na literatura, com produção total de 2,34 litros de gás.

Após os 38 dias, foi analisado que o substrato estava decaindo sua produção de biogás, então o gasômetro era esvaziado após um período, e repetido isso até sua produção mínima, aos 54 dias e aos 79 dias a batelada foi encerrada. Foi calculada a média de produção diária com os dois valores totais de gás produzido. A média diária de gás produzido foi de 0,056 litros.

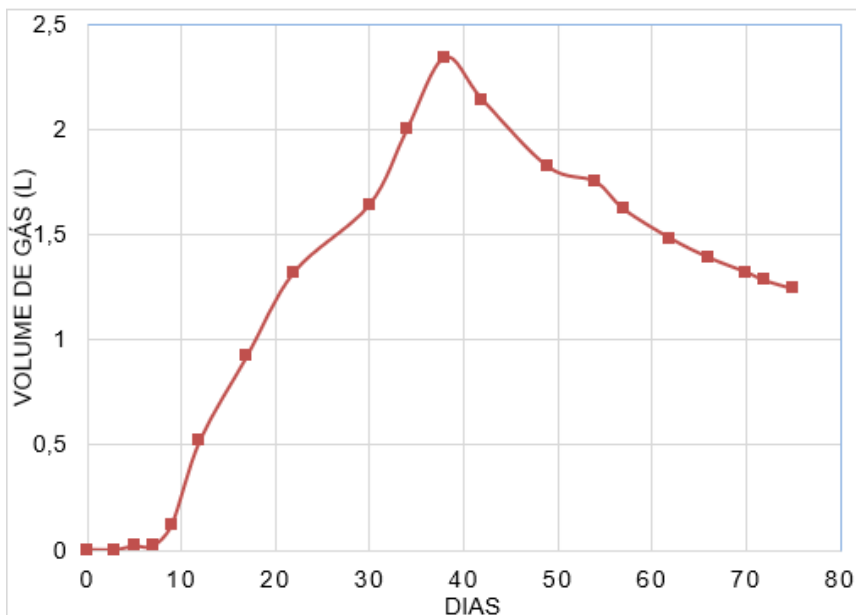


Figura 5 - Gráfico da variação da temperatura X dias desde o início da retenção.

Foram feitas 5 análises da composição do biogás produzido com o equipamento Dräger X-am 7000. Os dados obtidos estão na Tabela 2 e o gráfico construído a partir deles, na Figura 6. É possível perceber que na primeira análise a quantidade de metano (CH_4) foi de 28%, e depois crescendo nas outras três análises e atingindo sua composição máxima de 50%.

Dias a partir do início da retenção hidráulica	CH4	CO2	O2	ppm H2
22	28,0%	18,8%	6,0%	45
30	45,0%	14,5%	3,2%	30
34	47,0%	12,0%	4,6%	25
38	50,0%	4,5%	3,2%	12
42	50,0%	4,3%	2,5%	9

Tabela 2 – Composição do biogás medido com o equipamento Dräger X-am 7000

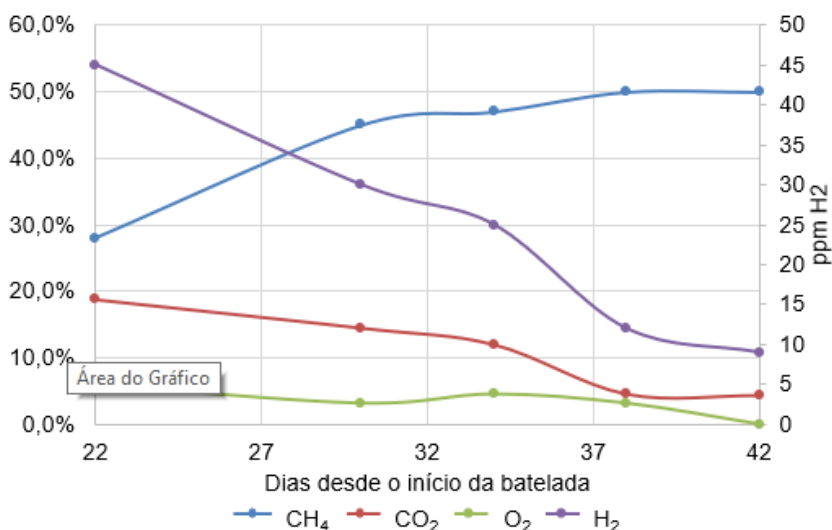


Figura 6 – Gráfico da composição das 5 análises feitas do biogás produzido

Durante a análise da Figura 6 é possível perceber que pelo aumento da porcentagem de CH_4 na amostra, o gás produzido é caracterizado como biogás. A diminuição da porcentagem de oxigênio (O_2), é devido as bactérias mesofílicas, já que elas utilizam o oxigênio como oxidante do substrato e assim o consomem. E a diminuição tanto do CO_2 , como do H_2 é causada por causa da fermentação das bactérias metanogênicas.

Em nenhum momento foi detectado a presença de sulfeto de hidrogênio (H_2S), quando está presente faz com que seja necessária a purificação do biogás. Já nesse caso pode ser considerado como um gás puro, sem a produção de H_2S .

4 | CONCLUSÃO

Através dos resultados obtidos, é possível concluir que o dejetos bovino tem grande potencial de produção de biogás. O tempo de produção foi estimado pela literatura, com produção máxima no tempo de retenção hidráulica de 38 dias e média diária de 0,056 litros de biogás. Mesmo havendo uma variação na temperatura, esta não influenciou a produção e se manteve na faixa programada. Além disso, a composição do gás se apresentou com alto teor de metano e declínio da disponibilidade de oxigênio, e também sem a presença do Sulfeto de Hidrogênio (H_2S), não sendo necessária a dessulfurização do biogás.

REFERÊNCIAS

ALVES, E.E.N.; INOUE, K.R.A.; BORGES, A.C. **Biodigestores: construção, operação e usos do biogás e do biofertilizante visando a sustentabilidade das propriedades rurais**. II Simpósio Brasileiro de Agropecuária Sustentável, Universidade Federal de Viçosa-Viçosa/mg, p. 6-6, 2010.

CAMPOS, A.F. **A reestruturação da Indústria do Petróleo Sulamericana nos anos 90**. Rio de Janeiro, 2005.

FURTADO, A.C. **Síntese e avaliação de catalisadores para a produção de hidrogênio a partir das reações de reforma com vapor d' água e reforma oxidativa do etanol**. Tese (Doutorado em Engenharia Química). Universidade Estadual de Maringá: Maringá, 2009

MACHADO, G.B. **Geração e Aproveitamento Energético do Biogás**. Projeto PROBIOGÁS, 2016.

ROHSTOFFE, F.N. **Guia prático do biogás: geração e utilização**. Ministério da Nutrição Agricultura e Defesa do Consumidor da Alemanha. Gülzow, Alemanha, 2010.

KARLSSON, T. et al. **Manual básico de biogás**. Lajeado: Editora da Univates, 2014.

ZANETTE, A.L. **Potencial de aproveitamento energético do biogás no Brasil**. Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2009.

CAPÍTULO 16

ESTUDO PARA CONTROLE DE EMPENAMENTO EM PEÇAS INDUSTRIAIS TEMPERADAS

Data de aceite: 01/07/2020

João Alfredo Scheidemantel

Faculdade Leonardo da Vinci, Brasil. E-mail: joaoscheidemantel@hotmail.com

Christian Doré

Faculdade Leonardo da Vinci, Brasil. E-mail: chrisdore_2@yahoo.com.br

Lucile Cecília Peruzzo

Faculdade Leonardo da Vinci, Brasil. E-mail: lceciliap@hotmail.com

RESUMO: Considerando que todo o processo de fabricação inclui tensões residuais, quanto mais operações necessárias, maiores são as probabilidades de se obter empenamento no componente. Dessa forma, objetivando reduzir a inclusão de tensões superficiais e internas, procurou-se identificar qual a etapa mais crítica e, por conseguinte, agir com possibilidades preventivas viáveis e sem custos relevantes para a prevenção do problema encontrado. Para mensurar a sua tensão e definir qual o processo em que se caracteriza a maior inclusão de tensões residuais trativas, sendo estas deletérias, utilizou-se o método de medição de tensões residuais por difração de raios X. Nesse sentido, diante dos resultados expostos, comprovou-se que a usinagem é a operação de maior solicitação ao componente. Visto que os processos posteriores somente agravam esta condição, resultando em um componente inutilizável para a aplicação proposta sem a inclusão de um maior custo ao produto, pelo uso de procedimentos de retrabalho ou refugo.

PALAVRAS-CHAVE: operações; tensões residuais trativas; empenamento; difração de raios X; usinagem.

STUDY FOR CONTROL OF DIMENSIONAL DISTORTION IN TEMPERED INDUSTRIAL PARTS

ABSTRACT: Since the entire manufacturing process includes residual stresses, the more operations required, the bigger the probabilities of warping the component. Thus, in order to reduce the inclusion of superficial and internal stresses, it was sought to identify the most critical stage and, therefore, to act with feasible preventive possibilities and without relevant costs for the prevention of the problem encountered. In order to measure its stress and define the process in which the highest inclusion of residual traction stresses is characterized, being these deleterious ones, the method of measurement of residual tensions by X-ray diffraction. In this sense, given the results, it has been proven that machining is the most critical operation of the component. Since the subsequent processes only aggravate this condition, resulting in an unusable component for the proposed application without the inclusion of a higher cost to the product, with a rework or scrap procedures.

KEYWORDS: operations; residual traction stresses; warping; X-ray diffraction; machining.

1 | INTRODUÇÃO

A inovação é algo intrínseco em indústrias que se mantêm no topo do mercado, estimulando o desenvolvimento de ferramentas, máquinas e componentes com novos materiais, geometrias, revestimentos, entre outros diversos fatores que são destinados a aplicações específicas.

A grande variação de materiais e geometrias para atendimento de vastas aplicações possibilitam o surgimento de tensões internas e residuais que, por algum processo de usinagem, conformação mecânica, tratamento térmico ou outros, possam causar distorções que inviabilizam a sua utilização.

De acordo com o processo de fabricação aplicado, existem condições extremas que agem diretamente nas propriedades químicas e mecânicas do componente, resultando em uma perda significativa na resistência do material influenciada por tensões residuais e internas. As tensões residuais são uma resposta elástica do material a uma ordenação heterogênea de deformações não elásticas, como deformações plásticas ou devido à dilatação térmica, transformação de fase, precipitações, entre outros^[1], facilitando a ocorrência da fragilização e falha do componente. Por esta razão que o conhecimento e estudo do comportamento das tensões residuais nos materiais tem grande importância^[2].

Durante o processo de fabricação, há diversas resultantes da extrapolação do limite de escoamento do material, sendo uma destas, a distorção dimensional. A norma DIN 17014-3 define que a distorção é a resultante da soma das alterações evitáveis e inevitáveis do processo^[3]. Dessa forma, tornam-se “necessárias subetapas de fabricação para a realização de endireitamentos e desempenamentos de componentes”^[4], que agregam custos desnecessários ao produto final por meio de processos de retrabalho^[5].

Considerando que serão fabricados dois corpos de prova, sabe-se que ambos terão processos de usinagem e tratamento térmico de têmpera. No processo de fabricação do primeiro corpo de prova, serão considerados uma operação de usinagem mais agressiva e uma etapa de tratamento térmico de alívio de tensões, além da têmpera, com o intuito de homogeneizar a microestrutura do material e, por conseguinte, as suas tensões internas e residuais^[6]. Logo, será possível evitar a ocorrência de novas discordâncias neste componente após a têmpera. Enquanto isso, o processo de fabricação do segundo corpo de prova será mantido nos parâmetros usuais, para simular uma situação real e compara-la ao resultado da proposta anteriormente descrita, com a inclusão do alívio de tensões.

Levando em consideração os aspectos mencionados, a tensão residual originar-se-á do método de difração de raios X, sendo este o método mais preciso e confiável na indústria para análises deste segmento.

O trabalho será seccionado entre a metodologia aplicada e resultados obtidos por meio dos testes. Dentre os dados abordados, a metodologia relacionará qual será o processo de fabricação para os corpos de prova A e B e os processos de medição por difração de raios X. Adiante, serão mencionados os resultados determinados pelo método de análise das tensões escolhido, comparando a condição atual e a proposta exposta.

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

É inegável que as distorções evitáveis ocasionadas durante o processo de fabricação de um componente, se tornam um agravante nos quesitos custo e produtividade. Com finalidade de determinar qual é o processo de fabricação que mais tem influência nas distorções dimensionais no produto, foram abordados dois tipos de tratativas em dois corpos de prova distintos fabricados em AISI 4140 e denominados na Tabela 1.

Corpo de prova	Definição
A	Processo de fabricação real
B	Processo de fabricação alterado

Tabela 1. Denominação dos corpos de prova A e B.

Fonte: elaboração própria.

Por meio da análise de sua microestrutura (análise metalográfica) e sua caracterização atômica e molecular (análise por difração de raios X), foram analisados quais processos se caracterizam deletérios ao produto final, quando considerado as distorções dimensionais. O processo de fabricação e testes dos corpos de prova A e B podem ser visualizados nas Tabela 2 e 3.

Seq.	Processo de fabricação/testes
1	Análise metalográfica
2	Serramento
3	Torneamento (desbaste)
4	Medição das tensões por difração de raios X
5	Torneamento do perfil (acabamento)
6	Tratamento térmico de têmpera
7	Medição das tensões por difração de raios X

Tabela 2. Processo de fabricação dos corpos de prova A.

Fonte: elaboração própria.

Seq.	Processo de fabricação/testes
1	Análise metalográfica
2	Serramento
3	Torneamento (desbaste)
4	Torneamento do perfil (acabamento)
5	Medição das tensões por difração de raios X
6	Tratamento térmico de recozimento
7	Tratamento térmico de têmpera
8	Medição das tensões por difração de raios X

Tabela 3. Processo de fabricação dos corpos de prova B.

Fonte: elaboração própria.

Os ensaios de difração de raios X foram realizados em um difratômetro Panalytical modelo Empyrean (Figura 1), com fonte de cromo ($\lambda = 2,291062 \text{ \AA}$), voltagem de 35 kV e corrente de 40 mA. O ensaio foi realizado no laboratório de Tecnologia e Caracterização Mecânica (LATECME), localizado no Senai de Joinville em Santa Catarina, Brasil. A fim de definir o plano cristalográfico, o pico de maior intensidade está na posição dos planos h, k e l (plano 112, no índice de Miller)^[7].



Figura 1. Difratômetro Panalytical Empyrean^[8].

Para realização da análise metalográfica, foi utilizado um corpo de prova extraído do mesmo lote utilizado para fabricação dos corpos de prova A e B, com 15 mm de diâmetro e espessura de 10 mm. O corpo de prova bruto foi cortado, lixado, polido e atacado com um reagente químico, de modo a revelar as interfaces entre os constituintes do material. O ensaio de microscopia foi realizado com auxílio de um microscópio óptico Olympus – modelo BX53M.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Análise do material beneficiado

A análise metalográfica foi realizada para identificar se existem pontos de heterogeneidade no material. A homogeneidade é um dos pontos necessários para a minimização da interferência da variável matéria-prima na distorção dos produtos^[9].

Portanto, o controle do processo da produção do aço e de sua homogeneidade desempenha papel importante não apenas na geração de um produto que satisfaça as exigências mecânicas, mas também que minimize as possibilidades de distorção dimensional^[10].

Na região da superfície analisada na Figura 2, pode-se constatar que existe decarbonetação associada ao processo de laminação para a produção da barra analisada. A ausência de carbono na região imediatamente próxima a superfície impediu a formação de martensita. Pode ser constatado que a microestrutura retratada segue um modelo típico para o aço SAE 4140 beneficiado, onde a presença de finas agulhas de martensita revenida se torna evidente. Vale ressaltar que ambos corpos de prova foram retirados do mesmo lote de material bruto, estendendo as análises metalográficas à ambos corpos de prova.

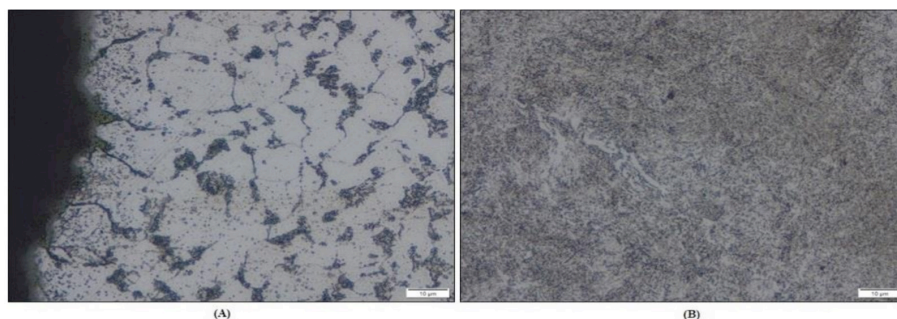


Figura 2. (A) Microscopia óptica da superfície do corpo de prova, corte transversal. Aumento 1000x. (B) Microscopia óptica do núcleo do corpo de prova, corte transversal. Aumento 1000x.

Fonte: elaboração própria.

3.2 Ação dos processos de usinagem

A determinação de tensão gerada nos processos de usinagem foi analisada por meio da difração de raios X, aplicada após o processo de usinagem para desbaste, no corpo de prova A indicada na Figura 3 (A) e após a usinagem do perfil no corpo de prova B indicada na Figura 3 (B).

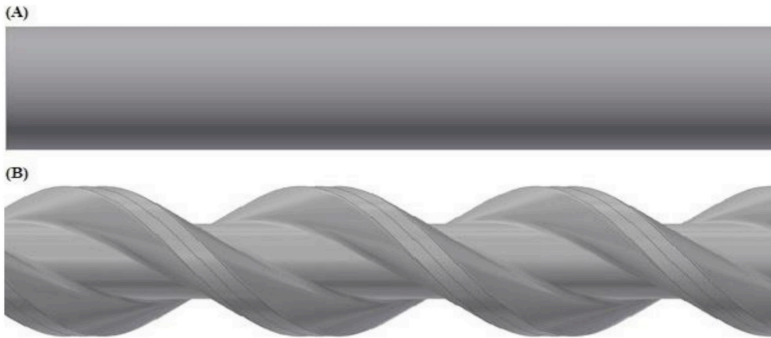


Figura 3. (A) Representação do corpo de prova A, após o processo de torneamento para desbaste. (B) Representação do corpo de prova B, após o processo de torneamento para usinagem do perfil.

Fonte: elaboração própria.

A deformação causada na superfície foi mensurada por meio da difração de raios X, pela razão da variação da distância livre de deformação pela distância interplanar. A distância interplanar representada como “d” na Figura 4 é convertida em tensão, segundo equações da teoria da elasticidade^[11], ou seja, “a variação da distância entre planos cristalinos, induzida pela presença de tensões, é medida com base na Lei de Bragg (Equação 1)”^[12].

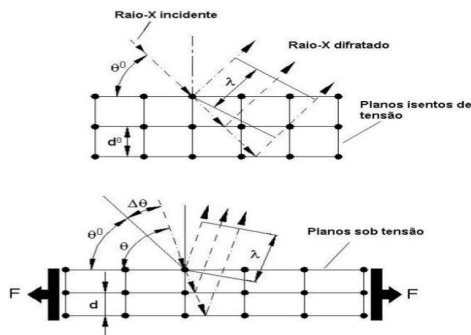


Figura 4. Difração de raios X em cristais simples carregados e descarregados^[13].

$$n\lambda = 2d \cdot \text{sen } \theta \quad (1)$$

Para definição do plano cristalográfico e coordenada do ponto a ser analisado, foi considerado que o pico de maior intensidade aplicável ao estudo está na posição do plano cristalográfico h, k e l (tipo de índice de Miller), plano 112^[6].

Para realização dos processos de difração de raios X, a fonte utilizada foi de Cromo (Cr - λ 2,291062 Å). A fonte de cromo foi designada eficiente em amostras que contém molibdênio (Mo)^[14].

Para determinação dos valores de tensão residual nas amostras, sabe-se que a tensão residual é proporcional à derivada de 2θ em função de $\text{sen}^2 \psi$, como descreve a Lei de Bragg. Por meio das equações derivadas da teoria da elasticidade, foi possível calcular as tensões. Com base na deformação definida pela tensometria de difração de raios X, a Tabela 4 apresenta os valores calculados nas direções transversal e longitudinal para o corpo de prova A^[15].

Diante dos dados abordados na Tabela 4, é possível verificar que ambas as direções possuem um valor indicando o comportamento trativo, interferindo negativamente nas propriedades mecânicas e aumentando a possibilidade de surgimento de deformações e defeitos superficiais^[16].

Phi (°)	SigmaPhi (MPa)	Desvio padrão (MPa)
0	+495,7	53,7
90	+414,7	15,1

Tabela 4. Resultado da caracterização de tensões residuais para o corpo de prova A após usinagem para desbaste.

Fonte: elaboração própria.

O difratograma resultante do ensaio realizado no corpo de prova B na direção de 0°, pode ser visualizado na Figura 5. O eixo da abcissa descreve a angulação de influência dos raios X. Constatase que o pico atingido foi de aproximadamente 156,384°, definido pela Lei de Bragg, pico de intensidade este devido ao plano 112.

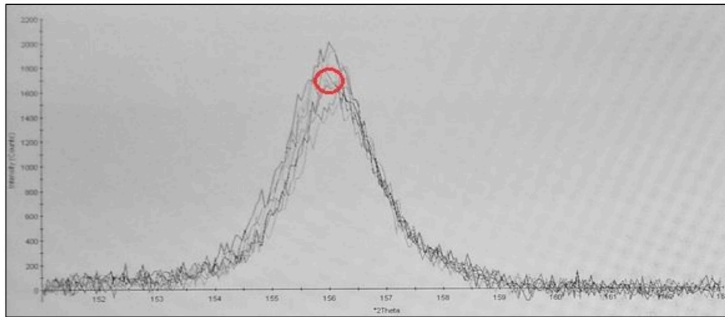


Figura 5. Difratoograma de raios X do aço SAE 4140 submetido a usinagem do perfil (corpo de prova B).

Fonte: elaboração própria.

Desta forma, o ângulo de aproximadamente 156° , influenciado pelo plano h, k e l determinado anteriormente para a análise, descreve um comportamento típico de aços compostos por cromo e molibdênio. Para a faixa de varredura, foi utilizado 12 graus, com um intervalo de medição de $0,05^\circ$. E o eixo das ordenadas relaciona a intensidade de reflexão para cada angulação definida.

Contudo, a Tabela 5 apresenta os valores das tensões residuais calculados nas direções transversal e longitudinal para o corpo de prova B. É possível constatar que após a usinagem do perfil, os valores de tensões residuais nas duas direções se tornaram predominantemente compressivos.

Phi ($^\circ$)	SigmaPhi (MPa)	Desvio padrão (MPa)
0	-142,4	13,0
90	-58,4	7,8

Tabela 5. Resultado da caracterização de tensões residuais para a corpo de prova B após usinagem do perfil.

Fonte: elaboração própria.

Pode-se concluir, portanto que, considerando os resultados obtidos e relatados nas Tabela 4 e 5, mesmo considerando o valor de desvio padrão mais próximo de ambos, têm-se uma variação de aproximadamente 571 MPa de tensões concentradas na superfície no sentido longitudinal e 450 MPa no sentido transversal. Valor este que, com a máxima variação diante do desvio padrão exposto, pode alcançar 705 MPa no sentido longitudinal e 496 MPa no sentido transversal, fator este bastante preocupante, considerando que a tensão de escoamento do aço AISI 4140 é aproximada em 417 MPa^[17].

Para as condições de usinagem empregadas, observa-se que o processo de usinagem, principalmente a operação para geração do perfil, são deletérias à

integridade superficial. Considerando que, para o corpo de prova B, o comportamento das tensões se tornara compressivas, ou seja, menos “prejudiciais” em relação às tratativas, da mesma forma, teve-se uma variação de uma média de 638 MPa para a sua tensão residual no sentido longitudinal e, 473 MPa no sentido transversal. A tensão sobressalente, além de favorecer o surgimento da deformação plástica durante o processo de fabricação, pode induzir as peças a um empenamento quase que previsível após o tratamento térmico de têmpera.

Para análise dos processos de usinagem, considerando que o objetivo é identificar o processo gerador de tensões sobressalentes, não foram alterados os parâmetros usualmente utilizados para a retirada do material, tendo assim uma projeção de uma situação real na produção. Dessa forma, os parâmetros de usinagem utilizados não serão mencionados.

3.2.1 Ação dos processos de tratamentos térmicos

No tratamento térmico de têmpera, foi induzido cerca de 950°C em aproximadamente 10 segundos, tempo necessário para que a bobina percorra todo o perímetro dos corpos de prova. Dessa forma, imediatamente ao aquecimento a peça foi resfriada em uma solução de água para obtenção da sua dureza especificada.

Durante o processo de solidificação das estruturas cristalinas, a superfície contém um resfriamento diferente ao do núcleo. Essa discrepância entre as camadas influencia na formação de grãos com geometrias e tamanhos diferenciados, facilitando o surgimento de tensões não desejadas na estrutura do aço^[18].

A Tabela 6 descreve os resultados obtidos pela medição por difração de raios X, no corpo de prova B no qual aplicou-se o processo tradicional explanado. Percebe-se que os valores tiveram uma variação notável, sabendo que na direção de 0°, no ponto analisado, o corpo de prova obteve -566,1 MPa em comportamento compressivo e -399,3 MPa ainda no estado de tensão compressiva. Logo para a direção de 90°, a tensão residual mensurada tendeu ao estado trativo em sua pior condição. O valor mínimo e máximo para esta condição segue, respectivamente como, -245 MPa e +257 MPa. Ainda assim, considerando a pior situação, a tensão intrínseca na superfície pode superar os 823 MPa entre as direções longitudinais e transversais. Um componente com tal comportamento tende a falhar em solicitações cíclicas e constantes.

Phi (°)	SigmaPhi (MPa)	Desvio padrão (MPa)
0	-482,7	83,4
90	+6,0	251,0

Tabela 6. Resultado da caracterização de tensões residuais para o corpo de prova A após tratamento térmico de têmpera.

Fonte: elaboração própria.

Tendo em vista os dados expostos na Tabela 7, conclui-se que o corpo de prova B, no qual foi intensificado as ações de prevenção das distorções evitáveis, teve-se uma variação bem menor em relação ao outro corpo de prova, na mesma etapa. A sua tensão residual máxima e mínima, respectivamente, foram mensuradas em -334,8 MPa e -39 MPa, considerando o desvio padrão relacionado, com uma variação máxima de 295,8 MPa entre as direções analisadas.

Phi (°)	SigmaPhi (MPa)	Desvio padrão (MPa)
0	-223,6	111,2
90	-145,9	106,9

Tabela 7. Resultado da caracterização de tensões residuais para o corpo de prova B após tratamento térmico de têmpera.

Fonte: elaboração própria.

Tendo em vista os dados observados, o alívio de tensões auxiliou na homogeneização da estrutura cristalina, com a redução das tensões retidas na superfície nos pontos analisados. Ainda assim, as tensões obtidas caracterizam um material com comportamento compressivo, que dificulta a propagação de trincas em solicitações por fadiga^[19].

Quanto maior a tensão residual mensurada, maior a sua exposição para fatores como aumento do atrito, aumento da corrosão, aumento da fragilidade entre outros. Parâmetros estes que são intensificados em condições de tensões residuais tratativas. Contudo, o corpo de prova B obteve uma variação admissível de tensões intrínsecas em sua superfície, ainda assim no comportamento compressivo^[20].

4 | CONCLUSÕES

Neste trabalho, compararam-se características que influenciam nas tensões agregadas na matéria-prima, usinagem (desbaste e acabamento) e tratamentos térmicos em corpos de prova fabricados em aço cromo molibdênio (AISI 4140).

Com relação a matéria prima, pode-se afirmar que uma microestrutura heterogênea influencia as etapas de fabricação posteriores, com distorções evitáveis e outros fatores deletérios originados por tensões sobressalentes.

Considerando os processos de usinagem, são notórias as diferenças de tensões obtidas nas fases de desbaste (pré-usinagem) e a usinagem de acabamento (geração da helicóide), onde a diferença de tensões se aproximou à 705 MPa, ou seja, aproximadamente 60% superior ao limite de escoamento do material. Dessa forma, tornando a usinagem o principal gerador de tensões residuais também induzido pelo avanço e profundidade de corte durante o processo^[21].

De modo que comprovada a ação da usinagem, o processo de tratamento térmico de recozimento mostrou-se eficaz para alívio das tensões do material do corpo de prova B anteriormente ao tratamento térmico de têmpera, caracterizando

um comportamento compressivo, dificultando a propagação de trincas em solicitações por fadiga em aplicações posteriores. Contudo, o corpo de prova A, no qual não foi aplicado nenhum tratamento para alívio das tensões, apresentou um comportamento trativo, caracterizado por apresentar falhas em solicitações cíclicas.

REFERÊNCIAS

1. J.L. Fernandes. “Análise e modelagem de tensões residuais em juntas soldadas”. Tese (doutorado). Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro: Rio de Janeiro, 2002. p. 11.
2. D.C. Carmo. “Análise de tensões por ultrassom em barra de aço sob flexão”. Dissertação (pós-graduação). Universidade Federal do Rio de Janeiro: Rio de Janeiro, 2006.
3. Deutsches Institut für Normung. “DIN 17014-3: Heat treatment of ferrous materials; notation to indicate heat treatment processes”. Berlin, 1976.
4. R.M. Menezes. “Análise de tensões residuais no processo de trefilação combinada do aço AISI 1048 visando minimizar distorções pós processamento”. Dissertação (mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul: Porto Alegre, 2008. p. 11.
5. H.W. Zoch. “From single production step to entire process chain – The global approach of distortion engineering”. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. Bremen, 2006.
6. R. Suterio. “Medição de tensões residuais por endentação associada à holografia eletrônica”. Tese (doutorado). Universidade Federal de Santa Catarina: Florianópolis, 2005.
7. P.G. Gallardo, O. Izarra, L. Méndez, S. Torres, M. Quintero, H. Cabrera, E.P. Cappé, I.Z. Dubé, A. Rodríguez, J.A. Aitken, D.P. Rai. “Preparation and characterization of $(\text{Cu}_{1-x}\text{Ta}_x)_2$ solid solutions ($0 < x < 1$)”. Journal of Alloys and Compounds, Elsevier B.V. p. 176-188, 2018.
8. Panalytical Empyrean. Empyrean: a solução multifuncional para suas necessidades analíticas. Disponível em: <http://www.panalytical.pt/Empyrean.htm>.
9. C. Cui, U. Fritsching, A. Schulz, K. Bauckhage, P. Mayr. “Spray forming of homogeneous bearing steel of minimized distortion potential”. Materials Science Forum v. 475 – 479. Switzerland: Trans Tech Publications.
10. E.S. Alencar. “Análise de distorções dimensionais em anéis de rolamento no tratamento térmico em fornos de esteira contínuos”. Dissertação (mestrado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo: São Paulo, 2009.
11. N.B. Lima. “Influência da textura em medidas de tensão residual”. Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares. Universidade de São Paulo: São Paulo, 1991.
12. N.P.S. Barbosa, R.R. Souza. “Análise das tensões residuais geradas no torneamento em altas velocidades de um aço SAE 4140”. Monografia (bacharelado). Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca: Rio de Janeiro, 2016. p. 22.
13. E. Brinksmeier, J.T. Cammett, W. König, P. Leskovar, J. Peters, H.K. Tönshoff. “Residual Stresses – Measurement and causes in machining”. v. 31. Elsevier. Annals of the CIRP, 1982.
14. C.G. Shull, M.K. Wilkinson. “Neutron Diffraction Studies of Various Transition Elements”. Oak Ridge National Laboratory: Tennessee, 1953.

15. P. Prev y. "Current Applications of X-ray diffraction - Residual Stress Measurement". ASM International - Developments in Materials Characterization Technologies. Columbus, 1996.
16. R.M. Menezes. "Análise de tensões residuais no processo de trefila o combinada do aço AISI 1048 visando minimizar distor es pós processamento". Disserta o (mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul: Porto Alegre, 2008.
17. M.A.C. Rocha, S.S.M. Tavares, M.P.C. Fonseca, J.M. Pardal, V.F. Terra. "Estudo das propriedades mecânicas de um aço SAE 4140 com estrutura bifásica". Disserta o (p s-gradua o). Universidade Federal Fluminense: Niterói, 2004.
18. W. Callister. "Ciência e engenharia de materiais: uma introdu o". 8  ed. John Wiley & Sons: New Jersey, 2012.
19. F.J. Corrêa, L. Schaeffer. "Compara o das propriedades mecânicas do aço AISI 4140 no estado recozido e no estado normalizado". Universidade Federal do Rio Grande do Sul: Porto Alegre, 2013.
20. J. Lu. "Prestress engineering of structural material: A global design approach to the residual stress problem". Handbook of residual stress and deformation of steel. ASM International: Ohio, 2002.
21. E. Capello. "Residual stresses in turning. Part I: Influence of process parameters". Journal of Materials Processing Technology, 2005.

CAPÍTULO 17

EXECUÇÃO DE FUNDAÇÕES DO TIPO TUBULÃO CONFORME ORIENTAÇÕES DA NOVA NR-18 DE 10 DE FEVEREIRO DE 2020

Data de aceite: 01/07/2020

Data de submissão: 10/07/2020

José Henrique Maciel de Queiroz

Professor Especialista, Departamento de engenharias e tecnologia, Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA) Pau dos Ferros – Rio Grande do Norte

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/5373522478947987>

Fabiola Luana Maia Rocha

Professora Mestra, Departamento de engenharias e tecnologia, Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA) Pau dos Ferros – Rio Grande do Norte

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/9085564868979082>

Francisco Kléber Dantas Duarte

Engenheiro Civil, Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA) Pau dos Ferros – Rio Grande do Norte

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/7732241191531558>

Caio Guilherme Ferreira Abrantes

Engenheiro Civil, Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA) Pau dos Ferros – Rio Grande do Norte

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/2484911274632472>

RESUMO: O tubulão é um dos principais tipos de fundação empregados atualmente no Brasil, porém possui a desvantagem de possuir elevado risco aos operários que realizam sua escavação. As normas Regulamentadoras do Ministério da Economia estabelecem critérios no

sentido de reduzir esses riscos. Recentemente, NR-18: Segurança e Saúde no Trabalho na Indústria da Construção, foi atualizada trazendo novas diretrizes para execução de tubulões. Nesse sentido, este trabalho possui o objetivo de realizar uma análise do processo executivo de tubulões à céu aberto, considerando os novos critérios estabelecidos na nova NR-18. Utilizou-se então a metodologia de revisão bibliográfica para o levantar conhecimentos sobre o tema e apresentar as práticas adequadas para obter estes elementos de fundação de maneira satisfatória e segura. Observou-se que das etapas de execução do tubulão à céu aberto – escavação do fuste, alargamento da base e limpeza, colocação da armadura e concretagem – a que recebeu mais atenção da nova NR-18 foi a escavação, onde a norma contribui de maneira significativa para a promoção da segurança dos operários nestas obras.

PALAVRAS-CHAVE: Tubulões. Tubulão à céu aberto. NR-18. Fundações. Segurança no Trabalho.

EXECUTION OF LARGE DIAMETER BORED PILES ACCORDING TO THE NEW NR-18 GUIDELINES OF FEBRUARY 10, 2020

ABSTRACT: The large diameter bored piles is one of the main types of foundations currently used in Brazil, but it has the disadvantage of having a high risk to the workers who carry out its excavation. The Regulatory rules of the Ministry of Economy establish criteria to reduce these risks. Recently, NR-18: Safety and Health at Work in the Construction Industry, was updated bringing new guidelines for the execution of large diameter bored piles. In this

sense, this work has the objective of carrying out an analysis of the executive process of large diameter bored piles, considering the new criteria established in the new NR-18. Then, the bibliographic review methodology was used to raise knowledge on the topic and present the appropriate practices to obtain these elements of foundation in a satisfactory and safe way. It was observed that of the stages of execution of the large diameter bored piles - excavation of the shaft, widening of the base and cleaning, placement of the reinforcement and concreting - the one that received more attention from the new NR-18 was the excavation, where the standard contributes in a way significant contribution to promoting the safety of workers in these works.

KEYWORDS: Large diameter bored piles. NR-18. Foundations. Safety at work.

1 | INTRODUÇÃO

As fundações do tipo tubulão são frequentemente utilizadas na construção civil, sobretudo nas obras de grande vulto como obras de arte (pontes e viadutos, por exemplo) e em grandes edifícios que transferem cargas elevadas para o terreno. Como há a possibilidade de escavação manual, pode ser uma boa opção em locais onde o acesso de grandes equipamentos de perfuração do solo seja difícil.

Segundo Carneiro (1999) os tubulões à céu aberto representam cerca de 90 % das fundações de edifícios residenciais construídos em boa parte do interior do Estado de São Paulo e que na região Centro-Oeste do Brasil eles são sempre a primeira opção de fundação considerada na etapa de escolha. O autor acrescenta que a escolha da solução apresenta vantagens econômicas, rapidez na execução e é propícia pela predominância de solo de fácil escavação manual e boa estabilidade em cortes verticais, como na escavação.

Todavia, a execução dos tubulões é considerada uma atividade de risco elevado, pois na etapa de escavação, sempre conta com a descida de um operário até a base do poço escavado para completar a geometria final da fundação e durante essa descida em profundidade em um ambiente confinado podem ocorrer desmoronamentos do solo das laterais do poço e problemas técnicos na operação dos equipamentos de apoio e materiais de escavação causando acidentes.

Visando reduzir os riscos, as Normas regulamentadoras (NR) do Ministério do Trabalho (MT) trazem critérios a serem atendidos para a realização dessas atividades. Recentemente a Portaria N° 3.733 de 10 de fevereiro de 2020 renovou estes critérios, ao aprovar a nova NR-18: Segurança e Saúde no Trabalho na Indústria da Construção.

Neste sentido, o presente trabalho tem por objetivo realizar uma discussão sobre a execução de tubulões pautada nos critérios estabelecidos na nova NR-18 de 2020, bem como recomendações técnicas de outros autores. O estudo amplia assim o debate sobre as técnicas envolvidas na execução de tubulões, possibilitando a instrução de profissionais sobre os critérios a serem adotados nesse tipo de obra.

Para tanto, a metodologia utilizada foi a pesquisa bibliográfica, fazendo a análise sistemática de trabalhos diversos incluindo, teses, livros, normas técnicas e instrumentos legais, para assim, trazer as informações mais pertinentes sobre o tema. Os principais autores que embasaram o texto foram: Ministério do Trabalho (2020), ABNT (2019), Veloso e Lopes (2010), SAES, Hachich e Falconi (1998) e

Carneiro (1999).

2 | TIPOS DE FUNDAÇÕES

Antes de abrir a discussão sobre os tubulões é importante saber que esse é um elemento fundação do tipo profunda. De acordo com a ABNT NBR 6122:2019 – Projeto e Execução de Fundações, podemos classificar as fundações em dois tipos: as fundações rasas ou diretas ou ainda chamadas de superficiais e as fundações profundas ou indiretas. Na figura 01 são colocados exemplos de uma fundação rasa e outra profunda.

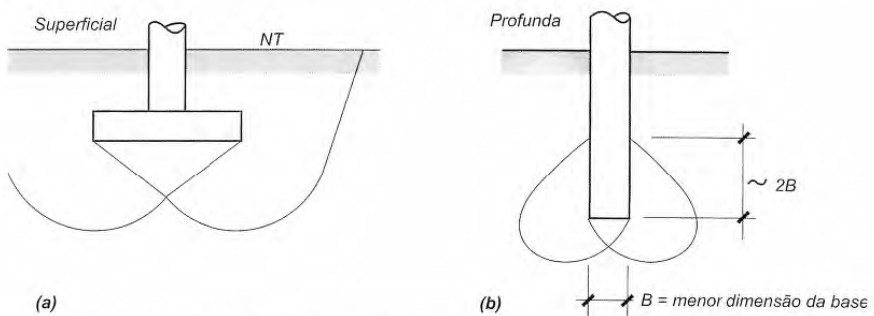


Figura 01: a) Fundação superficial; b) Fundação Profunda.

Fonte: Veloso e Lopes, 2010.

As fundações rasas, são assim classificadas quando a profundidade da sua cota de assentamento, ou seja, da sua base, é inferior a duas vezes a menor dimensão do elemento em planta da fundação. São caracterizadas por transmitirem as cargas recebidas para o solo, pela área da base, aplicando então tensões distribuídas no solo da base dos elementos e também por apresentarem deformações no solo da superfície do terreno quando chegam à ruptura. (ABNT, 2019)

Já as fundações profundas, possuem as suas bases ou pontas apoiadas a profundidades superiores a oito vezes a menor dimensão em planta da fundação, no mínimo a 3,0 metros de profundidade. Sua principal característica é a de transmitir cargas ao solo de duas formas distintas, por sua superfície lateral, a chamada resistência de fuste ou pela base ou resistência de ponta. A transmissão de cargas também pode ocorrer pela combinação das duas formas citadas. Essa definição engloba estacas, tubulões e caixões. (ABNT, 2019)

3 | FUNDAÇÕES POR TUBULÃO

Os tubulões, conforme a definição de Hachich e Falconi (1998) são elementos estruturais de fundação do tipo profunda constituídos basicamente de

um poço aberto no terreno que em seguida é concretado, podendo esse poço ter a base alargada ou não e também possuir ou não revestimento lateral. A diferença marcante deste tipo de fundação para as estacas, é que pelo menos na etapa final da escavação é necessário a descida de um operário para completar a sua geometria, realizando o alargamento da base e/ou sua limpeza. A base alargada é projetada com geometria que proporciona a concretagem da base sem armadura. Na figura 02, são apresentados tubulões com diferentes formas de base.

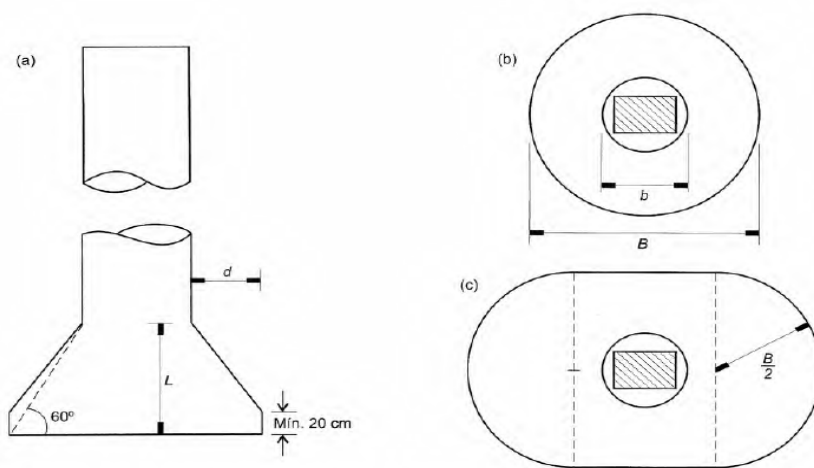


Fig. 11.24 – Tubulões: (a) em perfil, sem e com alargamento de base e formas de base usuais; (b) circular e (c) “falsa elipse”

Figura 02: Tubulões: a) em perfil, sem e com alargamento da base e formas de base usuais; b) circular e; c) “falsa elipse”.

Fonte: Veloso e Lopes, 2010.

Existe na prática da engenharia civil, dois tipos de tubulão: os tubulões à céu aberto e os tubulões a ar comprimido, dos quais estes últimos sempre recebem revestimento em concreto armado ou por camisas de aço. Tubulões a ar comprimido, também chamados de pneumáticos, surgiram para viabilizar a construção desse tipo de fundação em locais onde haja água no solo e que pelo risco de desmoronamento das paredes do fuste, não seja possível a sua drenagem. (HACHICH; FALCONI, 1998).

No entanto, existe um nível de risco alto ao qual os operários são expostos durante a execução de tubulões a ar comprimido. Por este motivo, a Portaria Nº 3.733 determinou o fim da utilização de tubulões desse tipo no Brasil 24 meses após ela entrar em vigor (Conforme o Art. 5º, essa portaria entra em vigor 1 ano após a sua publicação que ocorreu em 11 de fevereiro de 2020). A partir desse prazo passa a valer o texto do item 18.7.2.23 da nova norma NR-18, que diz o seguinte: “É proibida a execução de fundação por meio de tubulão de ar comprimido”.

Sendo assim, iremos nos deter na seção seguinte aos procedimentos

executivos relativos aos tubulões à céu aberto, cuja utilização continua permitida, contanto que sejam seguidas as instruções da nova NR-18.

4 | EXECUÇÃO DE TUBULÕES A CÉU ABERTO

A execução dos tubulões à céu aberto inicia-se com a escavação. Segundo Veloso e Lopes (2010), a escavação pode ser feita de duas maneiras, manualmente, pelos chamados poçeiros, ou mecanicamente. No caso de ser realizada mecanicamente, a escavação é feita com o auxílio de uma perfuratriz. É importante enfatizar que a nova NR-18 limitou a escavação manual de tubulões a 15 metros de profundidade, estabelecendo o prazo de 6 meses após a Portaria N° 3.733 entrar em vigor, para o cumprimento da decisão.

No tocante à escavação manual a profundidades inferiores a 15 metros a nova NR-18 traz uma série de medidas de segurança a serem tomadas. No item 18.7.2.17 indica que o tubulão deve ser encamisado (revestido) em toda sua extensão, que a realização de sondagem ou estudo geotécnico local é obrigatória para profundidades maiores que 3 metros e que o diâmetro mínimo do fuste passa a ser de 90 cm, frente aos 80 cm que antes eram permitidos ou 70 cm permitidos caso apresentada justificativa técnica.

A mesma norma regulamentadora determina ainda que os trabalhadores responsáveis pela escavação manual devem receber capacitação específica sobre “atividade de escavação manual em tubulão” além de outras capacitações relativas a atividades em ambientes confinados e trabalho em altura (definidos na NR-33 e NR-35, respectivamente). Devem ter também os exames médicos atualizados, atendendo à NR-07.

O item 18.7.2.22 da NR-18 determina ainda os seguintes critérios relativos ao equipamento de descida e içamento de trabalhadores e materiais utilizados na escavação manual de tubulões. Eles devem:

- a. dispor de sistema de sarilho, projetado por profissional legalmente habilitado, fixado no terreno, fabricado em material resistente e com rodapé de 0,2 m (vinte centímetros) em sua base, dimensionado conforme a carga e apoiado com, no mínimo, 0,5 m (cinquenta centímetros) de afastamento em relação à borda do tubulão;
- b. ser dotado de sistema de segurança com travamento;
- c. possuir dupla trava de segurança no sarilho, sendo uma de cada lado;
- d. possuir corda de cabo de fibra sintética que atenda às recomendações do Anexo II desta NR;
- e. utilizar corda de sustentação do balde com comprimento de modo que haja, em qualquer posição de trabalho, no mínimo 6 (seis) voltas sobre o tambor;

- f. ter gancho com trava de segurança na extremidade da corda do balde. (MT, 2020)

A NR-18 detalha bem os requisitos de segurança necessários durante a escavação dos tubulões, por ela ser a etapa que oferece maiores riscos à segurança dos operários. No item 18.7.2.22.1 a referida norma acrescenta que para realizar a operação do equipamento de descida e içamento de trabalhadores e materiais utilizados no processo de escavação manual de tubulão devem ser atendidas as seguintes medidas:

- a. liberar o serviço em cada etapa (abertura de fuste e alargamento de base), registrada no livro de registro diário de escavação;
- b. dispor de sistema de ventilação por insuflação de ar por duto, captado em local isento de fontes de poluição ou, em caso contrário, adotar processo de filtragem do ar;
- c. depositar materiais longe da borda do tubulão, com distância determinada pelo estudo geotécnico;
- d. ter cobertura quando o serviço for executado a céu aberto;
- e. isolar, sinalizar e fechar os poços nos intervalos e no término da jornada de trabalho;
- f. impedir o trânsito de veículos nos locais de trabalho;
- g. paralisar imediatamente as atividades de escavação no início de chuvas quando o serviço for executado a céu aberto;
- h. utilizar iluminação blindada e à prova de explosão. (MT, 2020).

Finalizada a escavação do fuste, é feito o alargamento da base do tubulão. Ainda que o fuste tenha sido escavado mecanicamente, a perfuratriz não realiza o alargamento da base, caso ele seja previsto, um operário fará este trabalho. Nessa situação, todas as medidas apresentadas anteriormente continuam válidas para a segura concretização da tarefa. Nesse momento também é feita a limpeza na base do tubulão, retirando o solo desagregado e impurezas do solo e a inspeção das condições da base por um profissional capacitado é importante antes do início das etapas seguintes. (ABNT,2019).

Depois é colocada a armadura do fuste, tomando-se o cuidado de não derrubar torrões de solo no interior do poço durante a operação. A ABNT NBR 6122:2019 preconiza que quando essa armadura penetrar na base, seu projeto deve prever aberturas na armadura de no mínimo 30cm x 30cm para permitir a concretagem adequada.

Colocada a armadura do fuste, pode ser feita a concretagem do tubulão. Recomenda-se executar a concretagem imediatamente após a escavação, caso

contrário, deve-se inspecionar novamente as condições na base da escavação. O concreto pode ser simplesmente lançado na superfície, com o auxílio de funil de comprimento mínimo de 1,5 metros. O concreto deve ter plasticidade suficiente para ocupar todo o volume da base sem necessidade de vibrador (ABNT, 2010). Durante a concretagem ou escavação de um tubulão não é permitido o trabalho em bases alargadas de tubulões adjacentes de acordo com a NR-18.

Após a conclusão da concretagem e a cura do concreto, o tubulão estará pronto. Como última atividade a ABNT NBR 6122:2019 diz que pelo menos um tubulão de cada obra deve ser verificado quanto a sua integridade, sendo essa verificação realizada escavando um trecho do fuste.

5 | CONCLUSÃO

Posta a discussão anterior acerca da execução de tubulões à céu aberto, pode-se constatar que a utilização destes se tornará mais restrita após entrar em vigor a nova NR-18, aprovada pela Portaria N° 3.733 de 10 de fevereiro de 2020 pelo ministério do trabalho, uma vez que esta determinou o limite de 15 m para tubulões escavados manualmente, diâmetro mínimo de 90 cm do fuste e o fim do uso de tubulões a ar comprimido.

Observou-se também que a nova NR-18 adquire substancial importância especificamente ao tratar da execução de tubulões ao deixar claro os critérios de segurança necessários para a realização de escavações manuais nos tubulões, diminuindo o risco de acidentes de trabalho nas obras da construção civil, assim como eventuais prejuízos financeiros e sociais associados.

Nesse trabalho foi alcançado o objetivo proposto, uma vez que realizou-se a análise dos itens da nova NR-18 que trazem implicações sobre o processo de construção de tubulões, assim como esclareceu como se dão todas as etapas envolvidas para a obtenção desse tipo de fundação, enfatizando as principais recomendações das normas técnicas.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6122: Projeto e execução de fundações**. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

CARNEIRO, Benedito José Imbiriba. **Comportamento de tubulões à céu aberto, instrumentados, em solo não saturado, colapsível**. 1999. 323 f. Tese (Doutorado) - Curso de Geotecnia, Departamento de Geotecnia, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1999. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18132/tde-16062015-103300/publico/Carneiro_BJI_Tese.pdf. Acesso em: 19 maio 2020.

MINISTÉRIO DA ECONOMIA. **NR-18: Segurança e Saúde no Trabalho na Indústria da Construção**. 29 ed. Brasília: Diário Oficial da União, 2020. Disponível em: <https://cbic.org.br/wp-content/uploads/2020/02/PORTARIA-N%C2%BA-3.733-DE-10-DE-FEVEREIRO-DE-2020-PORTARIA-N%C2%BA-3.pdf>. Acesso em: 19 maio 2020.

SAES, José Luiz; HACHICH, W.; FALCONI, F. F. **Fundações: teoria e prática**. São Paulo: Pini,

1998.

VELOSO, D. A.; LOPES, F. R. **Fundações**. São Paulo: Oficina da Texto, 2010.

CAPÍTULO 18

INFLUÊNCIA DE LEVEDURAS LISAS E RUGOSAS NA PRODUÇÃO DE BIOETANOL EM ESCALA INDUSTRIAL

Data de aceite: 01/07/2020

Teresa Cristina Vieira Viana

Laboratório MicroServBio, Avenida José Murad, 1233, Pirassununga, São Paulo. Universidade de São Paulo, USP/FZEA, Pirassununga, São Paulo.

Rafael Resende Maldonado

Departamento de Alimentos, COTUCA, UNICAMP, Campinas, São Paulo. e-mail: ratafta@unicamp.br

Eliana Setsuko Kamimura

Universidade de São Paulo, USP/FZEA, Pirassununga, São Paulo.

RESUMO: A alta competitividade da indústria de bioetanol no Brasil faz com que a busca por inovações que aumentem o rendimento da produção seja uma necessidade constante e, mesmo, pequenas variações percentuais nos resultados, podem implicar em um retorno financeiro elevado devido ao volume de bioetanol produzido. O objetivo deste estudo foi a avaliação do impacto de leveduras lisas (LL) e rugosas (LR) na produção de bioetanol. Durante os processos fermentativos industriais, o estresse causado sobre as leveduras pelas altas temperaturas nas dornas de fermentação leva a conversão de LL em LR reduzindo o rendimento da produção de bioetanol. A empresa MicroServBio desenvolveu uma tecnologia para transformar LR em LL novamente, que resulta nas chamadas leveduras do processo transformada (LPT). Estudo em escala laboratorial comparou a

eficiência de fermentação utilizando LR e LPT aplicando metodologia de delineamento fatorial e de análise de superfície de resposta. Os resultados obtidos indicaram um aumento de 6,86% de eficiência no uso da LPT no processo. As LPT também foram comparadas com LL e não foi verificada diferença significativa entre os dois tipos de leveduras com nível de confiança de 95%. Foi feita também uma avaliação em escala industrial em uma usina de bioetanol da região de Pirassununga comparando-se as safras 2017 (sem uso da LPT) com safras 2018 e 2019 (com inoculação da LPT). Verificou-se a partir dos dados industriais um aumento de eficiência na produção de bioetanol com uso da LPT de 3,92 e 4,36% nas safras 2018 e 2019, respectivamente. Além disso, as LPT mostraram boa termorresistência a temperatura elevada ao longo da safra. Considerando a produção de bioetanol da unidade avaliada, o aumento da eficiência obtido com a LPT representou um aumento de produção de 4 milhões de litros de bioetanol por safra, sem aumento de custos com insumos, equipamentos e estrutura física.

PALAVRAS-CHAVE: Bioetanol; delineamento fatorial; produtividade; transformação de leveduras.

1 | INTRODUÇÃO

A produção do biocombustível vem ganhando destaque na cadeia energética mundial devido à necessidade da redução das emissões de poluentes provenientes de combustíveis fósseis. O Brasil foi pioneiro no desenvolvimento de um programa de biocombustível em substituição à gasolina, o programa nacional do álcool (Proálcool), que surgiu em meados da década de 1970

em meio à crise do petróleo. O Brasil também é o maior produtor mundial de aguardente e o segundo produtor mundial de bioetanol, perdendo apenas para os EUA, Souza et al. 2018; Grassi & Pereira, 2019. O bioetanol é o combustível mais utilizado e produzido no Brasil, tendo como matéria-prima a cana-de-açúcar e teve seu consumo bastante incentivado, principalmente, no início dos anos 2000, com o lançamento dos motores *FlexFuel*. O Proálcool trouxe também a obrigatoriedade da adição de bioetanol na gasolina, e desde 2015, o percentual obrigatório de etanol anidro combustível na gasolina comum passou a ser de 27%, segundo portaria n. 75 do (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA) (Amorim, 2005; Brasil, 2015).

A produção de bioetanol ocorre por via fermentativa através do processo denominado fermentação alcoólica, no qual as leveduras são responsáveis pela conversão da sacarose da cana de açúcar em etanol. Para realizar essa bioconversão, as leveduras precisam competir com populações de bactérias e leveduras selvagens presentes no caldo de cana, o que afeta negativamente o desempenho delas. Outros fatores como aumento da temperatura nas dornas; consumo de açúcar; queda da viabilidade celular devido à presença de toxinas excretadas no meio; floculação do fermento estão entre as maiores preocupações das empresas produtoras de etanol, pois levam a diminuição do rendimento. A contaminação dos mostos por leveduras selvagens tem sido uma preocupação relatada na literatura que leva a diminuição do rendimento na produção de bioetanol. No entanto, além dessas leveduras, outro problema, pouco relatado, também é significativo na indústria do bioetanol. Foi identificada em dornas de fermentação industrial a presença de leveduras com células dispostas em cadeias, apresentando-se como colônias opacas, de superfície crespada, denominadas leveduras rugosas (LR). Este biótipo apresenta altas taxas de crescimento, permanecendo na superfície das dornas de fermentação, formando uma espuma espessa, viscosa, que pode causar extravasamento de mosto das dornas e, conseqüentemente, perda de mosto e bioetanol. Este biótipo pode vir de contaminação do mosto, mas também pode aparecer durante o processo fermentativo por falta de controle adequado de temperatura das dornas, em ambos os casos, comprometendo o rendimento da fermentação e a produção do bioetanol (Reis, 2011; Kohlhepp, 2010; Olivério, 2008; Amorim & Oliveira, 1982).

O problema do surgimento de LR estritamente decorrente do estresse térmico não tem sido abordado pelo que foi consultado na literatura especializada para realização deste estudo. No entanto, na experiência prática da equipe do Laboratório MicroServBio ao longo de mais de 30 anos de acompanhamento do funcionamento de usinas de bioetanol, verificou-se que mesmo em fermentações iniciadas com 100% de leveduras soltas ou leveduras lisas (LL) ocorre a formação de leveduras rugosas (LR) ao longo da safra, em função do estresse térmico, mesmo na ausência da contaminação por leveduras selvagens.

Com intuito de solucionar este problema, a equipe do Laboratório MicroServBio desenvolveu um processo laboratorial para a recuperação de leveduras rugosas (LR), transformando-as novamente em leveduras lisas, que foram chamadas de leveduras do processo (LPT). Diante do exposto, o estudo

apresentado teve como objetivo comparar a eficiência da produção de bioetanol utilizando leveduras LPT em comparação com LL e LR tanto em escala laboratorial como industrial, para comprovar a eficiência das leveduras LPT desenvolvidas pelo Laboratório MicroServBio.

2 | MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Avaliação da produção de bioetanol em escala laboratorial

Os estudos em escala laboratorial foram realizados no Laboratório MicroServBio (Pirassununga, São Paulo, www.microservbio.com.br) e no Laboratório de Bioprocessos, FZEA, USP (Pirassununga, São Paulo).

A primeira etapa consistiu na comparação da eficiência entre leveduras rugosas (LR) e leveduras do processo transformadas (LPT). As LR foram selecionadas de uma linhagem de *Saccharomyces cerevisiae* contendo pseudohifas ou brotos, proveniente de uma usina de bioetanol da região de Pirassununga, São Paulo, cuja temperatura das dornas durante a safra variou entre 33 e 37° C. As LPT foram obtidas a partir das LR por método baseado em controle de temperatura desenvolvido pelo Laboratório da MicroServBio (sob sigilo industrial). Ambas as culturas foram propagadas em meio de cultura WLN (caldo Wallstein nutriente, composto por (em % m/v): 0,4% de extrato de levedura; 0,5% de caseína hidrolisada; 5,0% de glicose; 0,055% de fosfato monopotássico; 0,043% de cloreto de potássio; 0,013% de cloreto de cálcio; 0,013% de sulfato de magnésio; 0,25% de cloreto férrico; 0,25% de sulfato de manganês; 0,002% de verde de bromocresol; 0,005% de ácido nalidíxico; 2,0% de ágar e 0,005% de ampicilina).

A avaliação da produção de bioetanol foi realizada por meio de um delineamento fatorial completo com 2² pontos fatorais mais 3 pontos centrais para avaliar as variáveis independentes: proporção de LR e LPT (100%/0% a 0/100% de LR/LPT) e açúcares redutores totais (10 a 20% m/v). Os ensaios do delineamento foram conduzidos em frascos com volume útil de 50 mL. Foi utilizado meio de fermentação estéril contendo (%m/v): 10% de sacarose; 2,5% de fosfato de potássio; 2,5% de cloreto de amônio; 0,5% de sulfato de magnésio; 0,5% de cloreto de potássio e 3,0% de extrato de levedura. Foram inoculados 2% m/v de leveduras em cada ensaio e as condições operacionais utilizadas foram 160 rpm, 32° C e 8 horas. Ao final das fermentações, as amostras do caldo fermentado foram filtradas e o vinho obtido foi analisado por cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE) para determinação das concentrações de etanol, açúcares redutores totais, glicerol, ácidos succínico, láctico e acético.

Os dados do delineamento fatorial foram avaliados por análise de variância (ANOVA) e metodologia de superfície de resposta pra avaliar modelos de primeira ordem para cada variável resposta analisada. De acordo com os resultados do fatorial completo em escala laboratorial, foi feito um estudo univariável para verificar a influência de três de leveduras com uma condição fixa da concentração inicial de ART. Nesta etapa foram avaliadas a levedura rugosa (LR), a levedura do processo transformada (LPT) já estudadas no delineamento e incluiu-se uma levedura lisa

(LL) isolada no início da safra de produção de etanol antes do processo de estresse térmico. Os ensaios desta etapa foram realizados em triplicata e comparados por teste de média de Tukey com nível de confiança de 95%.

2.2 Avaliação da produção de bioetanol em escala industrial

Foram analisados dados de temperatura das dornas e de prevalência do tipo de leveduras (LL ou LR) ao longo das safras 2017, 2018 e 2019 em uma usina de produção de bioetanol da região de Pirassununga/SP. Nas safras 2018 e 2019 houve inoculação de leveduras do processo transformadas (LPT) e na safra 2017 inoculou-se apenas leveduras lisas (LL) no início da safra. A temperatura das dornas foi medida por meio de sensores colocados a um terço da altura do tanque em relação ao fundo.

2.3 Métodos analíticos

As análises de concentração de etanol, de açúcares redutores totais e de metabólitos secundários (ácido láctico, ácido acético e ácido succínico) foram realizadas por cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE). Foi utilizado equipamento HPLC modelo Varian 9010 com coluna Shodex modelo KS 801 na temperatura de 70° C, fase móvel com ácido sulfúrico 0,005 mol/L, água deionizada e desareada como eluente, fluxo de 0,5 mL/min e tempo de corrida de 35 minutos (ATALA, 2000; SOUSA et al., 2008).

A determinação da concentração de leveduras lisas e rugosas foi realizada por meio de plaqueamento em meio WLN discriminando-se os dois tipos de fenótipos, aparência de lisas (colônias brilhantes) e aparência em forma de flor ou crespas (colônias opacas) na contagem das colônias desenvolvidas no meio (REIS, 2017).

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Delineamento fatorial para produção de bioetanol em escala laboratorial

A Tabela 1 apresenta os ensaios realizados e as respostas obtidas no delineamento fatorial 2² pontos fatoriais mais 3 pontos centrais para produção de bioetanol.

Ensaio	X1 Levedura (%)	X2 ART _i (%)	Y1 Etanol (%)	Y2 ART _f (%)	Y3 Glicerol (ppm)	Y4 Ácido Succínico (ppm)	Y5 Ácido Acético (ppm)	Y6 Ácido láctico (ppm)
1	-1(100% LR)	-1(10)	4,83	0,09	632,5	698,1	819,4	147,3
2	+1(100% LPT)	-1(10)	5,09	0,09	640,5	675,8	836,2	76,9
3	-1(100%LR)	+1(20)	9,65	0,67	1026,5	909,9	1694,0	136,6
4	-1(100%LPT)	+1(20)	10,31	0,10	1037,2	964,9	1403,0	94,0
5pc	0(50%LR:50%LPT)	0(15)	7,57	0,09	887,8	920,1	1141,7	174,5
6pc	0(50%LR:50%LPT)	0(15)	7,55	0,09	912,6	915,1	1288,8	168,2
7pc	0(50%LR:50%LPTL)	0(15)	7,69	0,09	877,3	949,7	1242,5	85,8

Tabela 3 - Delineamento fatorial completo para produção de etanol utilizando leveduras do processo transformada (LPT) e rugosa (LR) pc-ponto central; ART açúcar redutor total, i- inicial, f- final; AS: Ácido Succínico; AA: Ácido Acético; AL: Ácido Láctico; X_i – variáveis independentes, Y_i-respostas analisadas no fatorial.

Fonte: Autores, 2020.

Observa-se na Tabela 1, o melhor rendimento de bioetanol obtido foi de 10,31% (ensaio 4 - 100% de LPT e 20% de ART_i). Comparando-se esse resultado com ensaio 3, que usou mesma concentração de ART_i, porém com 100% LR, houve aumento no rendimento de 6,86% na produção de bioetanol. Esse aumento em uma safra anual de 100 milhões de litros de bioetanol por ano significaria ganho de 6,86 milhões de litros com praticamente mesmo custo de produção.

A Tabela 2 apresenta os modelos reduzidos de primeira ordem (apenas com os termos estatisticamente significativos) para as variáveis respostas estudadas no delineamento. A Figura 1 apresenta a superfície de resposta e a curva de contorno para modelo de 1ª ordem para produção de bioetanol (que é a variável mais importante do processo).

Variável resposta	Modelo reduzido de 1ª ordem	R ²	R	Teste F	p-valor
Etanol (%) (Y1)	$Y1 = 7,53 + 0,23X1 + 2,51X2$	0,997	0,998	603,4	$1,0 \cdot 10^{-5}$
ART _i (%) (Y2)	$Y2 = 0,17 - 0,14X1 + 0,15X2 - 0,14X1 \cdot X2$	0,869	0,932	6,66	$7,6 \cdot 10^{-2}$
Glicerol (ppm) (Y3)	$Y3 = 859,2 + 197,7X2$	0,959	0,979	118,6	$1,1 \cdot 10^{-4}$
Ác. Succínico (ppm) (Y4)	$Y4 = 862,0 + 125,2X2$	0,710	0,843	12,26	$1,7 \cdot 10^{-2}$
Ác. Acético (ppm) (Y5)	$Y5 = 1203,7 + 360,3X2$	0,909	0,953	46,3	$1,0 \cdot 10^{-3}$
Ác. Láctico (ppm) (Y6)	-	-	-	-	-

Tabela 2 – Modelos reduzidos de 1ª ordem na produção de bioetanol com leveduras rugosas (LR) e/ou leveduras do processo transformadas (LPT).

Os modelos apresentados consideraram os coeficientes de regressão com $p \leq 0,10$.

Fonte: Autores, 2020.

Da análise da Tabela 2 verifica-se que para todas as variáveis respostas, exceto ácido láctico, foi possível a obtenção de modelos de 1ª ordem com coeficientes estatisticamente significativos com 90% de confiança ($p \leq 0,10$). Dos modelos apresentados, todos foram preditivos (p-valor bastante pequeno) e apenas o modelo pra produção de ácido succínico apresentou coeficiente de correlação (R) e de determinação (R²) mais baixos, indicando que não houve um ajuste tão bom do modelo aos dados experimentais obtidos.

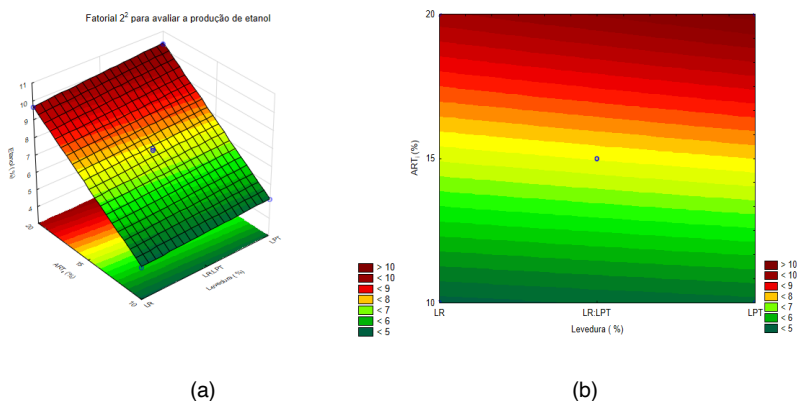


Figura 1 – (a) superfície de resposta e (b) curva de contorno para produção de bioetanol em função das variáveis independentes: proporção de leveduras LR:LPT e concentração de ART inicial

Do ponto de vista de processo, os modelos apresentados mostram que a concentração inicial de ART (X₂) teve influencia sobre todas as respostas estudadas, sendo que o aumento da concentração do ART_i provocou aumento na produção de todos os metabólitos, bem como resultou em maior concentração de ART_f, um resultado esperado, uma vez que na faixa estudada não há inibição do processo

fermentativo pelo substrato. Com relação à substituição das leveduras LR pelas LPT é possível verificar que esta substituição não teve impacto sobre os metabólitos secundários da fermentação, porém o uso das leveduras LPT provocam maior consumo de ART e maior rendimento de bioetanol, o que indica que a aplicação da levedura LPT foi mais eficiente do que a levedura LR para produção do bioetanol. Tais resultados demonstram ser interessante a aplicação do processo desenvolvido pelo MicroBioServ para recuperar as leveduras LR transformando-as em LPT com vistas a melhorar o aproveitamento do mosto e aumentar a produção de bioetanol, sem outras alterações de processo.

3.2 Avaliação do tipo de levedura (LL, LR e LPT) sobre a produção de bioetanol

Como os resultados do delineamento fatorial indicaram que os efeitos da concentração inicial de ART encontravam-se de acordo com a literatura e a prática observada nas usinas de bioetanol, decidiu-se fixar esta variável em 15% m/v. Esse valor foi escolhido por ser aquele que comumente é utilizado nas usinas de produção de bioetanol, mesmo que delineamento indique que a concentração de 20% m/v como sendo a melhor na etapa anterior. Foi incluída nesta etapa uma linhagem de levedura lisa (LL), inoculado no início da safra, que não foi avaliada no delineamento fatorial. Os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 3.

Variável resposta	LL	LPT	LR
Etanol (%)	9,10 ± 0,15 ^A	9,10 ± 0,03 ^A	8,49 ± 0,02 ^B
ART _i (%)	0,134 ± 0,006 ^A	0,134 ± 0,003 ^A	0,129 ± 0,002 ^A
Glicerol (ppm)	1069 ± 17 ^A	1066 ± 6 ^A	1033 ± 14 ^B
Ác. Succínico (ppm)	960 ± 32 ^A	1010 ± 19 ^A	1096 ± 22 ^B
Ác. Acético (ppm)	1473 ± 275 ^A	1460 ± 12 ^A	1388 ± 60 ^A
Ác. Láctico (ppm)	363 ± 60 ^A	398 ± 13 ^A	598 ± 33 ^B

*Resultados marcados com letras diferentes apresentam diferença estatisticamente significativa com 95 % de confiança ($p \leq 0,05$) pelo Teste de média de Tukey.

Tabela 3 – Comparação entre as leveduras lisas (LL), transformadas do processo (LPT) e as rugosas (LR) sobre a produção de bioetanol com concentração inicial de açúcares redutores (ART)_i fixa em 15%.

Fonte: Autores, 2020.

Os resultados apresentados na Tabela 3 indicam que a levedura transformada do processo (LPT) não apresentou diferença significativa em nenhuma resposta com relação à levedura lisa (LL) que não havia passado por estresse térmico na usina. Isto significa dizer que o processo empregado para transformação das leveduras de rugosas novamente para lisas (LPT) é realmente eficiente para recuperar as propriedades das leveduras. Além disso, verifica-se que quando utilizada a levedura

rugosa (LR) houve menor produção de bioetanol, menor produção de glicerol e maior produção de ácido succínico e ácido láctico, mesmo sem a presença de outros microrganismos no mosto, como por exemplo, bactérias lácticas, uma vez que o estudo foi conduzido em condições assépticas. Isso indica que o desempenho da LR é realmente inferior tanto em relação à LL (cepa original) quanto em relação à LPT (levedura do processo transformada). O rendimento de etanol das leveduras LL e LPT neste caso foi 7,18% maior do que com a utilização da LR, o que gera um impacto econômico muito grande considerando-se o volume de produção de bioetanol de uma usina.

3.3 Avaliação da produção de bioetanol em escala industrial

Da experiência prática de trabalho em usinas de bioetanol da equipe do Laboratório MicroBioServ sabe-se que se as leveduras forem submetidas a temperaturas superiores a 32° C, elas rapidamente começam a sofrer processo de enrugamento devido ao estresse térmico. Os dados coletados ao longo das safras analisadas demonstra que as temperaturas de operação das dornas são frequentemente superiores a esse valor, pois não há uma grande preocupação com controle rigoroso de temperatura da fermentação. A figura 2 exemplifica o comportamento da temperatura dentro do período analisado.

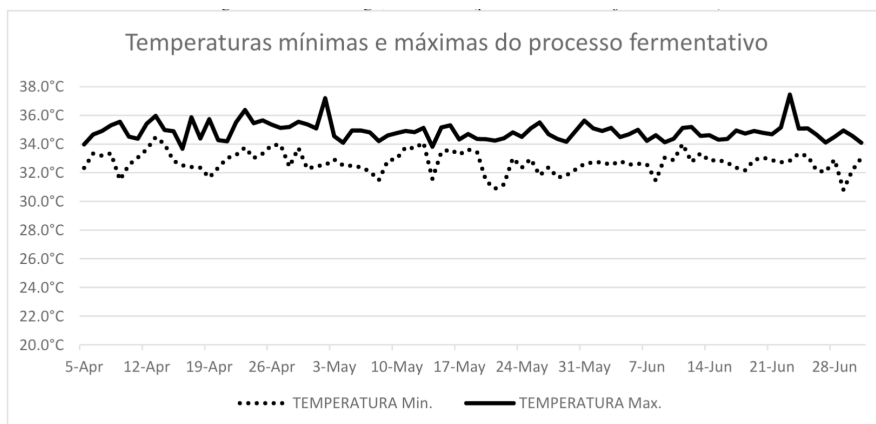


Figura 2 – Intervalo de temperatura (mínimo e máximo) de operação das dornas na produção de bioetanol em usina da região de Pirassununga, São Paulo (período de abril a junho de 2018).

Fonte: Autores, 2020.

É fácil notar pela figura 2 que as temperaturas na maioria das medidas atingem valores máximos e mesmo valores mínimos superiores a 32 °C, com picos atingindo 37,2° C na dorna 1 (linha contínua) e 34,4° C na dorna 2 (linha pontilhada). Nessa faixa de operação as leveduras LL se convertem rapidamente em LR e ocorre queda no rendimento de bioetanol. As temperaturas no processo industrial são

geralmente acima de 32° C devido à baixa eficiência da refrigeração, que pode ser provocada por baixa capacidade de troca térmica dos trocadores de calor acoplados aos tanques de fermentação; falha de projeto devido à subdimensionamento da quantidade de placas e a área de troca térmica ou ainda pelo fato de existirem usinas sem torres de refrigeração. Outro fato que constantemente se observa é a má qualidade da água de refrigeração, que permite a formação de filmes microbianos na superfície das placas e assim o coeficiente global de transferência de calor é reduzido. Outra dificuldade diz respeito à limpeza das placas, que é executada manualmente placa a placa, em um processo demorado, pois os trocadores de calor possui número elevado de placas.

Diante do resultado de queda de rendimento na produção de bioetanol, a usina avaliada passou a adquirir e aplicar em sua produção as leveduras do processo transformadas (LPT) a partir da safra 2018. A Tabela 4 mostra um comparativo da safra 2017, com aplicação inicial de leveduras LL e das safras 2018 e 2019 em que foram utilizadas as leveduras LPT.

Eficiência fermentação Industrial (EF%)			
Mês	2017	2018	2019
Abril	82,59	89,70	90,17
Mai	83,59	89,91	90,64
Junho	83,44	90,33	90,20
Julho	83,35	89,05	89,63
Agosto	83,91	89,22	90,71
Setembro	81,69	89,93	88,29
Outubro	89,26	90,95	-
Novembro	90,74	88,28	-
Dezembro	97,06	88,64	-
MÉDIA	86,18	89,56	89,94
PORCENTAGEM DE AUMENTO		3,92	4,36

Tabela 4 - Eficiência da produção de bioetanol em escala industrial nas safras 2017 (utilizando leveduras lisas- LL), 2018 e 2019 (com aplicação das leveduras transformadas do processo-LPT).

- sem estes dados, pois usina ainda estava em moagem no período de finalização do presente estudo.

Fonte: Autores, 2020.

A Tabela 4 mostra dados da eficiência de fermentação (EF %) da usina de bioetanol da região de Pirassununga. Essa eficiência leva em consideração a razão entre a quantidade de bioetanol produzido e o valor teórico bioetanol calculado a partir consumo total da concentração inicial de ART. Na safra de 2017, não foi colocada a levedura LPT na fermentação, enquanto que nas safras seguintes 2018 e 2019

utilizou-se para iniciar a fermentação as leveduras do processo transformadas (LPT). Como pode ser observado houve um aumento médio eficiência de fermentação na ordem de 4% na produção de bioetanol.

A divergência dos resultados em escala laboratorial (acréscimo de 6,89% na produção quando a fermentação foi conduzida com leveduras LPT) e industrial (acréscimo de 4,17% na produção com fermentação com leveduras LPT) se deve muito provavelmente aos fatores de interferência no processo de produção industrial. Essas influências rebaixando o resultado podem ser bactérias no processo fermentativo consumindo o substrato, demora no processo para a separação da levedura após fermentação, erros nas medições e amostragens e métodos, dentre outras interferências.

Ressalta-se que na safra de 2017 a usina teve que trocar todo o fermento, pois a eficiência de fermentação (EF) diminuiu para 81,69% em setembro de 2017, por esta razão a EF aumentou no período de outubro a dezembro. Essa necessidade de troca do fermento antes do final da safra deve-se provavelmente a completa transformação das leveduras LL em LR.

A partir da safra 2018 foi introduzido o uso da levedura LPT na usina avaliada e neste ano fez-se um acompanhamento do percentual de leveduras LPT e LR ao longo da safra, como está mostrado na Tabela 5. Verifica-se que com uso das leveduras LPT que o percentual de leveduras LR ficou bastante baixo nos primeiros meses (julho a setembro), havendo um aumento ao final da safra, porém esse aumento foi relativamente baixo, chegando ao final da safra com um teor de levedura LPT superior a 70%. Estes dados sugerem que as leveduras LPT tem uma resistência maior ao estresse térmico (resistindo bem até o final da safra) ao contrário das leveduras LL da safra anterior, que precisaram ser substituídas em setembro de 2017.

Levedura	04/07/18	10/07/18	20/07/18	25/07/18	29/08/18	09/09/18	11/09/18
LPT	100,00%	98,89%	100,00%	98,86%	100,00%	96,67%	98,27%
LR	0,00%	1,11%	0,00%	1,14%	0,00%	3,33%	1,73%
	06/11/18	13/11/18	06/12/18	10/12/18	11/12/18	13/12/18	14/12/18
LPT	84,15%	78,38%	51,50%	63,39%	59,23%	62,37%	73,65%
LR	15,85%	21,62%	48,50%	36,61%	40,77%	37,63%	26,35%

Tabela 5 - Acompanhamento das porcentagens de leveduras LPT e LR ao longo da safra 2018 da unidade industrial da região de Pirassununga em estudo.

LPT- levedura do processo transformada, LR- levedura rugosa.

Fonte: Autores, 2020.

4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos resultados obtidos no estudo foi possível verificar que:

- As temperaturas de operação das dornas de fermentação para produção de bioetanol facilmente atingem temperaturas elevadas, o que contribui para provocar estresse térmico das leveduras provocando alteração em sua morfologia ao longo da safra.
- As leveduras lisas (LL) submetidas ao estresse térmico passam para formato de leveduras rugosas (LR) o que reduz o rendimento na produção de bioetanol.
- Os estudos em escala laboratorial demonstraram que as leveduras do processo transformadas (LPT) que foram transformadas de rugosas para lisas pelo processo desenvolvimento pelo Laboratório MicroBioSer apresentam maior rendimento na produção de bioetanol em comparação das leveduras LR e mesmo desempenho que as leveduras LL inoculadas no início do processo fermentativo.
- Houve incremento de 6,86% e 4,17% do rendimento da produção de bioetanol em escala laboratorial e industrial, respectivamente, quando foram aplicadas as leveduras LPT. Esse aumento de rendimento, embora seja percentual pequeno, tem um impacto bastante significativo do ponto de vista econômico, pois ele ocorre apenas com a utilização da levedura LPT sem alteração em outras condições de processo e nem na estrutura física.
- O acompanhamento da morfologia das leveduras ao longo da safra 2018 sugere que as leveduras LPT são bastante resistentes ao estresse térmico e conseguem manter o rendimento de etanol elevado durante toda a safra.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, campus Fernando Costa, Pirassununga, à usina de bioetanol que cedeu os dados para análise e à equipe do Laboratório MicroServBio, todos na região de Pirassununga, São Paulo, pelo suporte acadêmico e técnico para realização deste estudo. Este capítulo é parte da Dissertação de Mestrado Profissional da aluna Teresa Cristina Vieira Viana no programa de Mestrado Profissional em Gestão e Inovação na Indústria Animal (GIIA) da Universidade de São Paulo.

REFERÊNCIAS

- AMORIM, H. V.; OLIVEIRA, A. J. **Infecção na fermentação: como evitá-la**. STAB Álcool & Açúcar, Piracicaba, v. 2, n. 5, p. 12-18, 1982.
- AMORIM, H. V. **Fermentação alcoólica: ciência e tecnologia**. São Paulo: Fermentec, 448 p. 2005.
- ATALA, D. I. P. **Fermentação alcoólica com alta densidade celular: modelagem cinética, convalidação de parâmetros e otimização de processo**. 2000. 135 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2000.
- BRASIL. **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA**. Portaria n. 75, de 5 de março de 2015. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 6 mar. 2015. Seção 1, p. 17. Disponível: <<http://portal.imprensa nacional.gov.br/consulta>>. Acesso em: 30 jan. 2018.
- GRASSI, M. C.B.; PEREIRA, G.A.G. **Energy-cane and RenovaBio: Brazilian vectors to boost the development of biofuels**, Industrial Crops & Products, v. 129, p. 201-205, 2019.
- KOHLHEPP, G. **Análise da situação da produção de etanol e biodiesel no Brasil**. Estudos Avançados, São Paulo, v. 24, n. 68, p. 223-253, 2010.
- OLIVÉRIO, J. L. **Brazilian sugar cane sector: evolution, trends, sustainability**. São Paulo, 2008.
- REIS, V. R. **Caracterização de linhagens selvagens de *Saccharomyces cerevisiae* isoladas de processos fermentativos para produção de etanol**. 2011. 80 f. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.
- REIS, V. R. et al. **Bioethanol strains of *Saccharomyces cerevisiae* characterised by microsatellite and stress resistance**. Brazilian Journal of Microbiology, São Paulo, v. 48, n. 2, p. 268-274, 2017.
- SOUSA, D. D. P. et al. **Efeito de aditivo químico e inoculantes microbianos na fermentação e no controle da produção de álcool em silagens de cana-de-açúcar**. Revista Brasileira de Zootecnia, Viçosa, v. 37, n. 9, p. 1564-1572, 2008.
- SOUZA, J. P. et al. **Improvement of Brazilian bioethanol production – Challenges and perspectives on the identification and genetic modification of new strains of *Saccharomyces cerevisiae* yeasts isolated during etanol process**. Fungal Biology, v. 122, p. 583-591, 2018.

CAPÍTULO 19

INFLUÊNCIA DO ESPAÇAMENTO DENDRÍTICO SECUNDÁRIO NA DUREZA DA LIGA CU-14AL-5NI-5FE OBTIDA POR SOLIDIFICAÇÃO UNIDIRECIONAL

Data de aceite: 01/07/2020

Data de submissão: 08/05/2020

Rogério Teram

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo – IFSP
São Paulo – SP
<http://lattes.cnpq.br/4022090335939212>

Givanildo Alves dos Santos

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo – IFSP
São Paulo – SP
<http://lattes.cnpq.br/0046237693009702>

Maurício Silva Nascimento

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo – IFSP
São Paulo – SP
<http://lattes.cnpq.br/0654610769101785>

Antonio Augusto Couto

Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – IPEN
Universidade Presbiteriana Mackenzie – UPM
São Paulo – SP
<http://lattes.cnpq.br/2893737202813850>

Vinícius Torres dos Santos

Termomecânica São Paulo S.A. – TM
Centro Educacional da Fundação Salvador
Arena – CEFSA
São Bernardo do Campo – SP
<http://lattes.cnpq.br/5999855342195422>

Márcio Rodrigues da Silva

Termomecânica São Paulo S.A. – TM
Centro Educacional da Fundação Salvador
Arena – CEFSA
São Bernardo do Campo – SP
<http://lattes.cnpq.br/8275374225297308>

RESUMO: O objetivo deste trabalho é analisar a influência dos espaçamentos dendríticos secundários na dureza da liga Cu-14Al-5Ni-5Fe após o processo de solidificação. A liga foi solidificada em um dispositivo de solidificação direcional ascendente sendo o calor extraído através de refrigeração à água em uma base de aço SAE 1020. As medições dos espaçamentos dendríticos secundários foram obtidas por meio de microscopia óptica com *software* acoplado. As variáveis térmicas de solidificação como velocidade de deslocamento da isoterma *liquidus* (V_L) e taxa de resfriamento (T_R) foram avaliadas em função da distância da superfície de extração de calor. A dureza e os espaçamentos dendríticos secundários foram correlacionados com as posições dos termopares devidamente dispostos no lingote. Em função dos resultados obtidos, conclui-se que maiores taxas de resfriamento apresentam espaçamentos dendríticos secundários mais refinados que propiciam maiores valores de dureza.

PALAVRAS-CHAVE: Liga Cu-14Al-5Ni-5Fe. Solidificação. Dureza. Espaçamentos dendríticos secundários.

INFLUENCE OF THE SECONDARY DENDRITE ARM SPACING ON THE HARDNESS OF THE CU-14AL-5NI-5FE ALLOY OBTAINED BY UNIDIRECTIONAL SOLIDIFICATION

ABSTRACT: The objective of this paper is to analyze the influence of the secondary dendrite arm spacings on the hardness of the Cu-14Al-5Ni-5Fe alloy after the solidification process. The alloy was solidified in an ascending directional solidification device with the heat being extracted through water cooling on a SAE

1020 steel base. Measurements of secondary dendrite arm spacings were obtained by optical microscopy with coupled software. The solidification thermal variables such as tip growth rate (V_L) and cooling rate (T_R) were evaluated as a function of the distance of the heat extraction surface. The hardness and secondary dendrite arm spacings were correlated with the positions of thermocouples duly arranged in the ingot. Due to the results obtained, it was concluded that higher cooling rates have more refined secondary dendrite arm spacings that provide higher hardness values.

KEYWORDS: Cu-14Al-5Ni-5Fe alloy. Solidification. Hardness. Secondary dendrite arm spacings.

1 | INTRODUÇÃO

Condições severas de aplicação de materiais de engenharia e a crescente necessidade de redução de custos e de massa nos produtos atuais exigem desenvolvimentos de novas ligas.

O cobre puro possui excelente condutividade (elétrica e térmica) e elevada resistência à corrosão, porém sua utilização acaba sendo limitada pela baixa resistência mecânica, que apresenta valores de resistência à tração próximos de 170 MPa. Torna-se relevante nesse caso, o estudo de ligas de cobre de modo a assegurar a sua excelente condutividade e resistência à corrosão, bem como obter propriedades mecânicas melhores ampliando assim seu campo de utilização.

O aumento do teor de alumínio em ligas comerciais do grupo bronze-alumínio-níquel (NAB, do inglês *nickel aluminum bronze*) pode ser uma alternativa para aumentar a dureza da liga com redução da massa específica e do custo, uma vez que na liga proposta (Cu-14Al-5Ni-5Fe) são adicionados 4% em massa de alumínio e removidos 4% em massa de cobre em comparação com a liga comercial (Cu-10Al-5Ni-5Fe).

Estudos sobre as transformações de fases que ocorrem durante a solidificação de uma liga são indispensáveis, tendo em vista que variáveis térmicas de solidificação como velocidade de deslocamento da isoterma *liquidus* (V_L) e a taxa de resfriamento (T_R) influenciam na formação das fases e dos intermetálicos.

A solidificação direcional ascendente consiste em resfriar um metal de baixo para cima. Isso é alcançado através do resfriamento da superfície inferior do molde evitando-se ao mesmo tempo a extração de calor pelas paredes laterais do molde (GARCIA, 2007) permitindo minimizar os efeitos de convecção no metal líquido.

Nas ligas de Cu-Al-Ni-Fe o componente alumínio é o principal elemento de liga com teor variando entre 8% e 13%. Maiores quantidades de alumínio são usadas para obter alta dureza e reduzir a ductilidade da liga. No entanto, altos níveis de alumínio (acima de 11%) permitem o surgimento da fase Υ_2 que eleva a propriedade mecânica, no entanto deixa a liga sensível e à corrosão.

O níquel é adicionado em quantidades que variam de 1% a 7% e sua adição melhora a resistência à corrosão, aumenta a resistência mecânica e contribui para o aumento da resistência à erosão em ambientes com alta velocidade de fluxo de água. O ferro por sua vez é adicionado à liga para refinar a estrutura e aumentar a resistência. A baixa solubilidade do ferro a baixas temperaturas nessas ligas é a principal razão para o aparecimento de precipitados ricos em ferro, que podem ser

combinados para produzir as propriedades mecânicas necessárias (RICHARDSON, 2016 apud NASCIMENTO *et al.*, 2019).

As fases presentes na microestrutura das ligas de cobre-alumínio-níquel-ferro são consideradas complexas, pois uma quantidade elevada de intermetálicos se formam durante o resfriamento (CULPAN e ROSE, 1978; WESTON, 1981; JAHANAFROOZ *et al.*, 1983; MEIGH, 2000 apud SANTOS, 2017). As fases da liga estudada podem ser vistas no diagrama de fases do sistema cobre-alumínio com adição de 5% de níquel e 5% de ferro, conforme ilustrado na Figura 1. Considerando 14% (em massa) de alumínio, nota-se a presença de fases sólidas como alfa (α), beta (β), kappa (κ) e gama 2 (γ_2), as quais apresentam morfologias e composições químicas distintas, interferindo, conseqüentemente, nas propriedades mecânicas da liga (FAIRES, 2003; PIERCE, 2004; RICHARDSON, 2016 apud SANTOS, 2017).

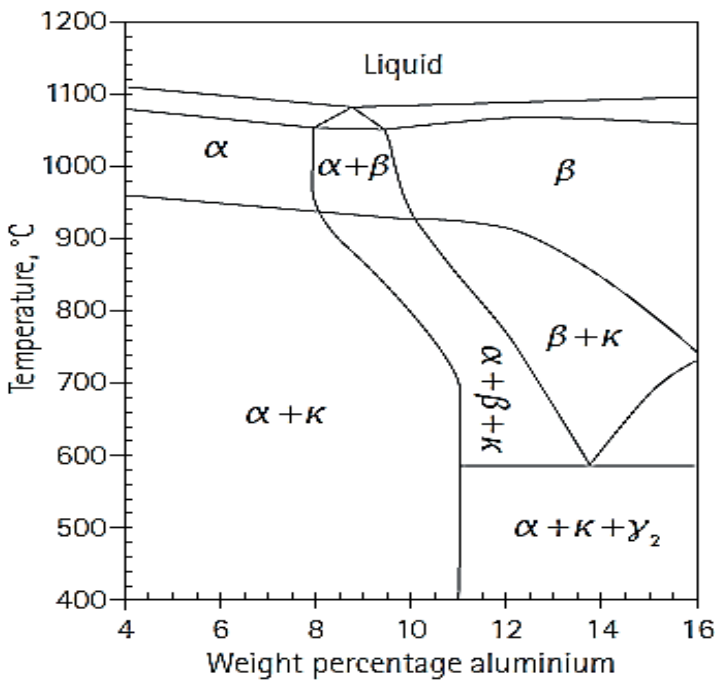


Figura 1 – Diagrama pseudo binário parcial da liga Cu-Al com adição de 5% de níquel e 5% de ferro.

Fonte: MEIGH, 2000 apud RICHARDSON, 2016.

Em ligas de NAB é importante ressaltar a diferença entre o ponto eutetoide ($\beta \rightarrow \alpha + \gamma_2$) com a transformação eutetoide ($\beta \rightarrow \alpha + \kappa_{III}$) que ocorre durante a cristalização como ilustrado na Figura 2.

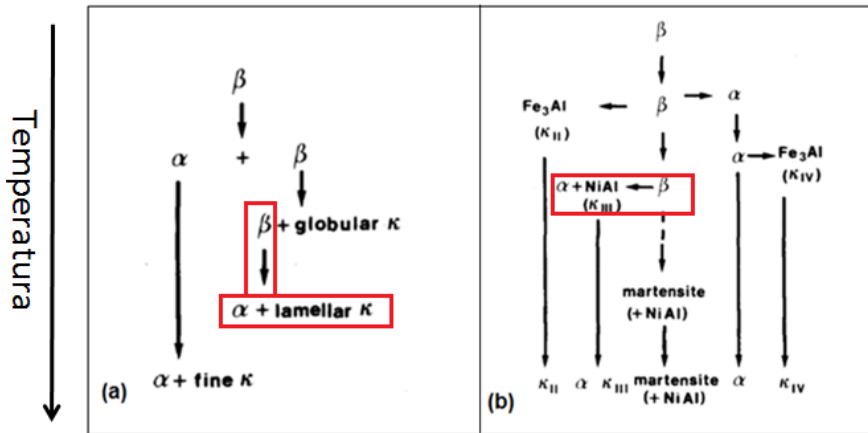


Figura 2 – Desenvolvimento da cristalização, formação das fases e dos intermetálicos em função do resfriamento lento para a liga Cu-10Al-5Ni-5Fe, (a) modelo proposto por CULPAN e ROSE (1978), (b) modelo proposto por JAHANAFROOZ *et al.* (1983).

Estudos relacionados a processos de solidificação mostram a influência da microestrutura resultante nas propriedades mecânicas de ligas metálicas (NASCIMENTO *et al.*, 2017; NASCIMENTO *et al.*, 2018; NASCIMENTO *et al.*, 2019; SANTOS *et al.*, 2017; TERAM *et al.* 2019). O objetivo deste trabalho foi estudar a solidificação direcional ascendente da liga Cu-14Al-5Ni-5Fe por meio do monitoramento da temperatura em função do tempo em pontos específicos do molde de modo que se possa obter correlações entre V_L e T_R em função da distância da superfície de troca de calor (P); obter correlações entre dureza (HB) e as variáveis térmicas; e a correlação entre dureza (HB) e os espaçamento dendrítico secundário.

2 I MATERIAIS E MÉTODOS

O dispositivo de solidificação direcional ascendente tem formato cilíndrico (Figura 3), revestido internamente com material refratário e externamente com chapa de aço. O calor para manter o metal líquido aquecido antes do processo de resfriamento é gerado por resistências elétricas controladas por um painel externo. Dois tubos servem de suporte para a placa de troca de calor e a lingoteira, sendo o externo de aço SAE 1020 e o interno de aço inoxidável AISI 304. Entre estes dois tubos foi colocado cimento refratário para aumentar o isolamento no espaço interno do forno. Um tubo dentro dos dois tubos de suporte direciona o jato de água para uma placa responsável pela remoção do calor do metal fundido. Esta placa de aço SAE 1020 tem 5 mm de espessura. A superfície superior da placa, que estará em contato com o metal líquido, foi lixada com lixas de até 600 *mesh*. A lingoteira, construída de aço inoxidável AISI 304, tem altura de 160 mm, diâmetro interno de 60 mm e externo de 76 mm. Para a aquisição dos dados de temperatura foram utilizados termopares tipo K posicionados a 4, 8, 12, 16, 35 e 53 mm em relação à posição da superfície superior da placa de troca de calor. Estes termopares foram

conectados aos dispositivos de aquisição de dados NI 9212 e NI cDAQ 9171, ambos da marca *National Instruments*, responsáveis por enviar, via cabo USB, os dados coletados para um computador. Os dados de temperatura obtidos pelos termopares foram registrados na frequência de um dado por segundo.

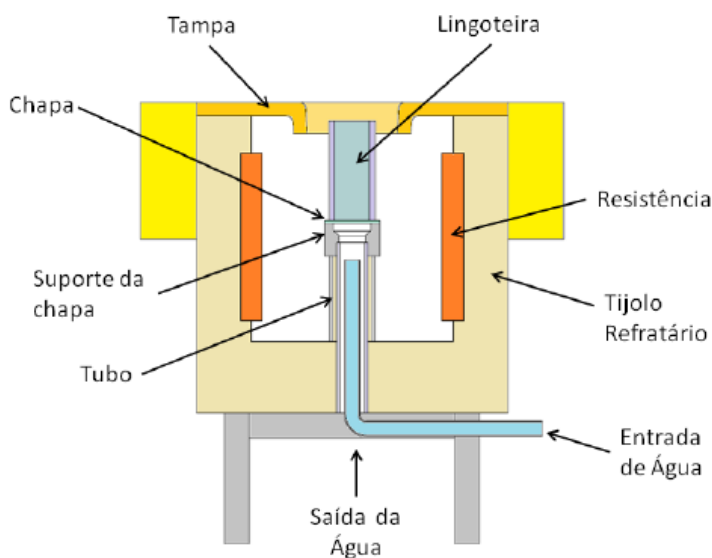


Figura 3 – Ilustração esquemática do forno de solidificação unidirecional ascendente.

Fonte: NASCIMENTO *et al.*, 2017.

A liga foi aquecida à temperatura acima da temperatura *liquidus* em um forno elétrico tipo mufla, da marca Fortelab, utilizando um cadinho de carbeto de silício, da marca Corona, revestido internamente com cimento refratário tipo QF-180, da marca Unifrax. Após a fusão, o cadinho foi removido do forno e o metal líquido foi vazado na lingoteira revestida internamente com cimento refratário posicionada no dispositivo de solidificação direcional ascendente. O resfriamento do metal líquido dentro da lingoteira deu-se através de jato d'água na placa de troca de calor a uma vazão de 18 L/min. A composição química da liga foi analisada utilizando espectrometria por fluorescência de raios X (XRS) usando um espectrômetro rápido da marca Panalytical Magix.

A velocidade de deslocamento da isoterma *liquidus* (V_L) foi calculada pela derivação da função $P = f(t)$. Essa função é a relação entre a posição do termopar (P) e o intervalo de tempo entre o início do resfriamento da liga e o tempo em que a temperatura *liquidus* (T_L) é observada em cada termopar. Com isso, a V_L corresponde à velocidade da passagem frontal de solidificação em cada termopar. Os valores da taxa de resfriamento (T_R) para cada posição no termopar foram

obtidos experimentalmente a partir dos valores de variação de temperatura em função do tempo, a uma temperatura antes e após a temperatura *liquidus* ($\Delta T/\Delta t$). Para análise metalográfica, amostras de seções transversais do lingote fundido foram selecionadas. As superfícies analisadas das amostras foram selecionadas de diferentes posições (P) em relação à superfície de troca de calor. Estas distâncias foram de 4, 8, 12, 16, 26, 35 e 53 mm. Cada amostra foi embutida em baquelite, lixada com lixas de diferentes granulações e polida com pasta diamantada de 6 μm . O reagente utilizado para revelar a microestrutura consistiu de uma solução de 10,7% de HCl, 3,4% de Fe_3Cl e 85,9% de água destilada. O tempo de reação foi de 25 segundos. Um microscópio óptico, modelo AxioVert.A1, da marca Zeiss, foi usado para medição dos espaçamentos dendríticos secundários. As características mecânicas foram avaliadas pelo teste de dureza, segundo norma ASTM E10-12, em um durômetro Wilson UH-930 utilizando carga de 62,5 kgf e esfera de 2,5 mm de diâmetro. O teste de dureza foi realizado em 5 pontos de cada posição no termopar.

3 | RESULTADOS

A Tabela 1 apresenta os resultados da composição química obtida no processo de solidificação da liga.

Elemento	Al	Ni	Fe	Outros	Cu
% massa	14,23	5,44	5,39	0,34	Restante

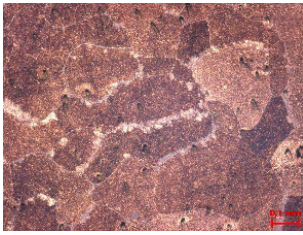
Tabela 1 – Composição química do lingote (% massa).

Na Tabela 2 são mostrados os valores médios de dureza, na escala Brinell, e os valores médios dos espaçamentos dendríticos secundários (EDS) para as posições de 4, 8, 12, 16, 26, 35 e 53 mm, porém não foi possível medir os espaçamentos dendríticos secundários para as posições 4, 8 e 12 mm.

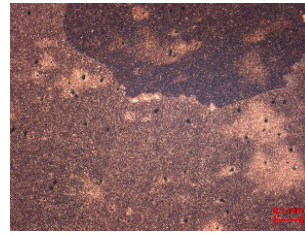
Posição (mm)	4	8	12	16	26	35	53
Dureza (HB)	289,8	283,0	281,8	280,0	279,6	278,0	273,2
EDS (μm)	-	-	-	88,3	102,3	114,6	131,7

Tabela 2 – Valores médios de dureza e EDS por posição.

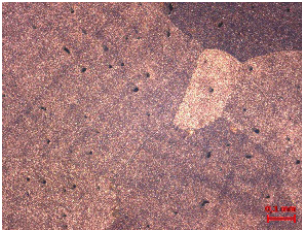
A estrutura obtida no processo de solidificação direcional ascendente da liga Cu-14Al-5Ni-5Fe foi do tipo globular com crescimento dendrítico multidirecional e pode ser observada na Figura 4 com ampliação de 50x.



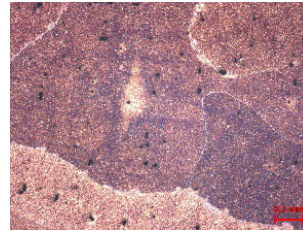
(a) 4 mm



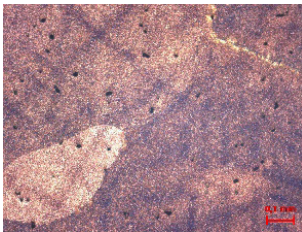
(b) 8 mm



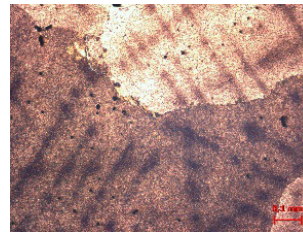
(c) 12 mm



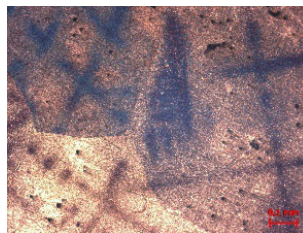
(d) 16 mm



(e) 26 mm



(f) 35 mm



(g) 53 mm

Figura 4 – Microestrutura transversal em relação ao ponto de extração de calor.

Por meio dos dados obtidos durante a solidificação do lingote e tendo como referência a temperatura *liquidus* da liga, obteve-se o gráfico e a equação mostrada na Figura 5. Os valores apresentados nos gráficos a seguir foram obtidos pelo método dos mínimos quadrados utilizando o *software* Origin.

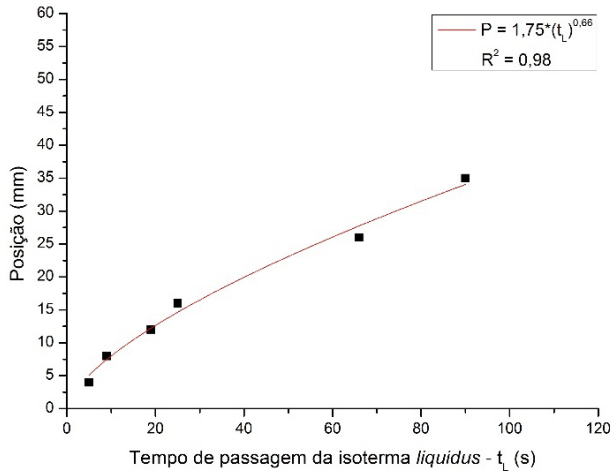


Figura 5 – Posição (P) em função do tempo de passagem da isoterma *liquidus* (t_L).

A Figura 6 apresenta o parâmetro térmico V_L obtido experimentalmente em função da distância até a superfície de troca de calor (P). Os valores da V_L diminuíram com maiores valores de P.

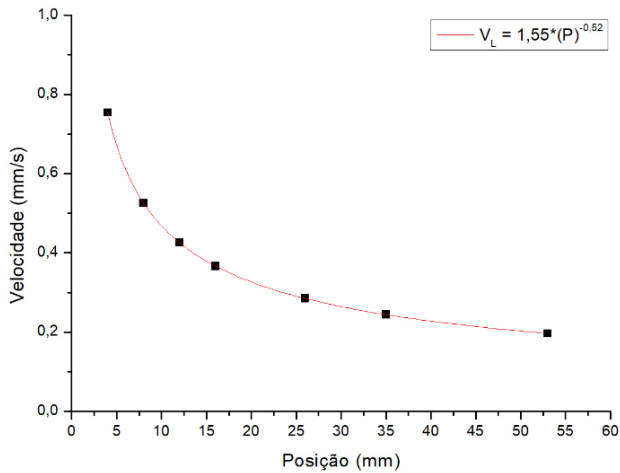


Figura 6 – Velocidade de deslocamento da isoterma *liquidus* (V_L) em função da posição (P).

A Figura 7 mostra o parâmetro térmico T_R , obtido experimentalmente, também em função da distância até a superfície de troca de calor (P). Os valores da T_R , semelhante a V_L , diminuíram com o aumento da distância da superfície de troca de calor (P).

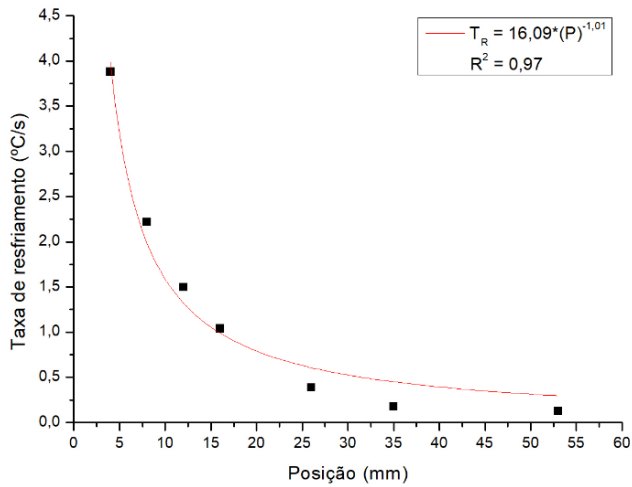


Figura 7 – Taxa de resfriamento (T_R) em função da posição (P).

A Figura 8 permite ver a correlação dos valores de dureza com as posições analisadas definindo uma equação experimental. O gráfico mostra que posições mais próximas da base da lingoteira apresentam durezas superiores em relação as posições mais afastadas da base.

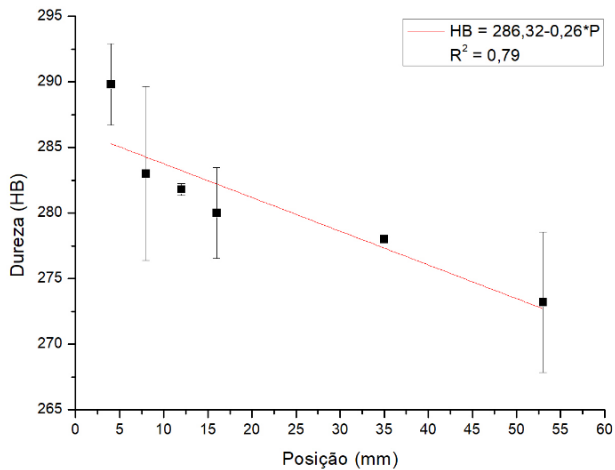


Figura 8 – Dureza em função da posição (P).

A Figura 9 relaciona os valores de espaçamentos dendríticos secundários com as posições analisadas mostrando que posições mais próximas da base da lingoteira apresentam espaçamentos dendríticos secundários menores em relação as posições mais afastadas do ponto de extração de calor.

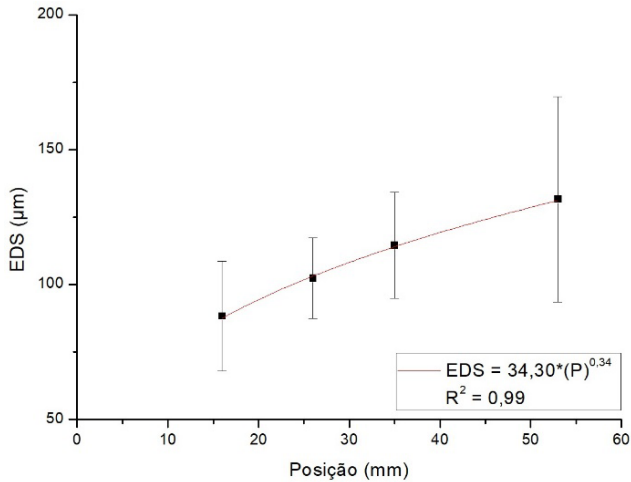


Figura 9 – Espaçamento dendrítico secundário (EDS) em função da posição (P).

Na Figura 10 são relacionados os valores médios de dureza com os espaçamentos dendríticos secundários, notando-se que espaçamentos dendríticos secundários maiores resultam em valores de durezas menores.

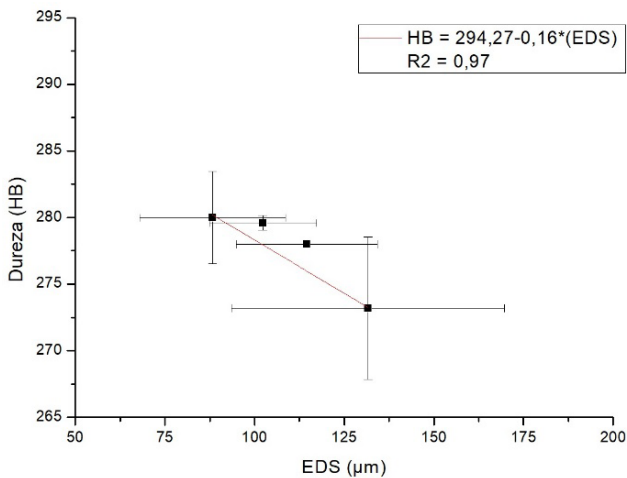


Figura 10 – Espaçamento dendrítico secundário (EDS) em função da dureza.

4 | CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos, nota-se que os valores da velocidade de deslocamento da isoterma *liquidus* (V_L), da taxa de resfriamento (T_R) e os valores médios de dureza são maiores para as posições mais próximas da superfície de troca de calor enquanto que os valores médios de espaçamentos dendríticos

secundários são maiores quanto maior for a distância do ponto de extração de calor.

Analisando as micrografias ópticas transversais para a liga, a mesma apresenta uma morfologia difusa com pequenas microestruturas no interior do grão. Na posição $P = 4$ mm, observa-se que os grãos são menores que os da posição $P = 53$ mm. Na posição $P = 53$ mm, observou-se que os braços dendríticos tinham uma cor escura. A capacidade de observar os braços dendríticos em posições de maior valor de P e não em valores menores mostra que o tamanho do grão aumenta à medida que o valor de P aumenta.

Comparando os valores do EDS com a dureza observou-se que para espaçamentos dendríticos secundários maiores os valores de dureza diminuíram.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Termomecânica São Paulo S. A. e ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo (IFSP) pela parceria no desenvolvimento de pesquisas em solidificações de materiais, e ao apoio fornecido pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

REFERÊNCIAS

ASTM E10. **Standard Test Method for Brinell Hardness of Metallic Materials**; ASTM International: West Conshohocken, PA, USA, 2012.

CRUZ, R. A. **Estudo sobre a influência das variáveis térmicas de solidificação na microestrutura e nas propriedades mecânicas da liga Cu-8,5%Sn**. 2018. Dissertação (Mestrado Acadêmico em Engenharia Mecânica) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, São Paulo, 2018.

CULPAN, E. A.; ROSE, G. Microstructural characterization of cast nickel aluminum bronze". **Journal of Materials Science**, vol. 13, p. 1647-1657, 1978.

FAIRES, K. B. **Characterization of microstructure and microtexture in longitudinal sections from friction stir processed nickel aluminum bronze**. 2003. Thesis (Master of Science in Mechanical Engineering) – Naval Postgraduate School. Monterey, California, 2003.

GARCIA, A. **Solidificação: Fundamentos e Aplicações**. 2. ed. Campinas: Editora da Unicamp, 2007.

JAHANAFROOZ, A. *et al.* Microstructural development in complex nickel aluminum bronzes. **Metallurgical Transaction A**, v. 14A, p. 1951-1956, 1983.

MEIGH, H. J. **Cast and wrought aluminum bronzes properties, processes and structure**. London: IOM Communications, 2000.

NASCIMENTO, M. S. *et al.* Correlação entre variáveis térmicas de solidificação, microestrutura e resistência mecânica da liga Al-10%Si-2%Cu. **Matéria (Rio de Janeiro)**, Rio de Janeiro, v. 22, n. 1, e11774, 2017. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1517-70762017000100403&lng=pt&nrm=iso>. Acesso em 07 maio 2020. Epub 06-Abr-2017. <http://dx.doi.org/10.1590/s1517-707620170001.0106>.

NASCIMENTO, M. S. *et al.* An Experimental Study of the Solidification Thermal Parameters Influence upon Microstructure and Mechanical Properties of Al-Si-Cu Alloys. **Materials**

Research, São Carlos, v. 21, n. 5, e20170864, 2018. <https://doi.org/10.1590/1980-5373-mr-2017-0864>.

NASCIMENTO, M. S.; SANTOS, G. A.; TERAM, R.; SANTOS, V. T.; SILVA, M. R.; COUTO, A. A. Effects of Thermal Variables of Solidification on the Microstructure, Hardness, and Microhardness of Cu-Al-Ni-Fe Alloys. **Materials**, 2019, 12 (8), 1267. <https://doi.org/10.3390/ma12081267>.

PIERCE, F. A. **The isothermal deformation of nickel aluminum bronze in relation to friction stir processing**. 2004. Thesis (Master of Science in Mechanical Engineering) – Naval Postgraduate School, Monterey – California, 2004.

RICHARDSON, I. Guide to nickel aluminum bronze for engineers. **Copper Development Association**, n. 222, 2016.

TERAM, R. *et al.* Influência das variáveis térmicas de solidificação na microestrutura e dureza da liga Cu-14Al-5Ni-5Fe. In: 10º Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação, 2019, São Carlos. **Anais eletrônicos...** Disponível em <<https://doi.org/10.26678/ABCM.COBEP2019.COF2019-0542>>. Acesso em 07 maio 2020.

SANTOS, G. A.; GOULART, P. R.; COUTO, A. A.; GARCIA, A. Primary Dendrite Arm Spacing Effects upon Mechanical Properties of an Al 3wt%Cu 1wt%Li Alloy. In: Andreas Ochsner; Holm Altenbach. (Org.). **Advanced Structured Materials**. 1 ed. Singapore: Springer Singapore, v. 33, p. 215-229, 2017. https://doi.org/10.1007/978-981-10-1602-8_19

SANTOS, V. T. **Correlação entre as variáveis térmicas de solidificação, microestrutura, microdureza e dureza da liga bronze alumínio níquel – CuAl10Ni5Fe5**. 2017. Dissertação (Mestrado Acadêmico em Engenharia Mecânica) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, São Paulo, 2017.

WESTON, G. M. Survey of nickel aluminum bronze casting alloys for marine applications. **Commonwealth of Australia**, Department of Defense, Report MRL-R-807, Melbourne, 1981.

CAPÍTULO 20

INTERFAZ PARA LA OPERACIÓN REMOTA DE UN MANIPULADOR MITSUBISHI MOVEMASTER RV-M1

Data de aceite: 01/07/2020
Fecha de envío: 06/05/2020

Cinemática Inversa; Geometría cerrada; Interfaz y Manipulador.

Luini Leonardo Hurtado Cortés

Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Facultad Tecnológica
Bogotá – Colombia
ORCID: 0000-0002-1675-9471

John Alejandro Forero Casallas

Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Facultad Tecnológica
Bogotá – Colombia
ORCID: 0000-0002-5884-1350

RESUMEN: Este trabajo presenta el desarrollo de una interfaz para la operación remota de un manipulador Mitsubishi RV-M1. Inicialmente, se proponen los conceptos de la cinemática que se utilizarán para el control de movimientos de las articulaciones del manipulador. Posteriormente, se crea un modelo CAD en Solidworks®. El modelo CAD es transferido a Matlab® a través de la utilidad SimMechanics™, para simular los movimientos con los algoritmos de cinemática directa e inversa. Finalmente, se presenta el desarrollo de la interfaz mediante el entorno de desarrollo de interfaces gráficas GUIDE de Matlab® para la operación remota por parte de un operador. La interfaz envía las órdenes a los accionamientos para ejecutar los movimientos del manipulador. Se observó que, de acuerdo con la decisión del operador a través de la interfaz, los movimientos del simulador coinciden con los realizados por el manipulador físico.

PALABRAS CLAVE: Cinemática Directa;

INTERFACE FOR THE REMOTE OPERATION OF A MANIPULATOR MITSUBISHI MOVEMASTER RV-M1

ABSTRACT: This work presents the development of an interface for the remote operation of a Mitsubishi RV-M1 manipulator. Initially, the concepts of kinematics that will be used to control movement of the manipulator's joints are proposed. Subsequently, a CAD model is created in Solidworks®. The CAD model is transferred to Matlab® through the SimMechanics™ utility, to simulate the movements with the direct and inverse kinematics algorithms. Finally, the development of the interface through the GUIDE graphical interface development environment of Matlab® for remote operation by an operator is presented. The interface sends the commands to execute the movements to the manipulator's drives. It was observed that according to the decision of the operator through the interface, the movements of the simulator coincide with those made by the physical manipulator.

KEYWORDS: Direct Kinematics; Inverse Kinematics; Closed Geometry; Interface and Manipulator.

1 | INTRODUCCIÓN

Las aplicaciones de los manipuladores industriales están orientadas a la automatización de procesos para mejorar la calidad, la eficiencia, la seguridad y la productividad. Actualmente se ha incrementado su uso en la ejecución de tareas

de precisión, repetitivas o que representen un riesgo para los seres humanos.

Los manipuladores industriales tienen un gran potencial para su estudio en el ámbito académico, ofreciendo la posibilidad de desarrollar, aplicar y comprobar conocimientos que solo aparecen en los textos y que representan un reto para el estudiante en este campo.

Uno de esos aspectos está en la posibilidad de utilizar algoritmos de cinemática en la operación de manipuladores, ya que en la actualidad se utilizan dispositivos para la operación manual o “*teaching box*” in situ o programas que no son amigables con el operador.

Entre algunos trabajos realizados en este campo se pueden mencionar el de Poncelas (2014), que presenta el desarrollo de una interfaz para la operación de un manipulador Mitsubishi Movemaster EX RV-M1, usando el lenguaje de programación Python. Básicamente, la interfaz es una réplica del *teaching box*, pero ahora es en una pantalla de computador que utiliza comunicación serial para el envío de órdenes de control.

Por otro lado, Caraguay y Benavides (2016) presentan el desarrollo de una interfaz gráfica para la simulación de la cinemática directa y diferencial de manipuladores industriales de hasta seis grados de libertad. Se utilizó como caso de estudio un manipulador IRB 2400 de ABB. La utilidad práctica de la interfaz de simulación es conocer previamente el posicionamiento del accionamiento final y las limitaciones existentes en la estructura física de manipuladores industriales, antes de experimentar con uno real.

Barraza y otros (2016) muestran la utilización de modelos cinemáticos y dinámicos para el control de un manipulador Mitsubishi Movemaster RV-M1 a partir de un diseño CAD en SolidWorks®. El modelo matemático de la dinámica del robot fue desarrollado con base en el principio energético Lagrange-Euler y se utilizó para estimar el torque requerido en la acción de control. Las simulaciones se llevaron a cabo en Simulink®, permitiendo comparar el desempeño del manipulador.

Finalmente, Martínez y Roldán (2017) presentan el desarrollo de una interfaz para la simulación de las trayectorias y cálculo de velocidades y aceleraciones de la herramienta y articulaciones de un manipulador Mitsubishi Movemaster RV-M1. Un sistema de adquisición de datos se utilizó para medir las velocidades y aceleraciones y validar la información con los cálculos en la interfaz.

Como se puede evidenciar, existe un interés por la investigación en el desarrollo de interfaces gráficas para la simulación de movimientos de manipuladores utilizando ecuaciones de cinemática y dinámica, por un lado, y, por otro lado, para la operación de manipuladores utilizando lenguajes de bajo nivel y comunicación serial para el envío de órdenes a los accionamientos de estos equipos.

De acuerdo con lo anterior, en este trabajo se presenta el desarrollo de una interfaz amigable al usuario para la operación de un manipulador industrial Movemaster RV-M1, a partir de la solución de los algoritmos de la cinemática directa e inversa en un simulador de movimientos.

Esta herramienta es útil para actividades de entrenamiento de operadores en la industria y para el estudio académico de comprobación de las ecuaciones de la

cinemática en el espacio cartesiano.

2 | METODOLOGÍA

2.1 Manipulador Mitsubishi Movemaster RV-M1

El manipulador Mitsubishi Movemaster RV-M1, es un equipo articulado de cinco grados de libertad (5 GDL) con una pinza en su extremo. El manipulador, puede soportar una carga máxima de 0,5 kg (Mitsubishi Electric Corporation, 1985), tiene velocidad graduable máxima de hasta 1 m/s, con 629 posiciones (8kb) y utiliza 63 comandos de programación desde la *teaching box*, con 2048 líneas (16kb) (ver figura 1).



Figura 1. Manipulador Mitsubishi Movemaster RV-M1.

Fuente: elaboración propia

El manipulador Mitsubishi Movemaster RV-M1 tiene cinco eslabones cuyos desplazamientos angulares se muestran en la tabla 1.

Eslabón	Barrido
Base	$-150^\circ \leq \theta_1 \leq 150^\circ$
Hombro - brazo	$-30^\circ \leq \theta_2 \leq 100^\circ$
Codo	$-110^\circ \leq \theta_3 \leq 0^\circ$
Antebrazo - muñeca	$-90^\circ \leq \theta_4 \leq 90^\circ$
Muñeca	$-180^\circ \leq \theta_5 \leq 180^\circ$

Tabla 1. Desplazamiento angular de los eslabones.

Fuente: elaboración propia.

2.2 Cinemática Mitsubishi Movemaster RV-M1

La cinemática estudia el movimiento de los cuerpos sin tener en cuenta la causa que lo produce, es decir, se refiere a las propiedades del movimiento basado en la geometría y el tiempo, como la posición, la velocidad y la aceleración. En manipuladores, la cinemática se utiliza para determinar la posición del eslabón final. Para ello, existen dos opciones, la cinemática directa y la cinemática inversa, que se explican a continuación.

2.2.1 La Cinemática Directa

Se utiliza para describir la posición de un objeto en el espacio tridimensional por medio de una descomposición algebraica teniendo en cuenta una referencia fija. Un manipulador tiene una serie de eslabones unidos que toman su punto de referencia de la parte fija, la solución se reduce en tomar los ángulos θ de cada eslabón y obtener las coordenadas de los puntos en el espacio, x , y , y z .

Para resolver este problema se utiliza el método de Denavit-Hartenberg (Hurtado, 2018), que utiliza a_i como la distancia del eslabón, α_i como el ángulo del eslabón, d_i la distancia de la articulación y θ_i como el ángulo de la articulación (ver figura 2).

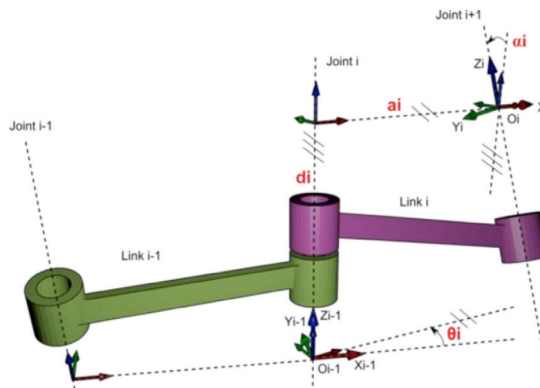


Figura 2. Parámetros Denavit-Hartenberg de un Manipulador.

Fuente: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Classic-DHparameters.png>

La tabla 2, muestra los valores de Denavit-Hartenberg del manipulador Mitsubishi RV-M1.

a_i	α_i	d_i	θ_i
0	90	300	θ_1
250	0	0	θ_2

160	0	0	θ_3
0	90	0	θ_4+90
0	0	147	θ_5

Tabla 2. Valores Denavit-Hatenberg del manipulador Mitsubishi RV-M1.

Fuente: elaboración propia.

Posteriormente, se emplean matrices de transformación homogénea para establecer la posición y orientación de un eslabón con respecto a otro. Esto se hace para los cinco eslabones, con la siguiente estructura:

$$A_i^{i-1} = \begin{bmatrix} \cos \theta_i & -\cos \alpha_i * \sin \theta_i & \sin \alpha_i * \sin \theta_i & a_i \cos \theta_i \\ \sin \theta_i & \cos \alpha_i * \cos \theta_i & -\sin \alpha_i * \cos \theta_i & a_i \sin \theta_i \\ 0 & \sin \alpha_i & \cos \alpha_i & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

La multiplicación de cada matriz da como resultado la siguiente matriz de transformación homogénea, donde se tendrá la ubicación del extremo del manipulador con respecto a una ubicación fija en el origen.

$$T_i^0 = A_1^0 A_2^1 \dots A_i^{i-1} = \prod_{j=1}^i A_j^{j-1} = \begin{bmatrix} R_i^0 & P_i^0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

Donde R_i^0 y P_i^0 relacionan respectivamente, la rotación y la posición del elemento final con respecto a un punto fijo.

2.2.2 La Cinemática Inversa

Se utiliza para dar solución a la mayoría de las aplicaciones donde se requiere determinar los ángulos entre eslabones necesarios para una posición específica del extremo del manipulador. Para obtener esta posición y orientación, se utiliza una referencia de la posición fija ubicada en la parte inferior de la base. Este planteamiento es de uso fundamental para la aplicación práctica de manipuladores. Sin embargo, encontrar la solución numérica por su naturaleza iterativa no es práctico en situaciones con exigencia de respuesta en tiempo real. Se recurre entonces a la solución por medio del método geométrico (Graig, 2006).

La solución por el método geométrico a la cinemática inversa es aplicada a manipuladores con pocos grados de libertad donde se busca encontrar el número suficiente de relaciones geométricas en las que intervendrán las coordenadas del extremo del manipulador, sus coordenadas articulares y las dimensiones físicas de sus elementos.

Se puede empezar encontrando solo los tres primeros grados por el teorema del coseno, debido a que estos son los dedicados a posicionar el extremo solo bastaría con manipular los últimos dos grados para el caso donde el manipulador sea de 5 GDL. Para el caso particular del RV-M1, se encontrarán los tres primeros

grados de libertad, las ecuaciones (3), (4) y (5) son las soluciones de los ángulos θ_1 , θ_3 y θ_2 , respectivamente, para los dos últimos eslabones se tendrá los ángulos de barrido (Barrientos, 2007).

$$\theta_1 = \tan^{-1} \left(\frac{P_y}{P_x} \right) \tag{3}$$

$$\theta_3 = \cos^{-1} \left(\frac{P_z^2 + P_y^2 + P_x^2 - a_3^2 - a_2^2}{2a_2a_3} \right) \tag{4}$$

$$\theta_2 = \tan^{-1} \left(\frac{P_z}{\sqrt{P_y^2 + P_x^2}} \right) - \tan^{-1} \left(\frac{a_3 \sin \theta_3}{a_2 + a_3 \cos \theta_3} \right) \tag{5}$$

Con este método se controlan las tres articulaciones, pero despreciando la distancia que corresponde a la base del manipulador, para no tener errores se hace el siguiente arreglo matemático

$$P_{z2} = P_z - 300$$

2.3 Diseño y Modelado del Manipulador

Para aplicar los algoritmos de cinemática directa o inversa al manipulador, inicialmente se realizó un diseño mecánico utilizando el software Solidworks®, como se muestra en la Figura 3.

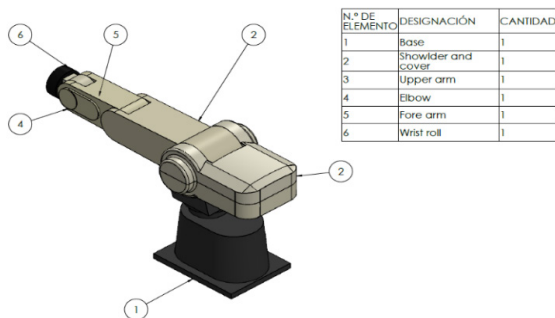


Figura 3. Diseño del Manipulador Mitsubishi Movemaster RV-M1 en Solidworks®.

Fuente: elaboración propia.

Posteriormente, se activó en la librería de Solidworks® el complemento “Simscape Multibody Link” del paquete Matlab®, para exportar el diseño del manipulador y generar el correspondiente diagrama de bloques. Allí se incorporaron las restricciones establecidas en la tabla 1. El diagrama de bloques permite realizar la simulación de movimientos del manipulador como lo haría en la realidad. A este modelo ya se le pueden incorporar los algoritmos de la cinemática directa e inversa (ver figura 4)

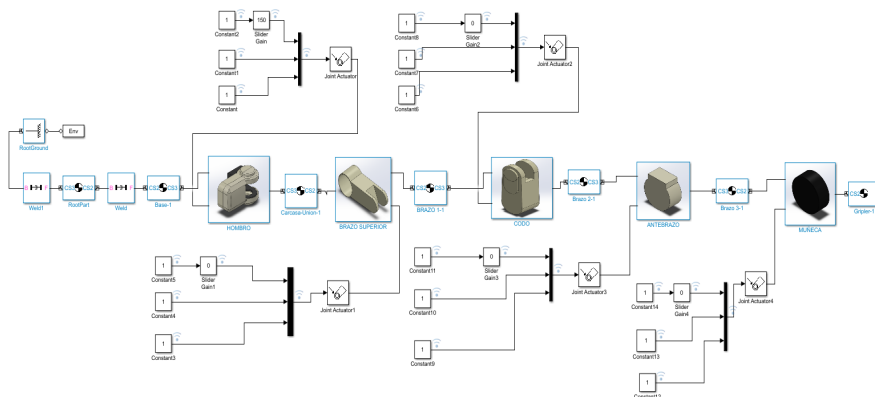
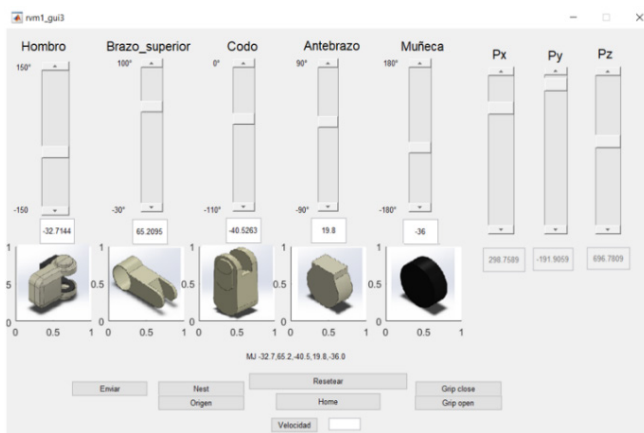


Figura 4. Diagrama de bloques del manipulador en Simscape®.

Fuente: elaboración propia.

2.4 Desarrollo de Interfaz de Operación del Manipulador

Para el desarrollo de la interfaz de operación remota del manipulador, se utilizó la herramienta de desarrollo de interfaces gráficas GUIDE de Matlab®. Se diseñaron ocho (8) botones deslizantes, cinco (5) que dan control utilizando la cinemática directa a través de la variación de sus ángulos y tres (3) que permiten establecer los valores de la cinemática inversa, dependiendo de las posiciones P_x , P_y y P_z del extremo del manipulador. En cada uno se estableció el rango correspondiente a los valores límite de los ángulos presentes en cada eslabón. También se implementaron ventanas de texto que arrojan los valores correspondientes a la cinemática directa e inversa a medida que se van operando los botones deslizantes (ver Figura 5).



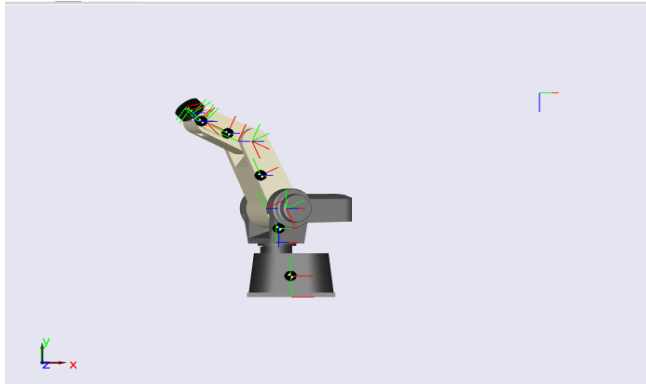


Figura 5. Interfaz de operación con botones deslizantes de cada articulación.

Fuente: elaboración propia.

Es importante tener en cuenta que la eficiencia del mando está fuertemente ligada al correcto desarrollo de las ecuaciones de la cinemática directa e inversa del manipulador, su correcta asociación con cada botón deslizante y el modelo en diagramas de bloque de Simulink®.

3 | RESULTADOS

El desarrollo de la interfaz permitió la operación del manipulador mediante la resolución de la cinemática directa e inversa. Las ordenes generadas por los algoritmos incorporados en la interfaz son enviadas a los accionamientos a través de un sistema de comunicación serial en lenguaje de máquina. Para el inicio de la comunicación serial se utilizó el siguiente código del protocolo

```
delete(instrfind)
SCom=serial('COM3');
SCom.StopBits = 1;
SCom.Parity = 'none';
SCom.DataBits = 8;
SCom.BaudRate = 9600;
fopen(SCom)
fprintf(SCom,'SP 2')
SCom
```

Para una correcta operación, igualmente, se realizó la configuración en código MJ del manipulador Movimaster de acciones como *abrir y cerrar pinza, home, nest, reset*, entre otras, que no son consideradas en la resolución de la cinemática.

Finalmente, se realizaron tareas completas de manipulación con el equipo (ver figura 6). Se pudo comprobar que la resolución de las ecuaciones cinemáticas obtenidas en Matlab®, se corresponde efectivamente con los movimientos realizados

por el manipulador.



Figura 6. Comprobación de movimientos de la operación con la interfaz y el simulador.

Fuente: elaboración propia.

4 | CONCLUSIONES

Este trabajo propuso el desarrollo de una interfaz para la operación de un manipulador Movimaster RV-M1, que hace uso de algoritmos de cinemática directa e inversa.

Se desarrollaron los algoritmos de la cinemática directa con el método Denavit-Hartenberg para encontrar la posición en el espacio de trabajo a partir de la asignación angular, y de la cinemática inversa con el método de geometría cerrada para encontrar la posición de los eslabones a partir de la localización espacial del extremo del manipulador.

El diseño del manipulador en el ambiente CAD de Solidworks® permitió tener en cuenta la configuración de cada uno de los elementos y dispositivos mediante el levantamiento de planos in situ, dado que no existía información detallada de componentes del manipulador.

El diseño en el ambiente CAD fue exportado al entorno de simulación de Simscape Multibody Link de Matlab®, donde se incorporaron los algoritmos de la cinemática directa e inversa de manera que permitió la simulación del manipulador recreando sus movimientos bajo condiciones reales.

El desarrollo de la interfaz en el entorno de desarrollo de interfaces gráficas GUIDE de Matlab® que incorpora los algoritmos de cinemática, permitió una operación amigable del usuario obviando el uso de teaching box.

Las coordenadas o los ángulos del entorno de simulación fueron convertidas a lenguaje de máquina para la ejecución de las ordenes en los accionamientos del manipulador físico. Mediante la operación remota del manipulador, se verificó el desempeño de esta herramienta.

REFERENCIAS

PONCELAS, R. *Desarrollo del software de control de un brazo robotizado mediante Python*. Trabajo de fin de grado, Universidad de Valladolid, Valladolid, 2014.

CARAGUAY, W. y BENAVIDES, L. Interfaz de simulación de la cinemática de robots manipuladores seriales. *Investigatio Research Review*, No. 7, 35-47. 2016.

BARRAZA, A.; RÚA, J.; SOSA, J.; DÍAZ, J.; YIME, E. y ROLDÁN, J. Modelado dinámico del manipulador serial Mitsubishi Movemaster RV-M1 usando Solidworks. Revista UIS Ingenierías, 15 (2), 49-62. 2016.

MARTÍNEZ, D. y ROLDÁN, J. **Cinemática de velocidad y aceleración del robot serial Mitsubishi Movemaster RV-M1. Revista entre ciencia e ingeniería, 11 (22), 84-94. 2017.**

MITSUBISHI ELECTRIC CORPORATION. **Industrial micro-robot system model RV-M1**, Japon, 1985.

HURTADO CORTÉS, L. **Introducción a la robótica industrial y análisis con Matlab**. Editorial Académica Española, 2018.

CRAIG, J. **Robotica**. México: Pearson Prentice Hall, 2006.

BARRIENTOS, A. **Fundamentos de robotica**. Madrid: McGraw-Hill, 2007.

CAPÍTULO 21

LA EVALUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SU INCIDENCIA EN REPROBACIÓN Y DESERCIÓN

Data de aceite: 01/07/2020

M. en C. Marcial Reyes Cázarez

Instituto Tecnológico Superior de Pátzcuaro
mreyes@itspa.edu.mx

RESUMEN: En la evaluación de los conocimientos el identificar una respuesta certera al proceso de enseñanza - aprendizaje asertivamente para determinar acciones de mejora es el principal objetivo de su aplicación; o simplemente tenemos una realidad de imitar un sistema de evaluación ineficaz y falta de objetividad, con base en esta premisa analizamos el contexto de los primeros cuatro semestres de los Estudiantes de la Carrera de Ingeniería Ambiental del Instituto Tecnológico Superior de Pátzcuaro, en donde se presentan los mayores índices de reprobación y deserción, partiendo de una buena planeación, estrategias óptimas del contexto en el que se desenvuelven los Estudiantes, así como evaluaciones eficaces, efectivas y reales, en el que la objetividad de la misma nos permita identificar esos aspectos de mejora en el proceso de enseñanza – aprendizaje, para su reformulación a través de estrategias y herramientas aplicadas eficazmente y tener una nueva retroalimentación que permita evaluar, coevaluar y autoevaluar los conocimientos requeridos para el avance reticular y curricular de los Estudiantes, acorde a lo establecido en el Programa Educativo para cubrir el perfil de egreso ofertado.

ABSTRACT: In the evaluation of knowledge, identifying a correct response to the teach – learning process assertively to determine improvement actions is the main objective of its application; or we simply have a reality of imitating an ineffective and objectivity – free evaluation system based on this premise we analyzed the context of the first four semesters of the students of the Environmental Engineering degree at the Instituto Tecnológico Superior de Pátzcuaro, where the highest rates of failure and desertion are presented, based on good planning, optimal strategies of the context in which the student operate, as well as effective, affective and real evaluations, in which the objectivity of the same allows us to identify those aspects of improvement in the teaching – learning process, for its reformulation through effectively applied strategies and tools and to have a new feedback that allows evaluating, coevaluating and selfevaluating the knowledge required for the reticular and curricular advancement of the students, according to what is established in the educational program to cover the offered graduate profile.

1 | INTRODUCCIÓN

Los propósitos de las evaluaciones van de la mano como tantas veces lo he mencionado respecto al desarrollo sustentable, a menor capacidad de saberes existe un menor desarrollo de las personas y quedan vulnerables a cientos de acontecimientos adversos tales como el despojo de sus principales activos como lo son sus conocimientos, experiencias y saberes tradicionales, sus recursos naturales y sus territorios. (Cázarez, 2020)

Para que un conocimiento no sea inerte, inactivo, es imprescindible que se acompañe de otro conocimiento sobre cuándo y por qué ponerlo en funcionamiento; en resumidas cuentas se trata de aprender a reconocer las variables relevantes de un problema en diferentes contextos, de reconocer las condiciones que demandan una determinada actuación, de adquirir lo que algunos autores han denominado conocimiento condicional o estratégico (Paris y otros, 1983; Pozo, Monereo y Castelló, 2001).

Para la construcción de una respuesta en el Estudiante, es prescindible que el docente lo acompañe en el propio cuestionamiento y que lo dote de conceptos, conocimientos del docente, experiencias y aproximaciones científicas que requiera el estudiante, desgraciadamente no todos los docentes conocemos de estos procesos y actuamos de forma soez ya que en la medida de que el estudiante demanda estos atributos, nos sentimos amenazados y la calificación es la forma de autorregular una condición que se convierte en área de oportunidad en el desempeño docente.

En ese mismo contexto las habilidades intelectuales del orden superior, cuando el estudiante se cuestiona como poder actuar, como poder desarrollarse, como integrar sus conocimientos para lograr “hacer” aquello en lo que se siente más capacitado, es entonces en donde se conjuga la profundidad dejando un poco de lado la amplitud y es cuando se llega al expertis, integrando aquellas condiciones de desarrollo de procesos aplicados a la generación de productos de alta calidad y de un elevado nivel de aprendizaje que aterrizara en la autenticidad e integración como parte formativa de los estudiantes.

El estudiante en lo individual debe conocer sus alcances y limitaciones, esto le permitirá desarrollar por una parte un sentido de búsqueda del conocimiento, que cuando logra dominarlo desarrolla trabajos de mejor calidad, muchas veces pone en fuertes disyuntivas y predicamentos a los docentes ya que el nivel de científicidad lo desarrollan de forma autónoma y así mismo cuando va acompañado del docente se generan sinergias de alto alcance académico, en donde el docente puede incentivar a este tipo de estudiantes invitándolos a publicar en revistas especializadas o que formen parte de un grupo selecto de investigación, consiguiendo lo que en lo deportivo se conoce como Ranqueo y que en lo académico pudiéramos definirlo como la preparación y generación de nuevos talentos científicos.

2 | CONTEXTO

El objetivo del currículum es describir la experiencia laboral, preparación académica, conocimientos y habilidades que posee una persona para realizar determinado trabajo.

Los docentes deben interesarse en la educación, deben tener cuidado y responsabilidad en la forma en que se transmitirán los conocimientos adquiridos planificando y maximizando el aprendizaje. Haciéndolo cada uno de una forma distinta, pero siempre enfocados a un objetivo y procurar que el aprendizaje sea universal y satisfactorio. De esta forma el docente como guía en la enseñanza permitirá el desarrollo integral del estudiante.

Es necesario adecuarse a un mundo globalizado que cambia constantemente,

formando personas con diferentes características y habilidades que puedan dar solución a los diferentes problemas que se presenten en su vida profesional y personal.

Es importante resaltar que los Docentes que imparten asignaturas en los diversos grupos de la División de Ingeniería Ambiental, tienen diferentes perfiles profesionales en la docencia, debido a que la carrera de Ingeniería Ambiental es multidisciplinaria, por lo que cada perfil aporta diversidad en el conocimiento y experiencias al estudiante para que la formación pueda ser integral, inclusiva y de calidad.

3 | OBJETIVO

Identificar las principales causas de deserción y reprobación de los Estudiantes de la carrera de Ingeniería Ambiental del Instituto Tecnológico Superior de Pátzcuaro, para determinar si la cantidad de actividades que forman parte de los instrumentos de evaluación de las asignaturas de los primeros cuatro semestres inciden en una evaluación efectiva y de esta forma poder replantear nuevos derroteros que aseguren la permanencia de los Estudiantes y así mismo hacer más eficiente el proceso de Enseñanza – Aprendizaje.

4 | METODOLOGÍA

Los planes de estudio de los diferentes Institutos Tecnológicos se rigen bajo los lineamientos del Tecnológico Nacional de México. Sin embargo, dentro de la estructura académica de cada división de estudios de cualquier tecnológico se forma una academia, misma que se integrara de acuerdo al lineamiento vigente del TecNM. La academia de acuerdo al lineamiento tiene la función de proponer y desarrollar proyectos en los ámbitos de docencia, investigación, vinculación y gestión académica; así como en los procesos de diseño, innovación, implementación, seguimiento y evaluación curricular. Así mismo, el trabajo académico colegiado, interdisciplinario, responsable, sustentable y comprometido garantiza:

1. La vigencia, pertinencia y actualización de los contenidos educativos de los programas académicos.
2. La formación y desarrollo de competencias profesionales de los estudiantes a través de la adquisición y construcción de conocimientos, con actitudes y habilidades para la aplicación de conocimiento y la solución de problemas.
3. Alcanzar los propósitos educativos de la institución bajo el Modelo Educativo del Siglo XXI orientado a la formación y desarrollo de competencias profesionales, enmarcados en cada programa educativo que se imparten en los Institutos Tecnológicos Federales y Descentralizados dependientes de la Dirección General de Educación Superior Tecnológica. (Pública, 2012)

4. Elevar la calidad educativa mediante acciones encaminadas a promover y fomentar el diseño y desarrollo de actividades y proyectos académicos de docencia, investigación, vinculación y gestión académica.

De acuerdo a lo anterior las instituciones educativas pertenecientes al TecNM deben responder a los cambios históricos, culturales, políticos, económicos educativos y desde luego a los avances tecnológicos de un entorno globalizado. Sin duda, esto implica una constante actualización tanto de la planta académica docente, como de los planes educativos que se imparten en las diferentes instituciones educativas, garantizando que los egresados tengan una formación integral y que respondan a las necesidades de nuestra sociedad.

La zona de influencia comprendida por los municipios: Ario de Rosales, Erongarícuaro, Huiramba, Pátzcuaro, Quiroga, Salvador Escalante, Tingambato y Tzintzuntzan. Es importante mencionar que el Instituto atiende alrededor de 650 Estudiantes de los cuales 68 de ellos, el 10.46% corresponde a la matrícula de la Ingeniería Ambiental.

Acorde al Modelo Educativo Vigente en el Tecnológico Nacional de México, las competencias son la combinación integrada de conocimientos, habilidades y actitudes, que se ponen en acción para un desempeño adecuado en un contexto determinado. Se habla de un saber actuar movilizando todos los recursos. La competencia implica poder usar el conocimiento en el análisis de la realización de acciones y soluciones. El propósito de establecer las competencias, es para saber si los estudiantes son capaces o no de realizar lo que se espera de ellos en las diferentes asignaturas, las competencias son evaluadas a través de diferentes indicadores de alcance.

Estas competencias pueden ser adquiridas mediante un proceso formal de educación, el cuál debe ser integral y completo, satisfaciendo las necesidades de cada uno de los estudiantes en función de su desarrollo integral. Lo importante de este proceso es reconocer las debilidades para trabajarlas y lograr un mayor desarrollo de estas.

Aunque está claro que este desarrollo de competencias debe estar en función del entorno y de la región no podemos dejar de lado la necesidad de actuar en un mundo globalizado el cual es altamente competitivo, se requiere desarrollar la capacidad creativa y la habilidad de innovación para generar soluciones a los problemas por más complejos que estos sean.

Un adecuado manejo del conocimiento, junto con la motivación del docente así como una relación más cercana permitirá a los estudiantes utilizar la información disponible con efectividad para generar respuestas o soluciones eficaces e innovadoras

A través de los diferentes indicadores de alcance el estudiante puede demostrar el grado en el que ha alcanzado una competencia y es necesario identificar los indicadores que son más difíciles de obtener para trabajar en ellos.

Uno de los criterios que han sido identificados de difícil alcance es la creatividad e innovación, por ello es necesario identificar las habilidades y fortalezas

de cada estudiante puesto que cada uno percibe el medio de forma distinta y podrían enfrentar los problemas de diferentes formas con soluciones peculiares.

Es necesario analizar los diferentes indicadores de alcance de las competencias puesto que para cada asignatura éstos pueden ser variables.

Dentro de la planeación didáctica se plantea el desarrollo de instrumentos de evaluación, los cuales representan las evidencias de aprendizaje, que permiten al docente emplearlos como herramientas para obtener evidencias del desempeño del estudiante en un proceso de enseñanza-aprendizaje, midiéndolo a través del uso de indicadores de alcance, reflejando un nivel de desempeño cuantitativo y cualitativo, relacionado con las habilidades adquiridas y/o desarrolladas en el estudiante.

Por lo cual el docente debe plantear instrumentos adecuados a las competencias, habilidades y aprendizajes que busca desarrollar en los estudiantes. Durante el análisis de la planeación se derivaron observaciones en el contenido del apartado de los indicadores de alcance y valor del indicador, comentando que la información a incluir en dicha tabla debe ser la contemplada en la tabla que concentra la descripción de los niveles de desempeño, tomando de esta únicamente el nombre del indicador, dichos indicadores se evalúan a partir de las evidencias de aprendizaje, en las que se busca que el estudiante desarrolle habilidades de trabajo en equipo, integración de conocimientos interdisciplinarios, búsqueda de información y desarrollo de actividades de manera autónoma; al realizar la evaluación del indicador de alcance, se emplea una rúbrica que permite evaluar los instrumentos de evaluación y por ende determinar el valor numérico del indicador de alcance, plasmado en un nivel de desempeño del estudiante en las diversas actividades que desarrolla en las unidades de las asignaturas.

Durante el desarrollo del curso se comentó sobre el número de evidencias de aprendizaje, que se asigna a los estudiantes por unidad, con la finalidad de observar que es necesario seleccionar instrumentos de evaluación que permitan evaluar objetivamente los aprendizajes, desarrollo de habilidades y competencias alcanzadas, sin plantear un gran número de evidencias de aprendizaje “Instrumentos de evaluación”.

El Manual de Lineamientos Académico-Administrativos del Tecnológico Nacional de México (Pública S. d., 2015), establece una serie de especificaciones, con él se obtiene información de relevancia, para tal efecto se tiene:

Basado en el Modelo Educativo para el Siglo XXI: Formación y desarrollo de competencias profesionales se sustenta en las tres dimensiones esenciales del proceso educativo:

La dimensión filosófica: Que se centra en la reflexión trascendental del hombre, la realidad, el conocimiento y la educación como componentes que permiten al ser humano –en su etapa de formación académica– identificarse como persona, ciudadano y profesional capaz de participar, con actitud ética, en la construcción de una sociedad democrática, equitativa y justa.

La dimensión académica: Que asume los referentes teóricos de la construcción del conocimiento, del aprendizaje significativo y colaborativo, de la mediación y la evaluación efectiva y de la práctica de las habilidades adquiridas, que se inscriben

en dos perspectivas psicopedagógicas: sociocultural y estructuralista.

La dimensión organizacional: Que tiene como conectores esenciales la visión y la misión del Sistema, y en cuyo campo, la gestión por procesos y la administración educativa despliegan una perspectiva de excelencia sustentada en el alto desempeño y en el liderazgo transformacional.

El proceso de evaluación de las competencias profesionales es:

Integral: porque toma en cuenta los aprendizajes conceptuales, procedimentales y actitudinales del estudiante, contemplados en los planes y programas de estudio.

Permanente: porque es continua y constante en los desempeños que integran una competencia hasta la acreditación de las asignaturas.

Objetiva: porque integra un conjunto de evidencias que pueden confirmar el alcance de la competencia por el estudiante.

Sistemática: porque es un proceso que permite identificar la evolución del estudiante en el alcance de la competencia y valorarla; así como, registrar cuantitativa y cualitativamente su avance académico.

La forma de evaluación, por su finalidad y el momento en que se aplica:

Diagnóstica: Permite conocer el nivel de dominio de las competencias previas, es de carácter indagador. Su propósito es determinar las estrategias de acción para mejorar el desempeño académico del estudiante.

Formativa: Permite indagar si los estudiantes están desarrollando las competencias de manera adecuada, identificando avances, logros y carencias. Durante la formación y desarrollo de competencias se generan evidencias que dan cuenta tanto del proceso mismo, como del nivel de desempeño alcanzado, y que permiten una evaluación continua; con base en evidencias conceptuales, procedimentales y actitudinales; sustentadas en estrategias de evaluación. Su objetivo es definir estrategias para mejorar el desempeño de los estudiantes de manera oportuna. Esta evaluación se realiza durante el curso.

Sumativa: Es el proceso que permite conocer y valorar el grado de ejecución alcanzado en la aplicación de las competencias establecidas en el curso. Su propósito es asignar calificaciones y tomar decisiones de acreditación.

Los criterios para la evaluación formativa y sumativa se deben dar a conocer a los estudiantes al inicio del curso.

La forma de evaluación, por quien la realiza:

Autoevaluación: Es la que se autoaplica el estudiante (o sujeto) cuando desea conocer y valorar sus propias competencias.

Coevaluación: Es la que se aplican de manera recíproca dos o más estudiantes (o sujetos) para conocer y valorar sus competencias; por eso también se le llama evaluación de pares. Heteroevaluación: Es aquella que realiza una persona acerca del desempeño, trabajo o actuación de otra. Habitualmente, es la que aplica el (la) profesor(a) a los estudiantes. En el TecNM, la heteroevaluación puede involucrar a actores externos a la actividad en el aula, pues supone un ejercicio de apertura del trabajo docente para fomentar la participación interdisciplinaria, el enriquecimiento del proceso educativo formativo y la vinculación con el contexto.

Las estrategias de evaluación incluyen un conjunto de métodos, técnicas e instrumentos como ensayos, reportes, exámenes, rúbricas, lista de cotejo, esquema de ponderación, matriz de valoración, etc., que se aplican según la determinación de las evidencias de las competencias por desarrollar, y se ajusta con la naturaleza y estructura de cada asignatura.

La carrera de Ingeniería Ambiental del Instituto Tecnológico Superior de Pátzcuaro cuenta con el plan de estudios identificado como IAMB-ATA-2013-01 y cumple con la retícula (Ilustración 1).

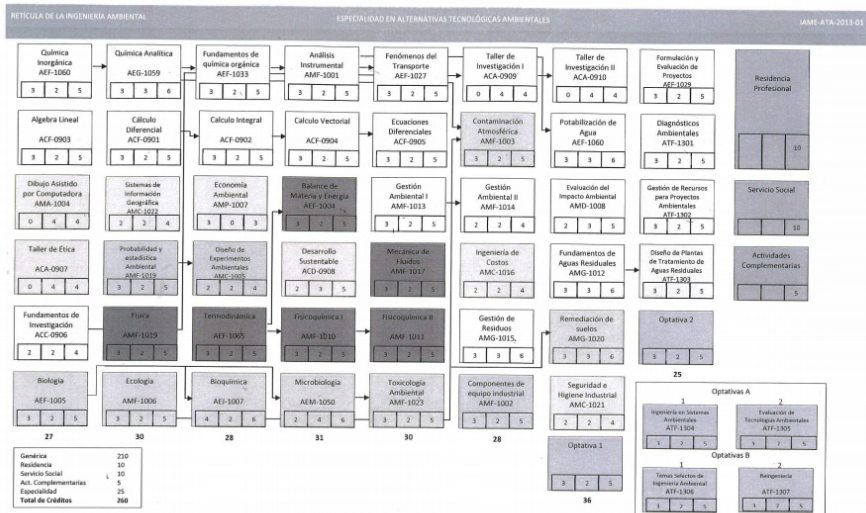


Ilustración 1 Reticula autorizada del Programa Educativo de Ingeniería Ambiental.

La retícula está compuesta por un total de 46 asignaturas, servicio social, residencia profesional y actividades complementarias. En su conjunto representan un total de 260 créditos; de los cuales 210 son de asignaturas genéricas, 25 de materia de especialidad, 10 de servicio social, 10 de residencias profesionales y 5 de actividades complementarias.

Se Realizó la caracterización de las asignaturas obteniendo: 18 asignaturas de ciencias básicas, 7 asignaturas de ciencias de la ingeniería, 17 asignaturas de ciencias aplicadas, 2 asignaturas económico-administrativas y 2 asignaturas de humanidades. Arrojando los siguientes porcentajes: ciencias básicas 39%, ciencias de la ingeniería 15%, ciencias aplicadas 37%, ciencias económico administrativas 5% y ciencias de humanidades 4%. (Ilustración 2)

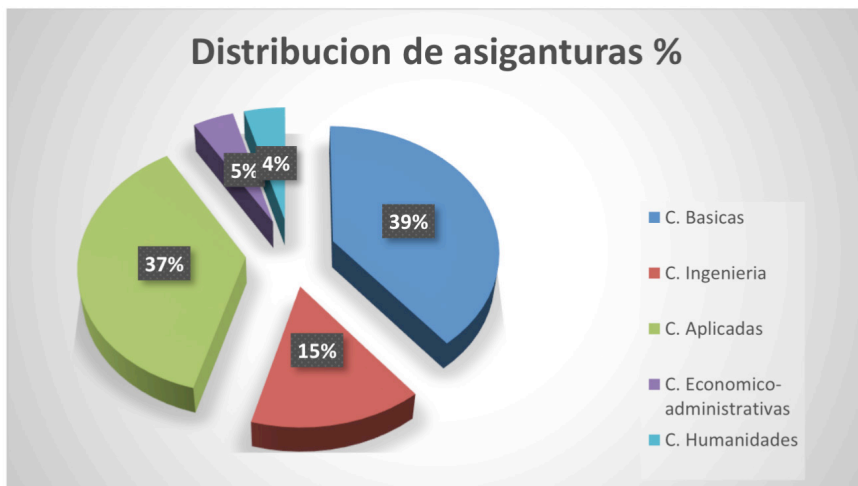


Ilustración 2 Distribución de asignaturas de la retícula del Programa Educativo de Ingeniería Ambiental

5 | RESULTADOS

En la División de Ingeniería Ambiental en el Instituto Tecnológico Superior de Pátzcuaro hay Estudiantes inscritos en los semestres 10, 8, 6, 4 y 2; los más avanzados ya se encuentran realizando residencias profesionales de acuerdo a los lineamientos que marca la normatividad aplicable, de igual forma se encuentran liberando el crédito académico a través de diversas actividades de divulgación de la ciencia y educación ambiental.

El comportamiento de estadía y permanencia del estudiantado es preocupante tal como lo observaremos en la siguiente tabla debido a diversos factores internos y externos de la Institución, así mismo la parte de la evaluación del proceso de enseñanza aprendizaje es un factor determinante para que este fenómeno siga presentándose.

Ciclo Escolar	2010 -2011	2011 -2012	2012 -2013	2013 -2014	2014 -2015	2015 -2016	2016 -2017	2017 -2018	2018 -2019	2019 -2020
N° Estudiantes	35	71	88	83	94	103	100	99	75	71

Tabla 1 Población Estudiantil por Ciclo Escolar

Tal como podemos observar en la tabla anterior la permanencia estudiantil presenta un incremento en la permanencia y nuevo ingreso desde el ciclo escolar 2014 – 2015 y comienza un declive en el periodo 2018 -2019, tal como lo observaremos en el gráfico siguiente.

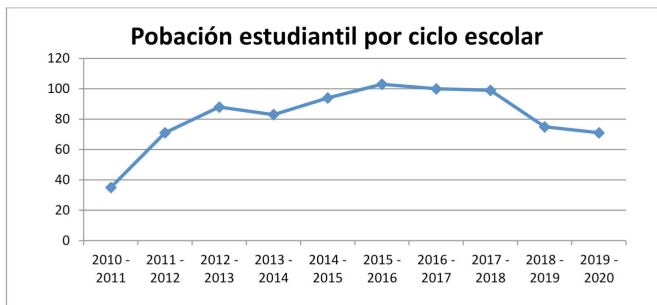


Ilustración 3 Gráfico de población estudiantil

Así mismo es importante no perder de vista los porcentajes de deserción de los Estudiantes, que en cada ciclo escolar abandonan las aulas o simplemente causan baja debido a que por reglamento son dados de baja definitiva debido a la reprobación de las asignaturas, tal como lo veremos y analizaremos en la tabla siguiente.

Ciclo Escolar	2010-2011	2011-2012	2012-2013	2013-2014	2014-2015	2015-2016	2016-2017	2017-2018	2018-2019
% Reprobación y Deserción a 4 semestres	20	38	52	60	50	48	36	41	53

Tabla 3 Reprobación y deserción de los primeros cuatro semestres después del Ingreso de los Estudiantes

También es importante analizar que a mayor número de matrícula por ciclo escolar, también es mayor la permanencia del estudiantado, es decir está tendencia tiene un comportamiento equitativo respecto a la matrícula global, tal como podemos observarlo en la gráfica siguiente, en el que a mayor matrícula de estudiantes menor es la deserción en porcentaje de los mismos.

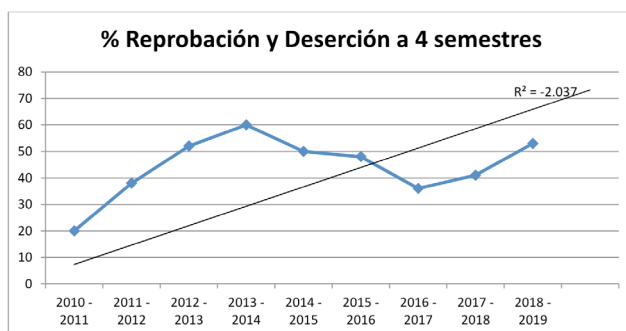


Ilustración 4 Gráfico de porcentaje de reprobación a cuatro semestre

Tal como lo podemos observar en el gráfico anterior la tendencia de deserción es muy marcada sobre todo a menor número de matrícula estudiantil tal como podemos observarlo del ciclo escolar 2014 - 2015 al 2017 – 2018, así mismo es importante definir mediante la retroalimentación de los propios estudiantes que dejan la Carrera ya sea por deserción o reprobación teniendo los siguientes argumentos, los cuales se expresan en la Siguiete tabla.

Causas de Deserción	%
Carga de trabajo muy pesada	50
no le gusta la carrera	27
Trabajan y no pueden con las 2 actividades	18
otros	5

Tabla 4 Causas de deserción en porcentaje de los Estudiantes

Las principales causas de deserción, tal como lo vemos en la tabla 3, se encuentran asociadas la reprobación principalmente ya que a través de la retroalimentación de los Estudiantes que se dan de baja o el sistema los da de baja definitiva por reprobación incide en estos dos indicadores principalmente tal como lo es la reprobación, aunado a que la segunda causa es falta de motivación porque no les gusta la carrera y terminan por ausentarse de las aulas, el otro de los casos es cuando los estudiantes trabajan y la carga de trabajo les permite asistir a clase presencial, pero argumentan que las actividades extra clase primero no les da tiempo de realizarla, segundo un gran número de ellos no cuentan con computadora y/o servicio de Internet, complicando más su situación y terminan por elegir con su trabajo.

Así mismo éntrelos otros factores que es un porcentaje menor tal como lo vemos en el siguiente gráfico principalmente es por dos factores el primero es por falta de recursos económicos para seguir asistiendo a la Institución principalmente entre la población que asiste de las comunidades ubicadas en las Islas del Lago de Pátzcuaro y el segundo factor principalmente son las mujeres de estas mismas comunidades que contraen un compromiso de pareja y terminan abandonando sus estudios.

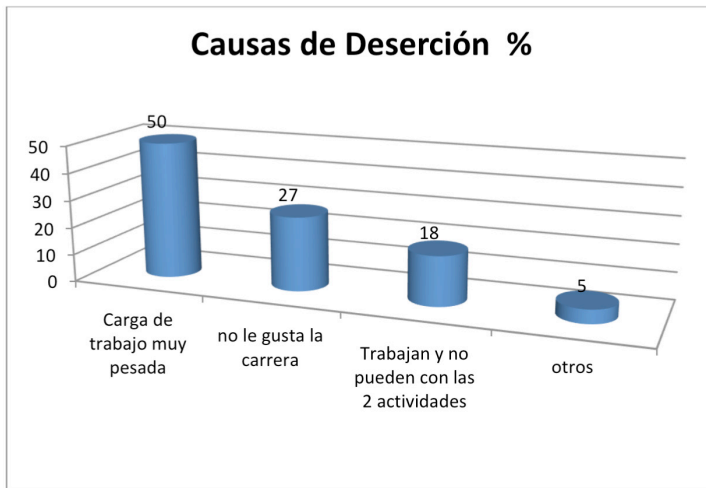


Ilustración 5 Gráfico de las causas de deserción de los primeros cuatro semestres

6 | DISCUSIÓN

La evaluación desde el enfoque formativo además de tener como propósito contribuir a la mejora del aprendizaje, regula el proceso de enseñanza y de aprendizaje, principalmente para adaptar o ajustar las condiciones pedagógicas (estrategias, actividades, planificaciones) en función de las necesidades de los Estudiantes.

Desde este enfoque, la evaluación favorece el seguimiento al desarrollo del aprendizaje de los Estudiantes como resultado de la experiencia, la enseñanza o la observación. Por tanto, la evaluación formativa constituye un proceso en continuo cambio, producto de las acciones de los Estudiantes y de las propuestas pedagógicas que promueva el docente (Díaz barriga y Hernández, 2002).

El docente frente a grupo es el encargado de evaluar los aprendizajes de los Estudiantes. Para ello planifica y conduce procesos de evaluación en diferentes contextos y con diversos propósitos y alcances para el aseguramiento del logro de los aprendizajes de sus Estudiantes. Desde el enfoque formativo, existen tres formas en las que el docente puede realizar la evaluación: la interna, la externa y la participativa (nirenberg, brawerman y ruiz, 2003).

En suma, mediante la evaluación sumativa se establece un balance general de los resultados conseguidos al finalizar un proceso de enseñanza-aprendizaje, y en ella existe un marcado énfasis en la recolección de datos, así como en el diseño y empleo de instrumentos de evaluación formal confiables (Jorba y Sanmartí, 1993, citado por Díaz barriga y Hernández, 2002).

Al finalizar un ciclo escolar o un cierto nivel educativo, la institución y el docente tienen la responsabilidad y el compromiso de expedir ciertos juicios, para acreditar el grado y el supuesto nivel de aprendizaje logrado en él. Por medio de calificaciones finales, certificados o títulos, se pretende avalar que un aprendiz tiene

la competencia necesaria para acceder a otros grados o niveles educativos, o bien, para realizar una determinada práctica de tipo técnico o profesional; sin embargo, por lo general lo que se enfatiza no es eso, sino el grado de éxito o fracaso que tuvo el alumno en el curso o ciclo que finalizó. Especialmente en el caso en que la evaluación sumativa tenga que hacerse para valorar lo aprendido al término de un ciclo que finalizó. Especialmente en el caso en que la evaluación sumativa tenga que hacerse para valorar lo aprendido al término de un ciclo completo, que es cuando más se le suele relacionar con la acreditación.

(Coll y Martín 1993, citado por Díaz barriga y Hernández, 2002) señalan que tan criticables son las posturas que intentan vincular y confundir la evaluación sumativa con la acreditación, como aquellas otras que pretenden lograr una total disociación entre ellas (a final de cuentas, la acreditación es necesaria en el caso de la finalización de ciclos completos), de manera que puedan tomarse decisiones sobre la acreditación a partir de instrumentos que evidentemente no evalúan la significatividad de los aprendizajes.

7 | CONCLUSIONES

Al realizar un profundo análisis respecto al comportamiento de la trayectoria de los Estudiantes de la Carrera de Ingeniería Ambiental del Instituto Tecnológico Superior de Pátzcuaro, existen múltiples factores, los cuales terminan siendo causas efectivas de reprobación y deserción, comenzando principalmente por identificar que una vez que el Estudiante llega a la Institución es responsabilidad de la misma procurar su permanencia y brindar un servicio de educación de calidad, es aquí donde comenzamos por el análisis de las causas de deserción y reprobación expresadas en los resultados que encontramos.

Al obtener una retroalimentación de aquellos estudiantes que causaban baja de la Institución la primera causa es el argumento de Una Excesiva carga de trabajo; en donde el análisis debe de partir desde la estructuración de los horarios del proceso escolarizado y de los requerimientos del Sistema Tecnológico Nacional aunado a los requerimientos de actividades extracurriculares, en donde el sistema por si solo es pesado y requiere dedicación de los estudiantes, sin embargo en la parte de la planeación de las 6 asignaturas por semestre durante los primeros cuatro semestres, el estudiante argumenta que las actividades extraclase, en el caso de algunos docentes son altamente demandantes de tiempo y llegan a considerar exagerado que se exijan hasta 7 actividades para una unidad, o en el caso de las ciencias básicas hasta 150 ejercicios para una sola noche.

Este tipo de prácticas lleva al estudiante que cursa el primer semestre a desmotivarse, así mismo el proceso de asesorías, no siempre tiene el enfoque y objetividad Institucional que conlleva al Estudiante durante los primeros cuatro semestres a tomar decisiones de abandonar el Programa Educativo, ante las acciones que tanto los docentes como los servicios directos que ofrece la Institución no terminan por ser de su agrado. Si bien la Institución como en muchas ocasiones he escuchado la expresión entre compañeros, no les va a resolver todo a los

Estudiantes, al menos debe preocuparse de acciones que son simples como la planificación de horarios y la elección de docentes.

Así mismo la gestión de becas y brindar los servicios mínimos necesarios requeridos para aportar una nueva visión y perspectiva en el Estudiante de nuevo ingreso, es de vital importancia que la evaluación docente que realiza el Estudiante sea real, no sea manipulada y que exista una retroalimentación objetiva y proactiva por parte de las autoridades, que por ende deben de conocer, dominar y reestructurar en busca de evitar el rezago educativo, la reprobación y la deserción.

También es importante que ubiquemos el actuar del docente en el punto central del problema, debido a que si nuestros índices de reprobación al final del curso son elevados, tuvimos 16 semanas para replantear y reestructurar nuestra planeación pero si no tomamos ninguna acción, no debemos tomar como justificación la apatía del estudiante su falta de saberes ni mucho menos que no les interesa la escuela, sin duda alguna estos síntomas son indicadores de una mala planeación y por ende una fallida estrategia docente.

Es importante a través de este estudio recapitular ya que se encuentra identificado el problema para tomar acciones y nuevas directrices de trabajo para seguirnos capacitando, trabajar colegiadamente y evitar la confrontación académica.

Creo de vital importancia mencionar que ante los diversos cambios de Director que la Institución ha tenido en los últimos dos años, es importante que la "H. Junta Directiva", quien toma las decisiones de la Institución valore realmente los perfiles del Cuerpo Directivo, para que aquellos que toman las decisiones tanto de los programas académicos como de la Institución, cuiden estos detalles que debieran ser altamente prioritarios y debieran existir estrategias precisas para su atención y no dejarlos que se posterguen a futuro.

Finalmente creo que Una Institución de Educación Superior en una Región como la que se encuentra el Instituto Tecnológico Superior de Pátzcuaro y su área de influencia, tiene una gran responsabilidad de formar aquellas personas que tienen limitadas condiciones para acceder a la educación formal y que debiéramos incluir a la educación no formal a personas mayores, de forma efectiva y asertiva, dejando de lado aspectos políticos y siendo objetivos en el desarrollo de las personas y transformando una realidad tecnológica en la Región.

BIBLIOGRAFÍA

Cázarez, M. R. (2020). El Derecho de las Mujeres a la Propiedad Agraria, un Contexto de Usos y Costumbres en Ejidos y Comunidades en México. En D. A. Oliveira, *Novas Possibilidades Rumo Ao Futuro Das Ciencias Humanas E Suas Tecnologias* (págs. 88-99). Paraná, Brasil: Atena Editora.

Díaz Barriga, F. y G. Hernández (2002), *Estrategias para la comprensión y producción de textos*, 2ª. ed., México, McGraw-Hill.

Nirenberg, O. y otros (2003), *Evaluar para la transformación. Innovaciones en la evaluación de programas y proyectos sociales*, Barcelona, Paidós.

Pozo, J.I.; Moliere°, C. y Castelló, M. (2001). El uso estratégico del conocimiento. En Coll, C.; Palacios, J. y Marchesi, A. (coord.). *Psicología de la educación escolar*. Madrid: Alianza Editorial; 211-233.

Pública, S. d. (2015). *Lineamientos Académico - Administrativos del tecnológico Nacional de México*. México, D.F: Tecnológico Nacional de México.

Pública, S. d. (2012). *Modelo Educativo para el Siglo XXI* (primera ed., Vol. 1). (A. D. Ruiz, Ed.) México, D.F., México: Tecnológica, Dirección General de Educación Superior.

CAPÍTULO 22

ANÁLISE DE DESEMPENHO DE ESTIMAÇÃO DE CARGA EM BATERIAS DE SÓDIO UTILIZANDO REDES NEURAS ARTIFICIAIS

Data de aceite: 01/07/2020

Data de submissão: 12/05/2020

Norah Nadia Sánchez Torres

Universidade Federal de Integração Latino-
Americana (UNILA).
Foz do Iguaçu – Paraná.
<http://lattes.cnpq.br/0240994718518017>

Helton Fernando Scherer

Fundação Parque Tecnológico Itaipu (FPTI).
Foz do Iguaçu – Paraná.
<http://lattes.cnpq.br/2007107813806779>

Oswaldo Ando Hideo Junior

Universidade Federal de Integração Latino-
Americana (UNILA).
Foz do Iguaçu – Paraná.
<http://lattes.cnpq.br/3515465412634126>

Jorge Javier Gimenez Ledesma

Universidade Federal de Integração Latino-
Americana (UNILA).
Foz do Iguaçu – Paraná.
<http://lattes.cnpq.br/9489296690332026>

RESUMO: Uma possível aplicação de redes neurais artificiais é operar como aproximador universal de funções, mapeando o relacionamento funcional entre as variáveis de um sistema a partir de um conjunto conhecido de valores amostrados. Neste contexto, este trabalho apresenta um método para estimação do estado de carga de baterias empregando técnicas de redes neurais artificiais através de um de banco de dados e modelos da curva de carga de baterias de sódio-cloreto de níquel. O método proposto utiliza rede neural artificial do

tipo *Perceptron* multicamada, uma arquitetura *feedforward* com algoritmo de treinamento do tipo *backpropagation*. São apresentados resultados indicando a capacidade do método em indicar o estado de carga da bateria, assim como, uma análise dos erros estipulados. Antecipando uma conclusão, foi verificado que para esta aplicação as configurações das redes neurais possuem maior impacto no erro de estimação do que o número de camadas utilizado no algoritmo.

PALAVRAS-CHAVE: Estado da carga; redes neurais artificiais; bateria de sódio; sistema de gerenciamento de bateria.

PERFORMANCE ANALYSIS OF CHARGE ESTIMATION IN SODIUM BATTERIES USING ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS

ABSTRACT: A possible application of artificial neural networks is to operate as a universal approximator of functions, mapping the functional relationship between the variables of a system from a known set of sampled values. In this context, this work presents a method for estimating the state of charge of batteries using techniques of artificial neural networks through a database and models of the charge curve of sodium-nickel chloride batteries. The proposed method uses a multi-layer Perceptron artificial neural network, a feedforward architecture, and a backpropagation training algorithm. Results are presented indicating the capacity of the method to indicate the battery charge status, as well as an analysis of the errors obtained. Anticipating a conclusion, it was verified that for this application the configurations of the neural networks have a greater impact on the estimation error than the number of layers used

in the algorithm.

KEYWORDS: State of charge; artificial neural networks; sodium battery; battery management system.

1 | INTRODUÇÃO

A demanda energética no Brasil está em constante crescimento, tendo atingido em fevereiro de 2020 o consumo de 49.661 GWh, indicando um aumento de 2 % em relação a fevereiro de 2019. A participação das fontes renováveis em fevereiro de 2020 atingiu 88,2% da energia elétrica brasileira, entre as que constam a hidráulica, biomassa, eólica e solar (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2020).

Nos últimos anos o Brasil, assim como outros países, adotou políticas que incentivam a participação de fontes renováveis de energia. Neste cenário, juntamente com os avanços tecnológicos e a expansão de diferentes tipos de geração de energia, cresce, de forma acentuada, a necessidade de utilizar sistemas de armazenamento de energia, preferivelmente com grande capacidade de armazenamento, baixo custo e de peso reduzido, além de auxiliar na redução de poluentes para o meio ambiente. Esses novos modelos de sistemas de armazenamento podem trazer grandes benefícios, tais como; (i) eliminar as variações de energia, (ii) aumentar a flexibilidade de interconexão dos sistemas elétricos, (iii) permitir o armazenamento de energia elétrica gerada por fontes renováveis, entre outras (PORTUGAL GONCALVES DA MOTTA *et al.*, 2019).

Um dos sistemas de armazenamento de energia mais empregados e aproveitados são as baterias, que convertem a energia química armazenada em energia elétrica. Este tipo de tecnologia é empregado tanto em aplicações veiculares quanto em sistemas de armazenamento estacionários (PLETT, 2015). Na atualidade, as baterias mais adequadas e com as melhores características do mercado são as de lítio. As baterias de chumbo, apesar de serem as mais poluentes, ainda são as mais econômicas do mercado. No entanto, outras tecnologias estão em constante desenvolvimento, dentre elas, as baterias de sódio-cloreto de níquel, ou simplesmente baterias de sódio. Este tipo de bateria é caracterizado por (i) possuir uma tecnologia verde, (ii) a possibilidade de trabalhar em altas temperaturas, (iii) o alto desempenho em relação aos ciclos de trabalho, entre outras características (ELECTRILABS, 2018).

Diversas tecnologias de baterias, inclusive a de sódio, necessitam de um dispositivo de operação e de segurança, sendo estes elementos conhecidos por seu acrônimo em inglês BMS (*Battery Management System*) (PLETT, 2015). O BMS é composta por uma parte de software e uma parte de hardware, em que as principais funcionalidades do BMS são de controlar a carga e descarga da bateria, garantindo uma operação confiável e segura, atuando principalmente na medição e controle da tensão e corrente, medição e controle de temperatura e medição do isolamento. No aspecto de proteção, o BMS pode possuir funções de estimar o estado de carga, mais conhecido por seu acrônimo em inglês como SOC (*State of Charge*), e o estado de saúde (SOH), utilizando essas informações para proteger a bateria contra danos (HAQ *et al.*, 2014).

Neste contexto, este trabalho se relaciona com uma das funções do BMS, em verificar o comportamento da bateria indicando seu estado de carga, que é uma variável importante no intuito de sustentar a bateria em uma faixa operacional aceitável e verificar o seu *status* real. Destacando que vários tipos de bateria apresentam um comportamento não linear durante as cargas e descargas.

Atualmente, existem diferentes modelos para estimar o SOC, é importante ressaltar que estes não podem ser obtidos diretamente dos terminais da bateria. À vista disso, é necessário desenvolver algoritmos de estimativa que empreguem as variáveis disponíveis, como tensão, corrente e temperatura (JULIÁN *et al.*, 2015). Vale ressaltar que os métodos clássicos necessitariam de parâmetros variáveis, exigência de equilíbrio no estado da bateria, acesso ao eletrólito, entre outras dificuldades.

À vista disso, sistemas inteligentes como as redes neurais artificiais (RNA), pode ser uma importante ferramenta para determinar uma correlação existente entre as variáveis medidas e o SOC, permitindo seu monitoramento ao longo do processo de carga/descarga. É importante indicar que uma das limitações do método é a necessidade de uma grande massa de dados de baterias semelhantes (MARTÍNEZ-BERTRAN, 2017).

Em resumo, a presente pesquisa apresenta um método que emprega RNA para estimar o SOC de baterias, apresentando os resultados obtidos e os ajustes empregados no decorrer da investigação para chegar às curvas de saída apresentadas.

2 | PROPOSTA DE MÉTODO

O SOC da bateria de acordo com Zong-You Hou (2017) pode ser definido como a capacidade residual na bateria em relação à capacidade nominal, expresso na equação (1).

$$SOC(t) = \left(\frac{Q(t)_{CAPACIDADE_RESIDUAL}}{Q_{CAPACIDADE_NOMINAL}} \right) \quad (1)$$

Para esta medição, em geral são utilizados os métodos chamados de convencionais, que se apoiam na medição direta, na medição específica da gravidade, na medição da intensidade (*Coulomb Counting*), e na medição da tensão de circuito aberto (OCV) (CHAOUÍ; IBE-EKEOCHA, 2017) a nonlinear autoregressive with exogenous inputs (NARX).

Neste trabalho, este processo será indicado pelo método de inteligência artificial de RNA. Devido à fácil inserção das RNAs na grande maioria das tecnologias disponíveis, este tipo de inteligência artificial pode ser uma opção interessante para determinar o SOC das baterias. A Figura 1 representa o fluxograma do método proposta, e as descrições dos passos.

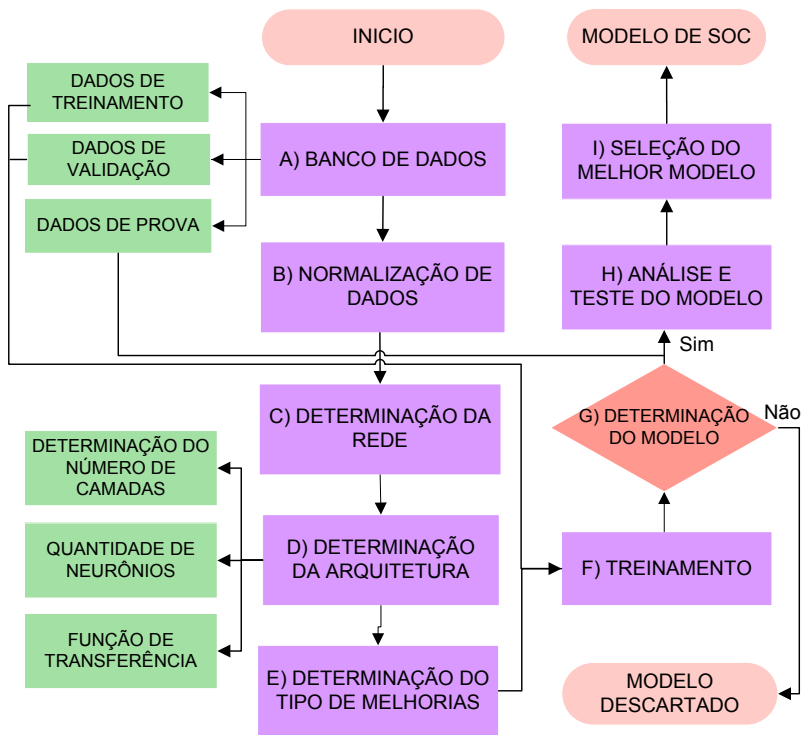


Figura 1: Fluxograma do método proposto.

- a. **Banco de Dados:** Foi adquirido a partir de uma bateria de sódio de 10 células e uma bateria de lítio comercial. Os dados representam cinco conjuntos, aproximadamente 11.000 amostras de corrente, tensão e temperatura por conjunto. Este banco de dados será utilizado para treinamento, validação e teste.
- b. **Normalização de Dados:** Os dados são normalizados convertendo em PU, sendo necessários os valores nominais da bateria de sódio e lítio. Para a bateria de sódio foi utilizada uma corrente nominal de 9,5 A, tensão nominal de 25,8 V; capacidade nominal de 38 Ah, e a temperatura de 270 °C. Para o lítio foi empregada a corrente nominal de 520 mA, tensão nominal de 3,7 V, a capacidade nominal de 2,34 Ah, temperatura de 60 °C. Para ambos os casos é considerado o %SOC a 100%.
- c. **Determinação da Rede:** É definida a rede *Perceptron* multicamada (MLP), por ser a mais indicada para resolução de problemas de padronização (SILVA; SPATTI; FLAUZINO, 2010).
- d. **Determinação da Arquitetura:** Para a aprendizagem foi definida a ar-

quitetura *Feedforward* de várias camadas. Isto faz com que os pesos e limiares sinápticos dos neurônios se ajustem automaticamente em cada interação. Nesta etapa ainda se define o número de camadas, número de neurônios e a função de transferência a ser empregada.

- e. **Determinação do Tipo de Melhoria:** Será utilizada a melhoria *Levenberg – Marquardt* (BENATTI, 2017; GAVIN, 2019; SINGH, 2012), que ajuda na velocidade de convergência, pois o algoritmo original, responsável por ajustar os valores das matrizes de peso das MLP em relação à direção oposta do erro quadrático da função gradiente, possui uma convergência lenta.
- f. **Treinamento:** Foi utilizado o *backpropagation*, para tornar o processo de convergência mais eficiente (SILVA; SPATTI; FLAUZINO, 2010). Três parâmetros foram escolhidos, corrente, tensão e temperatura. Maiores detalhes serão apresentados nos resultados.
- g. **Determinação do Modelo:** O modelo é avaliado para que seja consistente com o resultado, do contrário, é descartado até que a melhor representação do modelo do estado da carga seja determinada.
- h. **Análise e Teste do Modelo:** Logo após ser determinado, é analisado e testado com dados de entrada que não fizeram parte do treinamento, para determinar a curva de saída mais consistente.
- i. **Seleção do Melhor Modelo:** É selecionado o melhor modelo, as saídas são representadas através de gráficos (comparadas e analisadas) e os erros são calculados.

3 I IMPLEMENTAÇÃO DO MÉTODO

Para a realização do algoritmo foi utilizado o MATLAB®, com o *Toolbox Neural Network/Data Manager (nntool)*. Os dados utilizados foram obtidos em bancadas de ensaio de ciclagem de baterias, sendo um conjunto de pontos de corrente, tensão e temperatura medidos a partir de uma bateria de sódio.

Para esta etapa foram utilizados os dados da bateria operada com 3,8 A como referência. Os dados de entrada e saída são adicionados ao Toolbox, a rede é criada e a arquitetura *feedforward* é escolhida com o algoritmo *backpropagation* para um processo de convergência mais eficiente. Na sequência, é definido o tipo de melhoria (Levenberg – Marquardt), número de camadas, número de neurônios e o tipo de função de transferência (linear ou tangente hiperbólica). Finalmente, a rede inicia o treinamento. Um exemplo do modelo utilizado para o treinamento é dado na Figura 2.

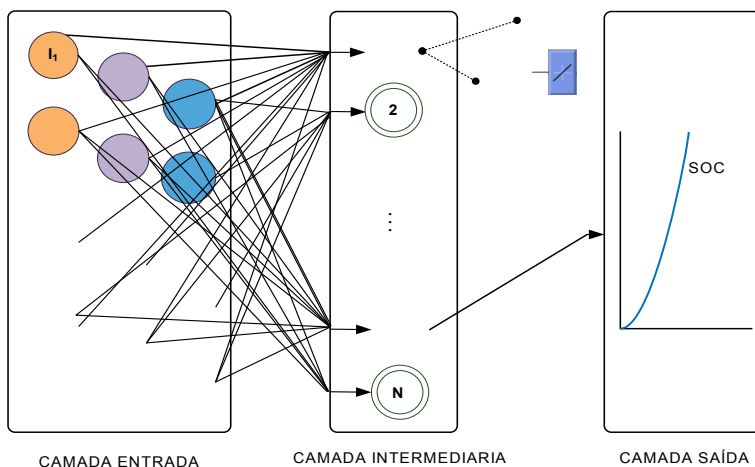


Figura 2: Representação da rede neural utilizada.

Para os testes realizados, foram avaliadas redes com duas camadas, variando o número de neurônios de 7, 10 e 28. Os dados de entrada da bateria de sódio (cargas em 3 A, 7,6 A e 11,4 A) e lítio (carga em 0,520 A) foram introduzidos na RNA e, em seguida, as saídas do SOC estimado foram apresentadas.

4 | ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Nesta seção são apresentados os resultados obtidos com modificações dos os parâmetros de entrada, ajustes da função de transferência, variações de temperatura, além dos erros encontrados. Em cada caso, a RNA é treinada com um conjunto de parâmetros referente a 3,8 A e a estimação do SOC é verificada com dados correntes de 3 A; 7,6 A e 11,4 A para a bateria de sódio, e 0,52 A para a bateria de lítio.

4.1 Análise 1: Condições Nominais

Para o primeiro estudo de caso, o número de neurônios é 10, com uma única função de transferência, tangente hiperbólica, tanto na camada oculta quanto na saída. Os resultados da utilização da rede treinada com os dados de baterias de sódio e lítio são dados na Figura 3.

Foram observados comportamentos irregulares nas curvas, tais como picos de carga nas curvas da bateria de sódio. Este comportamento pode ser reflexo da característica não linear de seu carregamento, que passa por um processo de carga do material ativo de ferro antes de iniciar as reações com o níquel em sua composição. Para o caso do lítio, foram observadas igualmente irregularidades, como pequenas oscilações, destacadas na figura.

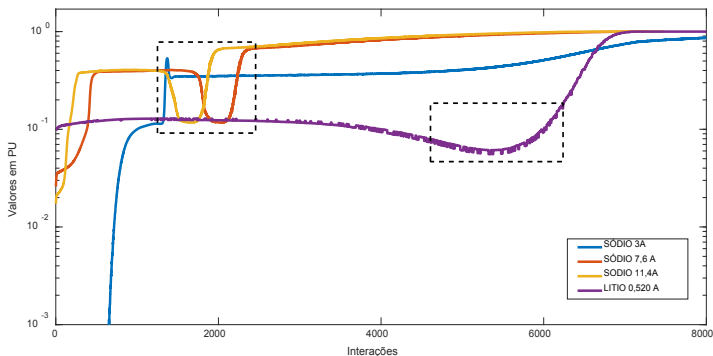


Figura 3: SOCs determinado para o Caso 1.

4.2 Análise 2: Variação do Número de Neurônios

Para o segundo caso, o número de neurônios é alterado para 28, mantendo as mesmas condições que o caso anterior. Nesta situação ainda foram observadas irregularidades na estimação do SOC, conforme mostrado na Figura 4, com quedas bruscas nos valores para a corrente de 3 A. Para as correntes mais altas é observada uma separação da curva. Para o lítio, as oscilações continuam e uma linha paralela ao eixo “y” aparece no final da carga.

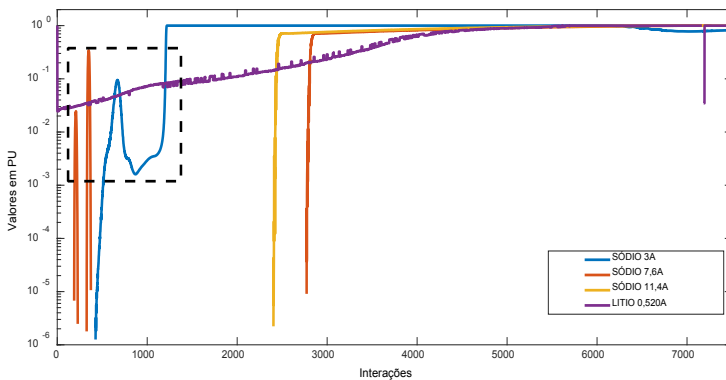


Figura 4: SOCs determinado para o Caso 2.

4.3 Análise 3: Variação do Número de Neurônios e da Função de Transferência

Neste caso, o número de neurônios é reduzido para 7 e a função de transferência na camada oculta foi alterada para linear. Nestas curvas representadas na Figura 5, observa-se que os picos não são muito acentuados como nos casos anteriores e representam corretamente a alteração no modo de carga da bateria, que inicia com seguimento de corrente e muda para seguimento de tensão. O lítio para este modelo de rede não apresenta oscilações ou picos.

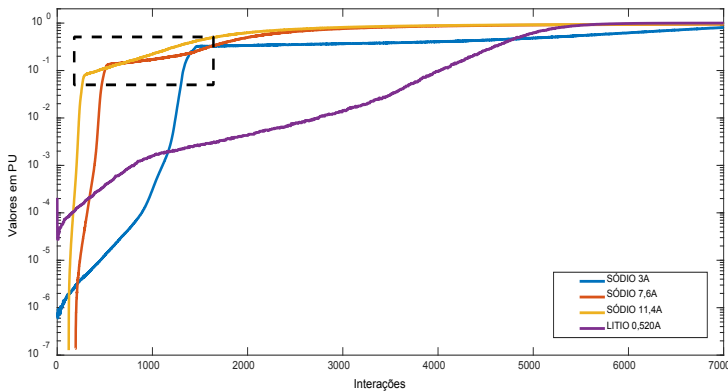


Figura 5: SOC's determinado para o caso 4.

4.4 Análise 4: Variação da Temperatura

Nesta análise, mostrado na Figura 6, foram comparadas curvas em que as correntes sofrem uma diferença de temperatura de forma proposital (aumentado de 10%, 25% e 40%), visando verificar a sensibilidade da RNA para este tipo de variação dentro da bateria.

Os parâmetros adotados no caso anterior foram preservados (7 neurônios). Os quadros indicam os pontos com maior diferença por causa das variações nos dados de entrada, mas foi possível observar um comportamento satisfatório na representação do SOC.

Analisando a curva da corrente de 3 A, é razoável verificar que o comportamento da SOC é similar, com o aumento da temperatura o comportamento no início da curva tende a ser de menor valor.

No caso da corrente de 7,6 A é possível observar o aumento na distância entre as curvas, condizente com o comportamento real da bateria.

Para corrente de 11,4 A, uma diferença é percebida apenas quando começa a carregar a uma tensão constante, pode-se observar que a temperatura não afeta o início, e isso ocorre, porque em correntes mais altas, a carga é mais rápida, enquanto em tensão constante mais lenta e a influência da temperatura pode ser apreciada.

Vale ressaltar que o caso do lítio foi um experimento bem-sucedido, pois a estimação do SOC é realizada em uma RNA treinada com dados da bateria de sódio. O objetivo era demonstrar a capacidade da rede em interpretar os dados de outro tipo de bateria, uma vez que os dados são normalizados pelos seus respectivos valores nominais. Foi observado um comportamento adequado na indicação do SOC, representando inclusive as variações sofridas com as temperaturas mais altas, especialmente nos primeiros 60% da carga total.

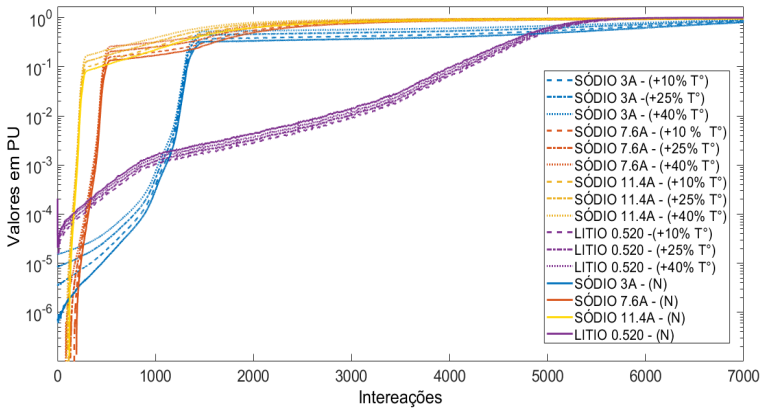


Figura 6: Influência da Temperatura no SOC.

4.5 Erros do Modelo Proposto

Após a realização das análises, os erros são determinados conforme a equação (2) (CABRAL, 2004). É destacado que a rede neural artificial é treinada com um conjunto de parâmetros de 3,8 A e a saída é testada com dados correntes de 3 A; 7,6 A, 11,4 A e a de Lítio. O conjunto de resultados é mostrado na Tabela 1 para cada análise feita

$$E_{ABSOLUTO} = \left| (Saída_{Testada} - Saída_{Treinada}) \right| * 100 \quad (2)$$

Comparando primeiramente os três primeiros casos, é visto que o para um número menor de neurônios com a função hiperbólica (caso 3) foi obtido o menor erro de estimação, indicando que outros ajustes podem ter impacto maior na sensibilidade do estimador. Para os casos seguintes (ΔT), o erro do lítio aumento à medida que aumenta a temperatura, isso se deve ao fato de ele não dispor de um melhor desempenho em altas temperaturas. Para o sódio, causa uma ligeira melhoria nos erros ao aumentar a temperatura.

ERROS	Sódio_3 A	Sódio_7,6 A	Sódio_11,4 A	Lítio_0,52 A
Caso 1	0,8164%	5,0724%	3,4543%	2,7193%
Caso 2	0,8141%	2,6171%	2,8793%	2,5679%
Caso 3	0,7732%	1,6037%	2,7438%	0,4881%
Caso 4 (+10% T°)	1,8727%	1,9941%	2,4379%	0,2436%
Caso 4 (+25% T°)	1,4855%	1,3948%	1,5083%	0,3261%
Caso 4 (+40% T°)	0,2269%	0,0618%	1,3789%	0,4769%

Tabela 1: Erros de estimação do SOC.

Com o objetivo de corroborar os resultados, assim como de verificar a sensibilidade da rede neural artificial foram realizadas novas análises para cada caso estudado. Para estas condições, a rede neural é treinada e testada com os mesmo dados de corrente. Por exemplo, para o caso 1 referente à Sódio_3A, a rede neural é treinada com dados de corrente de 3 A e testada com dados de corrente de 3 A mantendo as mesmas condições que o caso 1 (número de neurônios igual a 10 e função de transferência tangente hiperbólica). Isto foi realizado para todos os casos estudados, e é importante destacar que a diferença só ocorre na etapa de treinamento. Os resultados são apresentados na Tabela 2.

ERROS	Sódio_3 A	Sódio_7,6 A	Sódio_11,4 A	Lítio_0,52 A
Caso 1	0,0746%	0,1292%	0,0339%	0,2542%
Caso 2	0,1984%	0,1338%	0,0591%	0,2948%
Caso 3	0,0411%	0,0129%	0,0349%	0,1415%
Caso 4 (+10% T°)	0,0669%	0,3833%	0,0779%	0,0662%
Caso 4 (+25% T°)	0,2246%	0,0643%	0,0411%	0,0798%
Caso 4 (+40% T°)	0,0606%	0,0728%	0,0864%	0,0929%

Tabela 2: Erros de estimação do SOC. Modificação no treinamento.

Algumas conclusões podem ser corroboradas. Entre o caso 1 e 2 existe um leve aumento nos erros, isso indica que com o aumento da quantidade de neurônios dentro da camada oculta o erro inicialmente tende a aumentar. Na seguinte análise, pode se perceber que com modificação da função de transferência e a diminuição da quantidade de neurônios os erros diminuem, sendo indicado o uso da função linear para esta tipo de análise. Para o caso 4 (ΔT°) o erro do lítio aumento à medida que aumenta a temperatura como já explicado anteriormente.

Apesar das variações observadas, acredita-se pelos resultados que a técnica empregada pode ser promissora. Vale ressaltar que ainda existe uma ampla gama de ajustes que podem ser testados para conseguir uma RNA adequada para estimação do SOC das baterias de sódio. Possíveis ajustes a serem testados incluem maior quantidade de dados, outros ajustes na curva de treinamento, variações no número de vezes que a rede é treinada, entre outros aspectos.

5 | CONCLUSÕES

Este trabalho tratou da implementação e análise de resultados de uma rede neural artificial para a estimação do estado de carga de baterias, com a aplicação em curvas de carga de uma bateria de sódio.

Os resultados se mostraram promissores para alguns casos, principalmente quando a carga era realizada em valores mais próximos dos dados utilizados para o treinamento da RNA. Com isso, ficou evidente a necessidade de adquirir mais dados de entrada para o treinamento da rede, para que esta possa responder melhor às variações de corrente e temperatura ao longo da carga da bateria.

Outro ponto importante de ser destacado é o funcionamento mais eficiente de uma rede com menor número de neurônios em sua camada oculta. Este fato pode indicar uma maior sensibilidade aos parâmetros de ajuste do que ao número de neurônios para esta aplicação da RNA.

Trabalhos futuros vão seguir incrementando o banco de dados, acrescentado curvas de carga que representem outras situações de variação de correntes e temperatura. Também serão investigados com mais profundidade os impactos de cada ajuste, visando deixar clara a contribuição de cada parâmetro na sensibilidade em estimar o SOC. Uma proposta futura é a implementação da metodologia para operação em tempo real em uma bateria de sódio.

AGRADECIMENTOS

Esta pesquisa conta com o apoio e fomento do Programa Institucional Agenda Tríplice (Edital PRPPG 137/2018) da Universidade Federal de Integração da América Latina (UNILA), da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq (Nº 307223/2017-5 e Nº 407531/2018-1), ao Instituto de Tecnologia Aplicada e Inovação (ITAI) e do projeto de pesquisa P&D COPEL 2866-0452/2016. Os autores, em nome do Grupo de Pesquisa em Energia e Sustentabilidade Energética - GPEnSE, agradecem pelo apoio e fomento.

REFERÊNCIAS

BENATTI, K. A. **O Método de Levenberg-Marquardt para o Problema de Quadrados Mínimos não Linear**. Simpósio de Métodos Numéricos em Engenharia, n. 4, 2017.

CAMARILLO-PEÑARANDA, J.; SAAVEDRA-MONTES, J.; RAMOS-PAJA, C. **Recomendaciones para Seleccionar Índices para la Validación de Modelos**. Tecnológicas, p. 109, 2013.

CABRAL, P. **Erros e Incertezas nas Medições**. Técnico, Portugal: Instituto Superior de Engenharia do Porto, 2004.

CHAQUI, H.; IBE-EKEOCHA, Chinemerem C.. **State of Charge and State of Health Estimation for Lithium Batteries Using Recurrent Neural Networks**. IEEE Transactions on Vehicular Technology, v. 66, n. 10, p. 8773–8783, 2017.

ELECTRILABS. **Sodium Nickel Batteries**. 2018. Relatório Técnico, Sudáfrica. Disponível em: <<https://www.electrilabs.co.za>>.

GAVIN, H. P. **The Levenburg-Marquardt Algorithm For Nonlinear Least Squares Curve-Fitting Problems**. Duke University, p. 1–19, 2019.

HAQ, I. N.; LEKSONO, E.; IQBAL, M.; **Development of battery management system for cell monitoring and protection**. International Conference on Electrical Engineering and Computer Science (ICEECS), p. 203–208, 2014.

RODRÍGUEZ P., J. D., Gómez P., R. A., Campos F., A. F. **Sistemas de gestión de baterías (BMS) y su importancia para los sistemas de almacenamiento de baterías (BESS)**. Tecnura, v. 19, p. 51–56, 2015.

MARTÍNEZ-BERTRAN, J. Métodos de estimación del estado de carga de baterías electroquímicas. Abr. 2017. Trabajo de Final de Grado, Barcelona: Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Boletim Mensal de Monitoramento do Sistema Elétrico Brasileiro**. Brasil: SECRETARIA DE ENERGIA ELÉTRICA, 2020.

PLETT, G. L. **Battery Management Systems, Volume II: Equivalent-Circuit Methods**: Artech House, 2015. (Artech House power engineering series). *E-book*.

PORTUGAL GONCALVES DA MOTTA, H.; MAKISHI, A.; PEREIRA DE ARAÚJO, M. C. **Inserção de Novas Tecnologias**. 2019.

SILVA, I. N.; SPATTI, D. H.; FLAUZINO, R. A. **Redes Neurais Artificiais Para Engenharia e Ciências Aplicadas**. São Paulo: Artliber, 2010.

SINGH, S. **Backpropagation Learning Algorithm Based on Levenberg Marquardt Algorithm**. v. 2 *E-book*.

ZONG-YOU H.; PANG-YEN L.; WANG, C. **State of charge, state of health, and state of function monitoring for EV BMS**. In: 2017 IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE). Las Vegas, NV, USA: IEEE, 2017. p. 310–311.

CAPÍTULO 23

PROSPECÇÃO E ROTAS TECNOLÓGICAS PARA A ENERGIA DO HIDROGÊNIO NO BRASIL

Data de aceite: 01/07/2020

Data de submissão: 06/05/2020.

Gustavo Sigal Macedo

Engenheiro e Pesquisador, Eletrobras.
Niterói – Rio de Janeiro, Brasil.

<<http://buscatextual.cnpq.br/buscatextual/visualizacv.do?id=K4442625Y6>>

Jorge Alberto Alcalá Vela

Engenheiro e Pesquisador, Eletrobras.
Rio de Janeiro – Rio de Janeiro, Brasil.

<<http://buscatextual.cnpq.br/buscatextual/visualizacv.do?id=K4764635H2>>

RESUMO: Na atual fase de desenvolvimento e transição da matriz energética, observada no mundo, para fontes renováveis, um elemento estratégico e de relevância ambiental, no papel de vetor energético e meio de armazenamento, em diferentes escalas e cenários, é o Hidrogênio (H₂). No Brasil, as tecnologias para aplicação da energia do H₂ ainda se encontram em um estágio incipiente, com iniciativas pontuais, projetos demonstrativos e um direcionamento ainda não coordenado por órgãos governamentais ou centros de pesquisas, o que dificulta o seu aprimoramento. Este trabalho analisa as projeções futuras e a situação atual da experiência brasileira, e pretende contribuir com a divulgação e o melhor entendimento deste potencial, e na construção de uma visão estratégica de conjunto, para inclusão e qualificação de outros pesquisadores e organizações. A abordagem metodológica adotada nesta pesquisa consiste na prospecção de rotas tecnológicas,

com revisão bibliográfica, abrangendo os seguintes componentes: identificação e análise dos caminhos prováveis, e avaliação das oportunidades para a expansão da demanda pela energia do H₂ no Brasil, considerando restrições e desafios. Como resultado do estudo, se apresenta uma visão estratégica com as rotas consideradas prioritárias para estimular projetos, investimentos e pesquisas futuras, no país, em diferentes horizontes temporais. O Brasil possui grande potencial para o desenvolvimento industrial e econômico em algumas das rotas indicadas, como as da eletrólise da água, reforma do etanol, ou gaseificação da biomassa, incluindo a produção do H₂ a partir de rejeitos rurais ou urbanos. Assim, o Brasil apresenta vantagens para se destacar na obtenção do H₂ de fontes primárias variadas, a partir de projetos de arranjos híbridos, junto a usinas de geração de fontes renováveis como a solar, eólica, biomassa e hidroelétrica, e com novos modelos de armazenamento adequados, para uma posterior distribuição, comercialização e melhor aproveitamento desta energia.

PALAVRAS-CHAVE: Prospecção, Rotas Tecnológica, Energia do Hidrogênio, Energias Renováveis, Armazenamento de Energia.

PROSPECTION AND TECHNOLOGICAL ROADMAPS FOR THE HYDROGEN ENERGY IN BRAZIL

ABSTRACT: In the current phase of development and transition of the energy matrix, observed in the world, for renewable sources, a strategic element and of environmental relevance, in the role of energy vector and storage medium, in different scales and scenarios, is Hydrogen (H₂). In Brazil,

technologies for the application of H₂ energy are still at an incipient stage, with specific initiatives, demonstrative projects and a direction not yet coordinated by government agencies or research centers, which makes it difficult to improve. This work analyzes the future projections and the current situation of the Brazilian experience, and intends to contribute to the dissemination and better understanding of this potential, and in the construction of a strategic vision as a whole, for the inclusion and qualification of other researchers and organizations. The methodological approach adopted in this research consists of prospecting technological roadmaps, with bibliographic review, covering the following components: identification and analysis of probable paths, and evaluation of opportunities for expanding demand for H₂ energy in Brazil, considering restrictions and challenges. As a result of the study, a strategic vision is presented with the routes considered as priorities to stimulate future projects, investments and research in the country, in different time horizons. Brazil has great potential for industrial and economic development on some of the routes indicated, such as water electrolysis, ethanol reform, or biomass gasification, including the production of H₂ from rural or urban waste. Thus, Brazil has advantages to stand out in obtaining H₂ from various primary sources, from hybrid arrangement projects, together with renewable generation plants such as solar, wind, biomass and hydroelectric, and with new models of storage suitable for later distribution, commercialization and better use of this energy.

KEYWORDS: Prospecting, Technological Routes, Hydrogen Energy, Renewable Energies, Energy Storage.

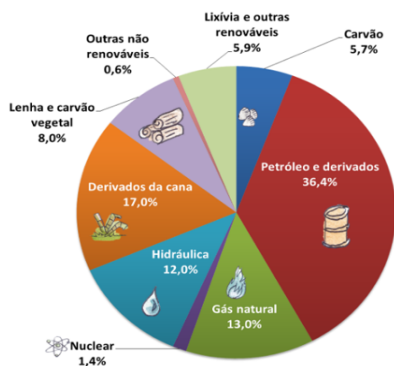
1 | INTRODUÇÃO

Neste item, explica-se o contexto para a emergência de demandas que podem impulsionar o desenvolvimento, no Brasil, de tecnologias para a energia do H₂. Considera-se uma visão estratégica do H₂ como um vetor energético, com funções de conversão, armazenamento, distribuição e uso da energia. Analisa-se como o H₂ poderia beneficiar, de modo sistêmico, as matrizes brasileiras.

As tecnologias para produção do H₂ guardam notável potencial para a modernização do sistema energético no país, complementando a geração de usinas de fontes renováveis em novos arranjos híbridos, com armazenamento local de energia. Nesta direção, se configura como uma tecnologia chave para a expansão das fontes renováveis e a descarbonização da economia, no Brasil, por meio da mitigação da emissão de gases poluentes, a boa qualidade do ar nas cidades e a maior precaução quanto as mudanças climáticas globais.

A matriz elétrica brasileira contava, em 2019, com 65,2% de participação da fonte hidráulica, vide Figura 1, o que é uma condição muito rara no contexto internacional, propiciada tanto pela abundância de grandes bacias hidrográficas quanto pela capacidade desenvolvida pela engenharia nacional (EPE, 2019). Para muitos países a atual tendência de maior investimento nas fontes renováveis é tratada como uma fase marcante de transição energética, com metas para balancear matrizes que são majoritariamente compostas por usinas de fontes não renováveis. Então esta é uma posição privilegiada para o Brasil, mas que pode esconder a crescente dependência de usinas térmicas a fontes fósseis, e a dificuldade técnica para integrar as novas usinas, de natureza intermitente, e a geração distribuída (GD), no sistema interligado nacional.

Matriz Energética (Brasil, 2019)



Matriz Elétrica (Brasil, 2019)

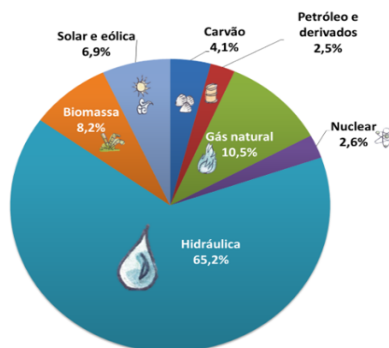


Figura 1: Matriz Energética e Matriz Elétrica no Brasil, Ano: 2019.

Fonte: EPE, 2019. URL: <<http://epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>>.

Quando se considera a matriz energética, no Brasil, as fontes fósseis, como o petróleo, gás natural e carvão, ainda possuem peso considerável na economia. Na indústria e no setor de transporte, o advento da energia do H₂ pode contribuir para um efetivo avanço técnico e ambiental, na direção desejável de menor uso de fontes fósseis e de combustíveis poluentes. Apesar do notável desenvolvimento industrial obtido com a produção e uso de derivados de cana-de-açúcar e outros biocombustíveis, o Brasil ainda possui desafios concretos, compartilhados com a comunidade internacional, para a despoluição dos seus grandes centros urbanos, impactados sobretudo pelas emissões de gases oriunda dos veículos de transporte, e também de seus parques industriais.

Pode-se notar que as estratégias adotadas em alguns países para o desenvolvimento tecnológico da energia do H₂ levam em conta a análise do seu ciclo de vida para o cálculo de benefícios ambientais, vide Figura 3, e segue tendência, mais global, apesar de não uniforme geograficamente, de adoção de fontes energeticamente mais densas e com menor proporção de átomos de carbono em sua composição, vide Figura 2. Então, da queima da madeira até o atual uso do gás natural, observa-se um movimento de busca de maior densidade nas fontes adotadas. Com esta visão, o advento da energia do H₂ pode ser entendido mesmo como um avanço da engenharia.




Fonte/Geração de Energia:	Imagem Representativa:	Átomos de Carbono:	Átomos de Hidrogênio:	<p>Aumenta a Densidade Energética.</p> <p>> Teor de H₂.</p> 
Queima de Madeira		10	1	
Queima de Carvão		2	1	
Petróleo		1	2	
Gás Natural Metano CH ₄ (Hidrocarboneto)		1	4	

Figura 2: Densidade Energética e Tendência de Descarbonização.

Fonte: Adaptado de LUBE e DALCOMUNI (2013).

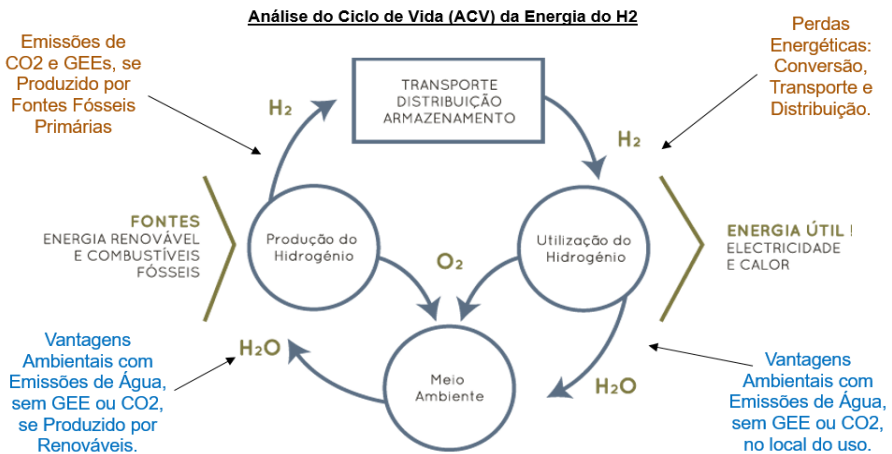


Figura 3: Análise do Ciclo de Vida da Energia do Hidrogênio.

Fonte: Adaptado de AP2H2. Link: <<http://www.ap2h2.pt/sobre-h2.php>>

Se existe tendência de descarbonização das fontes adotadas, de modo global, nas matrizes energéticas, por outro lado, existem movimentos que trazem complexidade a esta equação energética, ambiental e econômica, também no Brasil: crescimento da demanda por energia e por eletricidade, aumento populacional, urbanização, além de variações na industrialização e nas frotas de veículos. Então, os relatórios de emissões globais de CO₂ relacionadas com o setor energético continuam indicando notável crescimento de longo prazo, desde a década de 1950,

abalado ocasionalmente por fortes crises, como os choques do petróleo, as crises financeiras globais e a atual pandemia, de 2020.

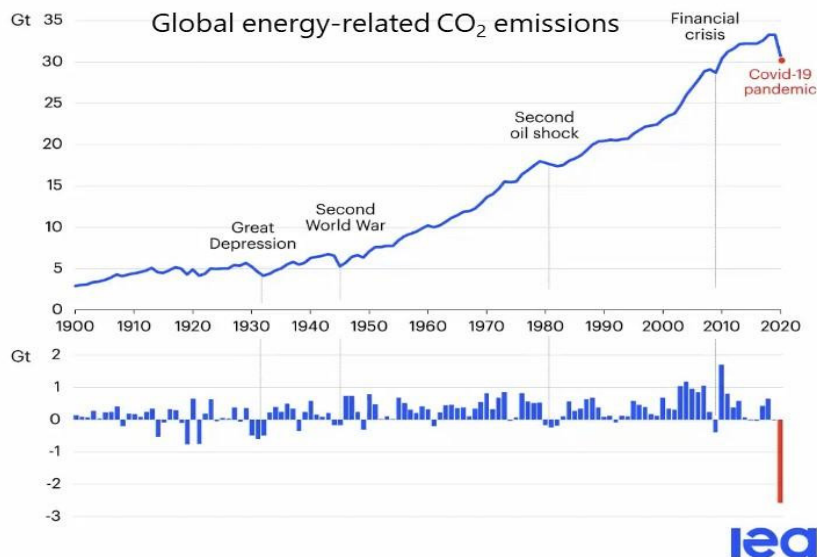


Figura 4: Emissões globais de CO2 relacionadas com o setor energético.

Fonte: IEA. Relatório: *Global Energy Review (2020)*.

1972	1974-79	1987	1992	1997	2002	2012	2015	2020
Conferência de Estocolmo, Suécia.	Choques do Petróleo.	Relatório Brundtlan.	Rio92, Brasil.	COP3, Quioto/ Japão.	Rio+10, África do Sul.	Rio+20, Brasil.	COP21, Paris, França.	Covid19 Greves Climáticas
Relatório do Clube de Roma "Limites ao Crescimento". Antagonismo: Crescimento Econômico e Ambientalismo.	Influência da OPEP: Pressões, embargos, alta do preço, déficit de produção. Agenda Ambiental Enfraquecida.	Relatório: "Nosso Futuro Comum". Conceito de Desenvol. Sustentável. 3 Pilares.	Agenda 21 Políticas Essenciais para Modelo de Desenv. Sustentável	Convenção Quadro das Nações Unidas em Mudanças Climáticas.	Objetivos do Milênio (2000). Revisão de objetivos da Rio 92.	Conceito: Economia Verde (PNUMA). Redução de Pobreza, Empregos, Inovação.	21ª Cúpula do Clima . Mudanças Climáticas. Acordo de Paris.	Pandemia Coronavirus Pressão das Greves Climáticas.

Figura 5: Contexto Socioambiental e Mudanças Climáticas.

Fonte: Adaptado de LUBE e DALCOMUNI (2013).

2 | METODOLOGIA ADOTADA: ROTAS TECNOLÓGICAS

A abordagem metodológica adotada neste estudo foi a de prospecção e desenho de rotas tecnológicas (*technology roadmaps*). Esta é uma metodologia de gestão do conhecimento, pesquisa e desenvolvimento que pode ser útil para embasar decisões de investimento, qualificação e planejamento estratégico. Aplicada aos estudos sobre energia do H2, permite visão de fatores de mercado que possam antever mudanças tecnológicas. Outra orientação é em relação ao desenho e a priorização das rotas consideradas de maior interesse estratégico para o Brasil. Como entrada para o estudo, foram realizadas revisões bibliográficas, visitas técnicas e entrevistas com especialistas

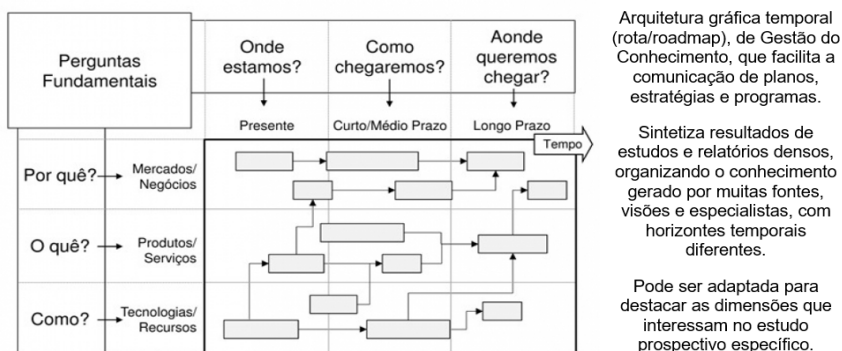


Figura 6: Metodologia de Rotas Tecnológicas.

Fonte: GOUVEIA (2013) URL: <<https://www.roadmapping.com.br>>.

3 | FUNDAMENTOS DA ENERGIA DO HIDROGÊNIO

O Hidrogênio é o gás mais abundante no Sol, nas estrelas e no Universo, e o elemento mais simples, consistindo de 1 próton e 1 elétron. Como um gás, não ocorre em estado natural puro na Terra, estando sempre misturado com outros elementos. Combinado com o oxigênio, transforma-se em água. Combinado com carbono, apresenta-se em diferentes compostos, como metano, carvão e petróleo. O H2 apresenta a maior quantidade de energia por unidade de peso entre os elementos conhecidos. É também o elemento mais leve. Como resultado, é caracterizado pela baixa densidade de volume de energia. Estas características químicas constituem-se em desafios para o armazenamento, transporte, distribuição e entrega do combustível aos pontos de demanda.

A produção do H2 usualmente acontece em processos intensivos em energia, que pode ser obtida por meio de diferentes fontes, incluindo combustíveis fósseis ou renováveis. Os métodos predominantes são os que utilizam de vapor para separá-lo do carbono, encontrado no petróleo e no gás natural. O H2 também pode ser produzido com o uso de eletricidade, para separá-lo do O2 na água, em um processo

conhecido como eletrólise. Outros métodos incluem processos bioquímicos, ainda em fase de pesquisas (ALCALA, 2019).

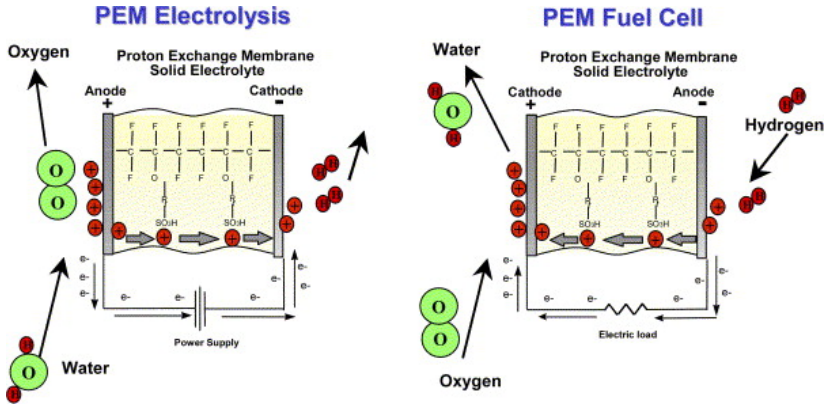


Figura 7: Conceitos de Operação de Eletrolisador e Célula Combustível PEM.

Fonte: BARBIR (2005). URL <<https://doi.org/10.1016/j.solener.2004.09.003>>

Atualmente, as fontes fósseis, são responsáveis por 95% da produção mundial de H₂, e a eletrólise da água, por menos de 5% (IPHE, 2018). O H₂ ainda é demandado como produto químico pelas indústrias siderúrgicas, petroquímicas e alimentícia (MIRANDA, 2017). No entanto, a projeção é de que as rotas que são ambientalmente menos impactantes ganhem impulso por mecanismos de taxaço de emissões, e por rótulos e atributos de origem da fonte primária.

Rótulos de Comercialização do H₂ / Origem da Fonte Primária



Figura 8: Rótulos de Comercialização do H₂ / Origem da Fonte Primária.

Fonte: Adaptado de IRENA - *International Renewable Energy Agency* (2019).

Os sistemas de produção do H₂ por eletrólise da água usualmente são constituídos dos seguintes componentes: eletrolisadores, reservatórios de armazenamento de H₂ gasoso (gás comprimido), sólido (hidretos metálicos) ou líquido, células combustíveis, filtros, compressores e inversores de frequência.

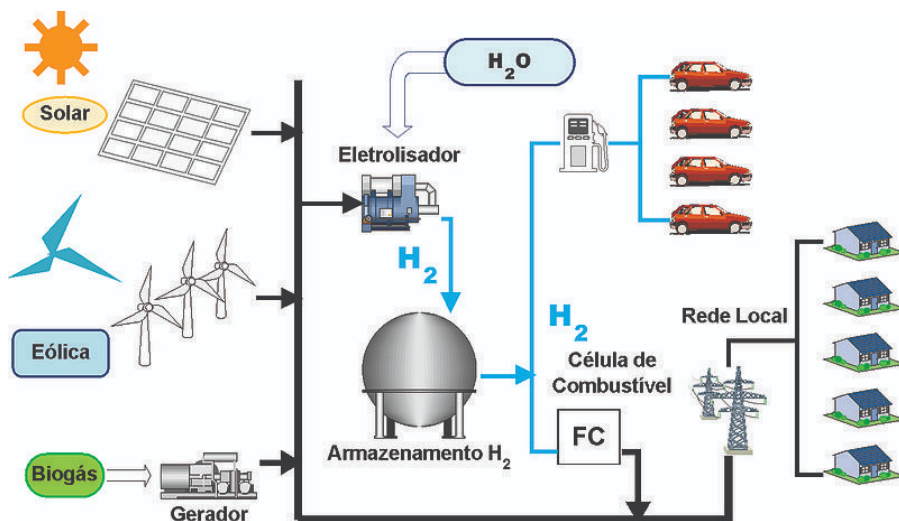


Figura 9: Produção de Hidrogênio por Eletrólise.

Fonte: Fernando de Araujo. Verbete sobre Hidrogênio. WIKIMEDIA COMMON (2014).

O H₂ pode ser produzido de modo centralizado, em larga escala, e transmitido para múltiplos sites para fins de consumo, ou de modo alternativo, pode ser gerado de modo distribuído, próximos aos pontos de uso final. Como no caso da energia fotovoltaica, é provável que a energia do H₂ prospere em ambas as modalidades (MACEDO, 2018). Como vetor energético, o H₂ guarda o potencial de transformar dramaticamente os meios como projetamos e usamos a energia. Como exemplo, já pode ser aplicado a veículos elétricos híbridos, movidos por células combustíveis e baterias, eventualmente mudando a matriz energética global no setor de transporte, e sua infraestrutura (IPHE, 2018).

Outro valor econômico é que o H₂ pode ser utilizado para armazenamento de energia que pode vir a ser produzida por fontes renováveis abundantes. Dentre as opções de armazenamento para grandes escalas, na dimensão temporal de dias, semanas ou meses, junto a usinas de geração centralizada, o H₂ é considerado uma alternativa adequada, sobretudo para capacidades maiores que 10 GWh, mas pode ganhar participação nos outros nichos e escalas, em subsistemas complementares, de *back-up*, de serviços ancilares, ou híbridos.

4 | PANORAMA DE INICIATIVAS EM ENERGIA DO H2 NO BRASIL

Neste item, são identificados alguns dos principais agentes que atuam na incipiente economia do Hidrogênio no Brasil, com estudos e projetos. O mapa está disponível *online* na plataforma *GoogleMaps* para atualizações por parte dos autores e para uso por outros pesquisadores interessados no tema.



Figura 10: Mapa de Agentes da Energia do H2 no Brasil (2020).

Fonte: Autoria Própria, disponível no *GoogleMaps* (2020).

<<https://drive.google.com/open?id=1-LxsK9wsJZGFgNi8kFTgh4gDeU1KvFo>>



Figura 11: Projeto de Ônibus Híbrido Elétrico e H2 da COPPE/UFRJ, Tracel e Furnas.

Fonte: LABH2, COPPE/UFRJ. Link:<<http://www.onibush2.coppe.ufrj.br>>

Como entradas para o desenho das rotas tecnológicas para a energia do H2 no Brasil, são identificados alguns documentos, livros e relatórios técnicos que podem servir de referência para este trabalho e para pesquisas futuras mais aprofundadas. Tais documentos também revelam o histórico de esforços, estudos e iniciativas para o desenvolvimento desta tecnologia no Brasil,

PROCaC e ProH2. Programa de CT&I p/ a Economia do H2.	Relatório: "Cenários para Estruturação da Economia do H2 no Brasil".	"Hidrogênio Energético no Brasil. Subsídios para Política de Competitividade 2010-2025".	Livro: Energia Do Hidrogênio Para Uma Economia Verde.	Caderno: "O Alvorecer da Energia do Hidrogênio". Paulo Emilio de Miranda.	Relatório: "Hydrogen: A Renewable Energy Perspective".
2002/2005	2009	2010	2013	2017	2019
MCT / GOV	MME / GOV	CGEE	UFES	FGV Energia	IRENA
Foco inicial do em células combustíveis (PROCaC). Redes de Pesquisas em Tecnologias do H2 (ProH2).	Políticas do MME e Prioridades do Uso do H2. PROCaC e ProH2. Elaboração de Roteiro para Economia do H2 no Brasil.	Contribuições de especialistas. Foco em: Células Combustíveis PEMFC, SOFC, e Sistemas para Reforma do Etanol.	Ênfase nas Metas de Redução das Emissões de GEE. O H2 permanece ausente nas políticas do setor energético.	Transição em nível global, que levará à descarbonização do sistema energético.	Urgência global para o corte de emissões de CO2 e GEE.

Figura 12: Referência para Rotas Tecnológicas para Energia do H2 no Brasil.

Fonte: Síntese de Autoria Própria (2020).

Prospecção: Centros de Pesquisa, Núcleos e Laboratórios de H2 no Brasil

Em relação aos centros de pesquisas, observam-se núcleos com projetos vinculados à empresas ou a faculdades de Engenharia, Física, Materiais e Química. Dentre os pioneiros, figura o CENEH (Centro Nacional de Referência em Energia do Hidrogênio), criado em 2001, oriundo do LH2 (Laboratório de Hidrogênio) da UNICAMP, em Campinas/SP. Ainda em SP, destaca-se o projeto de ônibus movidos por H2 da EMTU (Empresa Metropolitana de Transportes Urbanos), originado em 2015. Já no Rio de Janeiro, destaca-se o LABH2 da Coppe/UFRJ, que desenvolve projeto com ônibus híbrido elétrico e a H2. No Rio de Janeiro também está localizado o LabCelComb (Laboratório de Células a Combustível) do CEPEL, centro de pesquisa vinculado às empresas Eletrobras. No Paraná, estão localizados o LACTEC, da UFPR, em Curitiba/PR, com pesquisas sobre células combustíveis, e o NUPHI (Núcleo de Pesquisa em Hidrogênio), do Parque Tecnológico de Itaipu, na cidade de Foz do Iguaçu/PR. Em Minas Gerais, a CEMIG mantém o Laboratório Experimental de Produção de Hidrogênio, por meio de etanol, na cidade de Juatuba/MG.

Prospecção: Empresas e Startups de Base Tecnológica no Brasil.

O incipiente setor de energia do H2, no Brasil, se depara com um caminho de dependência de equipamentos europeus e asiáticos em seus primeiros passos, Ainda assim, podem ser destacados promissores exemplos de empresas e *startups* inovadoras e qualificadas, de base tecnológica, localizadas sobretudo na Região Sudeste, e mais evidentes no Estado de São Paulo. Algumas das organizações identificadas são: Electrocell, Hytron, Novocell e Ergostech.

Electrocell: Células a Combustível.	Hytron: Soluções em Hidrogênio e Energia.	NovoCell: Sistema de Energia S/A.	Ergos tech: Renewal Energy Solutions.
			
Fundação: 2001. São Paulo/SP.	Fundação: 2003. Sumaré/SP.	Fundação: 2004. Santa Barbara D'Oeste/SP.	Fundação: 2004. Campinas/SP.
Empresa sediada no CIETEC, dentro do Parque Tecnológico da USP.	Hytron foi fundada em 2003 como uma spin-off do Laboratório de H2, UNICAMP.	Empresa S/A totalmente brasileira, com pesquisa e produção.	Start-up com 8 pesquisadores em laboratório próprio.
Negócio: soluções para as áreas de geração e armazenamento de energia. Principal produto é a Célula Combustível PEM, com monitoramento remoto.	Negócio: produção de hidrogênio para aplicações industriais, energéticas e automotivas. EAVs: Estações de Abastecimento Veicular. Tecnologias de Células Combustíveis PEM e MCFC.	Desenvolver e produzir os componentes (Eletrodos, Membranas, Catalisadores) e as Células à Combustível de Hidrogênio (PEMFC).	Negócio: Ramo de Biotecnologia. Produção de bio-hidrogênio a partir de resíduos orgânicos, principalmente efluentes agroindustriais.

Figura 13: Empresas e Startups de Base Tecnológica no Brasil.

Figura: Autoria Própria (2020).

Prospecção: Associações e Grupos sobre Energia do H2 no Brasil

A ABH2 (Associação Brasileira do Hidrogênio), fundada em 2017, tornou-se uma referência para esta temática no Brasil. Na área da normalização técnica, a ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) mantém a comissão CEE-067 (Comissão de Estudo Especial de Tecnologias do Hidrogênio). No âmbito de mercado, em 2019, foi lançado o programa *Green Hydrogen Lab*, pela AHK (Câmara de Comércio e Indústria Brasil-Alemanha) e Impact Hub São Paulo.

Prospecção: Visitas Técnicas Realizadas no Brasil.

- Visita ao Laboratório de Células Combustíveis (LabCelComb) do Centro de Pesquisas CEPEL. Cidade: Rio de Janeiro/RJ. Nov/2018.
- Visita ao Núcleo de Pesquisa em Hidrogênio (NUPHI), do Parque Tecnológico de Itaipu (PTI). Cidade: Foz do Iguaçu/PR. Out/2019.

Projetos Demonstrativos de Produção de Hidrogênio no Brasil.

- a. Planta Experimental de Produção de H2 do PTI (Parque Tecnológico de Itaipu). Cidade: Foz do Iguaçu/PR. Projeto: PTI, Itaipu e Eletrobras.



Figura 14: Planta de Produção de H2 por Eletrólise do PTI.

Fonte: PTI Itaipu (2019). URL: <<https://www.pti.org.br>>.

O Núcleo de Pesquisa em Hidrogênio do PTI é um dos resultados do convênio firmado em 2011 entre PTI, Itaipu e Eletrobras. A planta de produção de H₂ conta com eletrolisador, caixa d'água, célula combustível PEM e dispositivos de armazenamento do H₂. A unidade possibilita a análise do ciclo de obtenção e aplicação do H₂, envolvendo a produção, purificação, compressão, armazenamento e utilização do H₂ em células combustível, para fins de iluminação local, ou em mistura com outros combustíveis, como o biometano.

- b. Projeto de Planta Híbrida Solar Fotovoltaica (1MWp), Bateria e Hidrogênio. Cidade: Itumbiara/GO. Projeto: Projeto de P&D de Furnas.



Figura 15: Projeto de Planta Híbrida de Itumbiara (Solar FV + Bateria + H₂).

Fonte: Furnas Centrais Elétricas (2020). URL: <<https://www.furnas.com.br>>

O projeto “Desenvolvimento de sinergia entre as fontes hidrelétrica e solar com armazenamento de energias sazonais e intermitentes em sistemas de H₂ e eletroquímico”, em andamento em 2020, contará com plantas solares flutuante e em terra, instaladas próximas a UHE Itumbiara, com banco de baterias, e um sistema de produção de H₂, com eletrolisador, compressor, reservatório e célula a combustível, pra fins de experimentos e em futuros serviços ancilares.

5 | RESULTADOS: VISÃO ESTRATÉGICA E ROTAS PRIORITÁRIAS

Como resultado da prospecção sobre a energia do H₂, são apresentadas as rotas consideradas estratégicas para o país. O resultado é passível de análises críticas e eventuais correções de rotas. Como princípio orientador, foram destacadas as rotas de produção do H₂ que oferecem viabilidade técnica e maiores vantagens ambientais: eletrólise da água, reforma do etanol e gaseificação da biomassa, incluindo aproveitamento energético de resíduos.

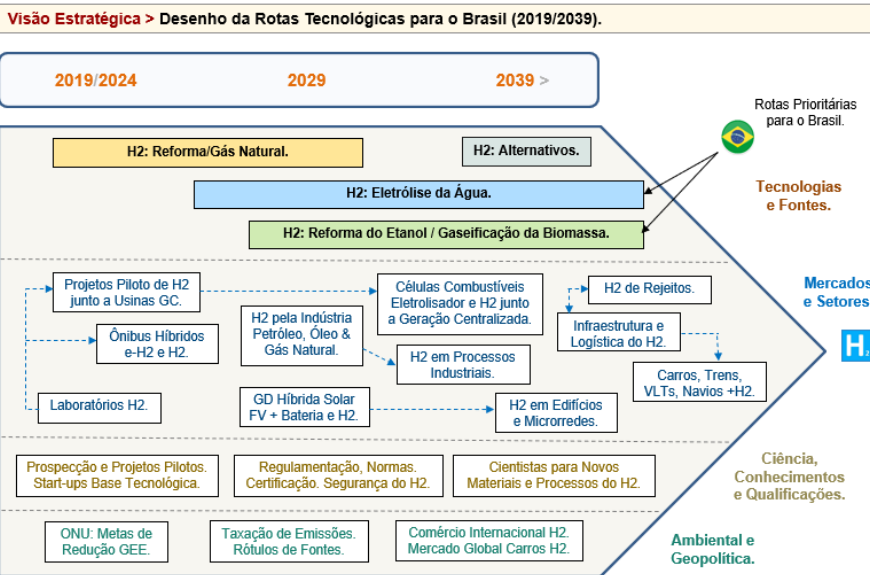


Figura 16: Rotas Tecnológicas para a Energia do H2 no Brasil.

Figura: Fonte: Autoria Própria (2020).

A energia do H2 surge no radar de gestores, em laboratórios e projetos pilotos próximos a usinas de geração, visando à expansão futura do arranjo híbrido. Outro movimento seria em relação à complementariedade setorial com o setor de transportes, sobretudo para abastecimento de frotas urbanas. Estima-se que várias das utilidades do H2, em diversas escalas de geração, podem ser benéficas para o contexto brasileiro. A combinação da abundância das fontes solar, eólica e da biomassa, bem distribuídas pelas regiões, com o avanço da engenharia nacional para a produção do H2, de rótulo verde, confirmam os sistemas de H2 como campo de desenvolvimento tecnológico que vale a pena o investimento, a qualificação, e a dedicação em novas pesquisas e projetos.

6 I DESAFIOS E LIÇÕES PARA O BRASIL

Com a visão estratégica orientada pelas rotas tecnológica prioritárias, espera-se que o desenvolvimento da energia do H2 e suas tecnologias associadas, no país, consiga superar alguns dos desafios previstos, que são aqui levantados.

- Infraestrutura de produção e distribuição do H2 com transição lenta no Brasil. Não haverá popularização dos veículos a H2 enquanto não houver uma rede bem estabelecida de postos espalhada pelas cidades. Por outro lado, a construção desta rede está vinculada a uma demanda efetiva por veículos a H2, ou híbridos. Lição internacional: Necessidade de consórcios de empresas, governos locais e parcerias público privada.

- Custos altos de sistemas, equipamentos e componentes para as rotas prioritárias. Situação semelhante à do setor de energia fotovoltaica na década de 1990. Eletrolisadores e células combustíveis com indústria nacional incipiente e baixa demanda. Estratégia de nacionalização de linhas prioritárias de equipamentos e integração com cadeias globais.
- Desafios com tempo de abastecimento, segurança, riscos e perdas de eficiência na conversão. Os processos para a produção do H₂, como o de eletrólise da água, precisam de energia de entrada considerável, e esta energia deve ser obtida a custos viáveis e fonte primária renovável. Os novos projetos devem ser viáveis sob a ótica da análise sistêmica do ciclo de vida e da eficiência global do sistema de energia do H₂.
- Alternativas tecnológicas ao H₂: biocombustíveis, armazenamento a sais fundidos, usinas hidrelétricas reversíveis e baterias. Estas alternativas podem tornar o uso do H₂ desvantajoso para certos setores e nichos. O uso da bateria de íon lítio pode ser disseminado globalmente nas próximas décadas, em diferentes escalas, postergando investimentos em rotas tecnológicas ambientalmente mais adequadas do H₂.
- Importância de o Brasil integrar os comitês internacionais de normas técnicas, boas práticas e padrões de segurança, além de associações e consórcios. Investimentos em projetos demonstrativos e de estímulo a demanda. Necessidade de maior direcionamento estratégico por órgãos do governo federal e por meio de redes do conhecimento no país.

REFERÊNCIAS

ABH2. **Associação Brasileira do Hidrogênio**. URL: <<http://abh2.com.br>>

AP2H2. **Associação Portuguesa para a Promoção do H2**. URL: <www.ap2h2.pt>

ALCALA, Jorge Alberto e MACEDO, Gustavo Sigal. “**Hidrogênio como Novo Vetor das Energias Renováveis**”. Trabalho apresentado no 1º Congresso da ABH2 - Associação Brasileira do Hidrogênio (2019).

BARBIR, Frano. “**PEM electrolysis for production of hydrogen from renewable energy sources**”. (2005). URL:<doi.org/10.1016/j.solener.2004.09.003>

CGEE. “**Hidrogênio energético no Brasil. Tecnologias críticas e sensíveis em setores prioritários. Subsídios para políticas de competitividade**” (2010).

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. “**Página: Matriz energética e elétrica do Brasil**” (2020). URL:<epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>.

FURNAS. **Site de Furnas Centrais Elétricas**. (2020). URL:<www.furnas.com.br>

GOUVEIA, Maicon. **“Roadmapping. Uma Abordagem Estratégica Para o Gerenciamento da Inovação em Produtos, Serviços e Tecnologias”**. (2013)

IEA. *International Energy Agency*. Relatório: **“Global Energy Review”** (2020).

IPHE. *International Partnership for Hydrogen and Fuel Cells in the Economy*. Material de Divulgação (2018). URL:<www.iphe.net>

IRENA. *International Renewable Energy Agency*. Relatório: **“Hydrogen: A Renewable Energy Perspective”** (2019).

LABH2. Laboratório de Hidrogênio da COPPE/UFRJ. **Projeto de Ônibus Híbrido Elétrico e Célula Combustível à H2**. Link:<www.onibush2.coppe.ufrj.br>

LUBE, Filipe e DALCOMUNI, Sonia Maria. **“Energia do Hidrogênio Para Uma Economia Verde: Reflexões sobre o Brasil”**. Novas Edições Acadêmicas, 2013.

MACEDO, Gustavo Sigal e ALCALA, Jorge Alberto. **“Prospecção e Rotas Tecnológicas para a Energia do Hidrogênio no Brasil.”** Trabalho apresentado no Congresso MEC3F, Engenharia e Ciências Aplicadas nas Três Fronteiras, Foz do Iguaçu/PR (2019).

MACEDO, Gustavo Sigal. **“Expo Solar + H2: Proposta de um Sistema Híbrido de Microgeração FV, com Células Combustíveis e Armazenamento, para um Centro de Pesquisas no RJ”**. Projeto Final UFRJ e AHK-Rio (2018).

MIRANDA, Paulo Emílio. Artigo **“O Alvorecer da Energia do Hidrogênio”**, FGV Energia (2017).

WIKIMEDIA COMMONS. **“Imagem sobre Hidrogênio Renovável”**. Fernando de Araujo (2014) : <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Hidrogênio_Renovável>.

CAPÍTULO 24

PROTOTIPO DE DINÁMICA DE SISTEMAS APLICADO A LA GESTIÓN DE PROYECTOS ACADÉMICOS DE PRÁCTICA PROFESIONAL SUPERVISADA EN CARRERAS DE INFORMÁTICA

Data de aceite: 01/07/2020

Data de submissão: 20/05/2020

Alice Raquel Rambo

Depto. de Informática, Facultad de Ciencias Exactas Quím. y Naturales (FCEQyN),
Universidad Nacional de Misiones (UNaM).

Misiones Argentina
0000-0001-6909-8980

Mariana Itatí Boari

Depto. de Formación Docente Investigación Científica, Facultad de Ciencias Exactas Quím. y Naturales (FCEQyN), Universidad Nacional de Misiones (UNaM).

Roberto Luis Sueldo

Depto. de Informática, Facultad de Ciencias Exactas Quím. y Naturales (FCEQyN),
Universidad Nacional de Misiones (UNaM).

Misiones Argentina

Ruben Urquijo

Depto. de Informática, Facultad de Ciencias Exactas Quím. y Naturales (FCEQyN),
Universidad Nacional de Misiones (UNaM).

Misiones Argentina

Hector Chripczuk

Depto. de Informática, Facultad de Ciencias Exactas Quím. y Naturales (FCEQyN),
Universidad Nacional de Misiones (UNaM).

Misiones Argentina

Ulises Ramirez

Depto. de Informática, Facultad de Ciencias Exactas Quím. y Naturales (FCEQyN),
Universidad Nacional de Misiones (UNaM).

Misiones Argentina

Sistemas de Computación” y “Licenciatura en Sistemas de Información” de nuestra casa de estudio, hay un espacio curricular perteneciente al tercer año de ambas carreras, de cursado obligatorio en el segundo cuatrimestre, el cual consiste en la realización y ejecución de proyectos de desarrollo software. Para poder realizarlo, el alumno presenta una nota de solicitud de aprobación del tema elegido al principio del curso, donde la cátedra toma conocimiento del inicio, y a partir de ahí, acompaña al estudiante respondiendo las dudas que surjan, cuidando su evolución, de manera que finalice con el producto en tiempo y forma.

Los docentes realizan el seguimiento sobre la gestión de los proyectos de software en un entorno de formación profesional donde califican las habilidades de los futuros profesionales en cuanto a la gestión de proyectos y se brinda una conclusión en tiempo y forma. También al principio de la cursada, se solicita a los alumnos que respondan una encuesta, en la cual van plasmando datos que luego nos servirán para poder detectar posibles indicadores que nos faciliten en la elaboración y detección de los factores de éxito, en el desarrollo e implementación de su proyecto. Luego de obtener las respuestas por parte de los alumnos y después de entrevistar a docentes sobre cómo ven el desempeño de los alumnos en la realización del proyecto, se han procesados los resultados y realizado el prototipo, utilizando el software VenSim PLE v7.3 (versión académica).

PALABRAS CLAVES: gestión de proyectos, sistemas de información, dinámica de sistemas, práctica profesional.

RESUMEN: En las carreras “Analista en

PROTOTYPE OF SYSTEMS DYNAMICS

APPLIED TO THE MANAGEMENT OF ACADEMIC PROJECTS OF SUPERVISED PROFESSIONAL PRACTICE IN COMPUTER SCIENCE CAREERS.

ABSTRACT: In the careers “Analyst in Computer Systems” and “Bachelor of Information Systems” of our faculty, there is a curricular space belonging to the third year of both careers in the second semester, which consists of the realization and execution of development software projects. The student presents a note requesting approval of the chosen topic at the beginning of the course, where the chair enables the beginning, accompanying the student answering any doubts that arise, taking care of its evolution, so that it ends with the product in a timely manner.

Teachers track the management of software projects in a professional training environment where future project management skills are executed and project completion is provided in a timely manner. Also at the beginning of the course, students are asked to answer a survey, in which they capture the data that then helps us to detect possible indicators that facilitate the development and detection of success factors, in the development and implementation of their projects. After obtaining the responses from the students and after interviewing teachers about how they see the performance of the students in carrying out the project, the results have been processed and the prototype has been made, using the VenSim PLE v7.3 software (version academic).

KEYWORDS: project management, information systems, system dynamics, professional practice.

1 | INTRODUCCION

Las carreras de formación profesional poseen como requisito elemental para su titulación, la realización de un proyecto que integre todos los conocimientos adquiridos a lo largo de la formación recibida durante el cursado de la carrera. Para cumplimentar este requisito, se realiza un trabajo integrador, el cual tiene como objetivo dar al alumno de una experiencia en la práctica profesional cercana a su futuro laboral inmediato.

Por tal motivo, existe un espacio curricular en donde los alumnos, de manera individual y algunas veces grupal, deben realizar todas las etapas para la realización de un proyecto software, estas son: análisis, diseño e implementación de una solución por ellos escogidas, realizando en última instancia, la presentación y defensa del producto por ellos elaborado. Para acceder a esta posibilidad, además de tener aprobadas todas las materias correlativas, el estudiante presenta una nota de solicitud de aprobación del tema escogido, esto es al principio del cursado de la cátedra encargada de esto, donde el plantel docente toma conocimiento del inicio del desarrollo propuesto, y a partir de ese momento acompaña al estudiante realizando el seguimiento y apoyo en las dudas que pudieran surgir, cuidando el mantenimiento de la evolución constante en el trabajo, con la finalidad que el producto esté terminado en tiempo y forma. La evaluación y seguimiento de los alumnos se realiza en proceso durante cada etapa de estos proyectos presentados y aprobados para su desarrollo.

Con el desarrollo, se detecta la necesidad de indicar a los estudiantes cuales son los factores que podrían determinar el éxito en su trabajo, los cuales pueden

ser considerados en manera global para los procesos de gestión de proyectos de desarrollo de software, contemplando las particularidades de cada uno de los proyectos y sus integrantes.

Cabe mencionar que en las encuestas que deben responder los alumnos, se obtienen datos importantes que nos permiten poder identificar y luego plasmar cuales son, de acuerdo con lo respondido por ellos, los factores que inciden en el éxito del trabajo que están llevando a cabo. Cabe destacar que, con las respuestas otorgadas, se realiza un seguimiento personalizado del alumno, considerando la evolución que tenga en la carrera, situación laboral, personal, familiar, año de formación, entre otros, que hacen a que los desarrollos sean ajustados a la situación y evolución de cada alumno. En otras carreras de informática del país y región se sigue utilizando la modalidad de un tutor, el cual es un profesional del área de estudio, algunas veces interno a la carrera o facultad y otras, un profesional externo, el cual realiza el seguimiento al alumno.

Con los datos obtenidos de las encuestas y luego de procesarlas, en Rambo *et al.*, 2019, se pudieron detectar algunos factores de éxito los cuales serán tenidos en cuenta para el desarrollo del presente trabajo, los cuales pueden surgir para la realización de nuestro prototipo.

1.1 Contexto

En otras Universidades de la República Argentina con carreras de perfil de formación profesional similar, también existen materias que tratan la ejecución de esta clase de proyectos, entre las que podemos mencionar las siguientes como ejemplo:

- La cátedra “Trabajo Final” está en el 5º año de la carrera Licenciatura en Sistemas de Información de la Universidad Nacional de Chilecito, de cursado anual, en cual en el fundamento del programa indica “... *Esta Asignatura contribuirá a formar un Ingeniero tecnológico capacitado para desarrollar sistemas de ingeniería y tecnología afines a los existentes y producir innovaciones. Formar un profesional capaz de analizar y evaluar requerimientos, y sobre esta base, desarrollar, diseñar, organizar e implementar sistemas de información...*”¹
- En la Universidad Nacional del Nordeste (UNNE), en la cátedra “Ingeniería de Software 2” que se encuentra en el cuarto año de cursado de la carrera Licenciatura en Sistemas de Información, posee una variante la cual posee la opción de trabajar en grupos de hasta tres personas. Entre sus objetivos, menciona “...*Preparar al alumno en la exposición de proyectos. Cubrir todas las etapas de documentación del proyecto. Desarrollo de habilidades de ‘Trabajar enfocado al cliente’; de esta manera el alumno deberá demostrar al cliente que el proyecto cumple las expectativas requeridas y acordadas. Uso eficaz del ciclo de vida del proyecto; utilizando el ciclo de vida que mejor se adapte para el mismo...*”²

1 Plan de Estudios UNdeC: <https://www.undec.edu.ar/wp-content/uploads/2019/04/Ord.-008-17-Licenciatura-en-Sistemas.pdf>

2 Plan de Estudios UNNE: http://www.exa.unne.edu.ar/carreras/lic_sistemas_informacion.php

Mediante el relevamiento hecho mediante entrevistas, encuestas, se detecta que no existe una definición y ponderación concreta de factores de éxito para procesos de gestión de proyectos específicamente académicos. Tampoco no existe manera de medir, mediante la utilización de un modelo dinámico, cuáles serían los factores a tener en cuenta para el éxito del proyecto. La correcta definición de los factores posibilitará la generación de planes de acción con medidas preventivas para ser realizadas con los alumnos en desarrollo de estos proyectos, previniendo de esta manera el fracaso.

2 | MARCO TEÓRICO

2.1 Proyectos y Gestión de proyectos software

Un proyecto es considerado como “un esfuerzo temporal que se lleva adelante para lograr la creación de un producto, servicio o un resultado único” según el PMI³, 2008 quienes también definen la gestión de proyectos como “la aplicación de conocimiento, habilidades, herramientas y técnicas a las actividades de un proyecto con el objetivo de conseguir los requisitos del mismo”.

La gestión de un proyecto implica entre las actividades a ser consideradas la de llevar adelante actividades de gerenciamiento (definición, control, guía, monitoreo, evaluación y selección, etc.), planeamiento y cronograma del proyecto, gestión de riesgos y estimación de costos con las distintas particularidades que involucran a la gestión de proyectos de desarrollo de software, como se indica en Sommerville, 2002. Asimismo, las consecuencias de estimaciones inapropiadas e inadecuadas pueden desencadenar a posteriori, grandes pérdidas monetarias en los proyectos e incluso la no culminación del mismo Wayt Gibbs, 1994.

El documento SWEBOK Bourque & Fairley, 2014, fué creado por la *Software Engineering Coordinating Committee* y sustentado por la *IEEE Computing Society*⁴, se trata de una guía sobre el conocimiento actual en el área de la Ingeniería del Software.

Existen, además, estándares de gestión de proyectos de tipo general, como ser el *Project Management Body of Knowledge* (PMBOK) del PMI, así como también se encuentran disponibles enfoques de gestión específicos para proyectos software. Entre los estándares específicos para proyectos software, se puede mencionar a los correspondientes al CMMI⁵, 2012 y al RUP⁶ Jacobson *et al.*, 2001, por estar dichos enfoques entre los más difundidos. Además, existen otros modelos y normas que son utilizados por otras empresas, entre las que podemos mencionar CMM, ISO 9001, SPICE, ITIL, entre otras.

3. PMI Project Management Institute: <https://www.pmi.org/>

4. IEEE Computer Society: <https://www.computer.org/>

5. Software Engineering Institute (CMU), Capability Maturity Model Integration <https://www.sei.cmu.edu>

6. RUP: Rational Unified Process

2.2 Factores de Éxito en Gestión de Proyectos

El éxito de un proyecto deberá ser medido en términos de desviaciones del alcance de las distintas características y funcionalidades dentro de los costos y tiempos estimados. Sin embargo, los retrasos, sobre costos, frustración de expectativas e incluso, fracasos en la consecución de los fines de los proyectos que se encuentran registrados en la literatura son significativos. En el campo de los proyectos de sistemas de información, el informe CHAOS es una de las estadísticas más utilizadas. Publicada cada dos años desde 1994, clasifica los proyectos en distintas escalas que definen el *éxito* de los mismos, cuando son entregados a tiempo, dentro del presupuesto y con todas sus funciones definidas previamente; se define como *deficiente* cuando el proyecto se entrega, pero con gastos por sobre el presupuesto, se entregan fuera de término o incompleto y se define como *fracaso* cuando nada fue entregado Standish Corp., 2016.

Existen otros trabajos que han intentado construir un marco para la clasificación de factores críticos de éxito o fracaso de un proyecto. Según Pinto & Mantel, 1990 y Pinto & Prescott, 1990, se identifica que los factores críticos caen dentro de tres grandes grupos: i) presupuesto y programa; ii) valor, impacto positivo, mérito y mejora institucional; y iii) satisfacción del cliente. En Navascués Fernández, 2008 se presentan los modelos y herramientas de la gestión de proyectos, su utilización en relación con la simulación de procesos software para un entorno multiproyecto, consigue identificar modelos y metodologías para descomponer el problema multiproyecto, generar planes de acción en condiciones de limitación de recursos y modelar y hacer frente a los riesgos e incertidumbre. En Vázquez *et al.*, 2012, se presenta una metodología que se basa en los mapas cognitivos difusos para la formalización y el posterior análisis de los factores críticos de éxito. En Alba *et al.*, 2008, se busca definir un modelo donde, a partir de información básica del proyecto, se pueda predecir su dificultad y clasificarlo en función de su riesgo.

2.3 Minería de Datos

La Minería de Datos (DM) se define como el proceso mediante el cual se extrae conocimiento comprensible, potencialmente útil, que era desconocido de una base de datos, en diversos formatos y de manera automática Clark & Boswell, 2000. Cabe mencionar que la DM es una etapa dentro de un proceso más amplio que persigue el objetivo del descubrimiento de conocimiento en grandes bases de datos KDD Fayyad *et al.*, 1996; Britos *et al.*, 2008.

Cuando se realiza la búsqueda de antecedentes sobre el tema, se encuentran trabajos sobre la aplicación de DM para el análisis de métricas generadas en el desarrollo de proyectos software en etapas previas, como ser la especificación de requerimientos Moreno García *et al.*, 2001; Moreno García *et al.*, 2002; García, 2003. Por otro lado, se encuentra un modelo que permite almacenar y recuperar métricas de software para realizar el seguimiento del proceso con respecto al tiempo, costo y calidad del mismo Ramírez *et al.*, 2012.

2.4 Dinámica de Sistemas

La Dinámica de Sistemas es una herramienta de construcción de modelos de simulación, diferente al de otras técnicas aplicadas al estudio de sistemas socioeconómicos, como la econometría, la cual utiliza datos empíricos como base de los cálculos estadísticos que sirve para determinar el sentido y correlación entre los factores. La evolución del sistema objeto de análisis se realiza sobre la base de datos históricos de las variables denominadas *independientes*, y se aplica la estadística para la determinación de los parámetros del sistema de ecuaciones que las relacionan con las variables denominadas *dependientes* Aracil, 1995.

Se puede mencionar como características diferenciadoras de otra metodología que i) no pretende predecir detalladamente el comportamiento futuro del sistema; ii) su enfoque a largo plazo, entendiendo por tal un período de tiempo suficientemente amplio como para observar los aspectos significativos de la evolución del sistema, únicamente así podrá verse la tendencia de comportamientos fundamentales Torrealdea, 2003.

3 | CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO

Luego de obtener las respuestas por parte de los alumnos en las encuestas realizadas al principio de la cursada, después de entrevistar a docentes sobre como ellos ven el desempeño de los alumnos en la realización del proyecto software, se han procesados los resultados por medio de gráficos, análisis estadísticos y después de haber ejecutado alguna técnica de DM, se han encontrado algunas variables que pueden servir de guía para la realización de nuestro prototipo Rambo *et al.*, 2018. Por otro lado, se han tomado como referencia trabajos de otros autores, relacionados con el modelado de sistemas de proyecto software Zawadzki, 2009; Cao *et al.*, 2010; Sterman, 1992.

Para la construcción del prototipo se utilizó el software VenSim PLE v7.3⁷ (versión académica) y se han seguido las primeras dos fases de la metodología de dinámica de sistemas Aracil, 1995, dejando la última fase que es la Fase de Evaluación para cuando se tenga un poco más avanzado y refinado el prototipo.

En la primera fase, la de Conceptualización se ha construido el Diagrama Causal, el cual representa por medio de variables e interrelaciones entre las mismas, la estructura que tendrá el prototipo Albin, 1997.

En la segunda fase, la de Formulación se construye el Diagrama de Forrester el cual traduce las variables y relaciones del Diagrama Causal a ecuaciones matemáticas, posibles de ser programadas y simuladas en su comportamiento.

A continuación, se mencionarán las variables y las relaciones intervinientes dentro del prototipo desarrollado.

7. Vensim: <https://vensim.com/vensim-personal-learning-edition/>

3.1 Variables de Nivel

A continuación se presentan las variables de nivel identificadas con su respectivo significado, para clarificar el prototipo resultante. Las variables de nivel constituyen el conjunto de variables cuya evolución es significativa para el estudio del sistema.

- *Tareas pendientes*: representa la cantidad de tareas que se tienen en un momento dado del tiempo.
- *Tareas finalizadas*: representa las tareas que pasan de estar en un estado pendiente a finalizados.
- *Errores no detectados*: representa a los errores que se introducen en cuanto a la programación.

3.2 Variables de Flujo

Las variables de flujo son las que determinan las variaciones en los distintos niveles del sistema. Estas variables caracterizan las acciones que se toman en el sistema.

- *Trabajo*: representa a la tasa de cambio con la cual se realizan las tareas.
- *Errores*: representa la tasa a la cual se agregan errores (inconscientemente) al proyecto.
- *Errores detectados*: representa la tasa a la cual los errores que se agregaron al proyecto –que no fueron detectados–, se los detecta, y pasan a conformar la lista de tareas pendientes.

3.3 Variables Auxiliares

Las variables auxiliares son las que representan pasos o etapas en que se descompone el cálculo de una variable de flujo a partir de los valores tomados por los niveles.

- *Duración prevista*: representa la cantidad de tiempo que se tiene pensado, durará el proyecto desde un inicio.
- *Plazo restante*: representa una primer forma de medir el plazo que le queda al alumno para la finalización del proyecto.
- *Presión*: representa el nivel de presión (schedule pressure) que enfrenta el alumno dependiendo del tiempo.
- *Cantidad de trabajo fijo por mes*: representa la cantidad de trabajo fija que se hace por mes.
- *Trabajo requerido*: representa el trabajo necesario a realizar para que las

tareas pendientes se finalicen dentro del plazo.

- *Nivel de producción potencial*: representa el nivel de producción que pueda llegar a tener el alumno.
- *Nivel de producción real*: representa una relación del nivel de producción potencial y la experiencia que se tiene.
- *Experiencia*: representa al nivel de experiencia que tiene o va ganando el alumno.
- *Experiencia previa*: representa alguna experiencia que puede haber tenido al iniciar el proyecto.
- *Factor de aprendizaje*: representa de una manera bastante básica cuanto de la experiencia que el alumno gana, la puede transformar en software de calidad.
- *Calidad*: representa la calidad que se tiene dado un factor fijo de aprendizaje y la experiencia que se tenga.
- *Total de tareas previstas*: representa la cantidad de tareas con la que, en un inicio se cree, se finalizaría el proyecto.
- *Retraso en detectar errores*: representa el lapso de tiempo que se pasa entre el momento de la inserción de un bug y el momento en el que se lo encuentra.

En la Figura 1, se aprecia el prototipo modelado con las variables antes mencionada.

4 | RESULTADOS

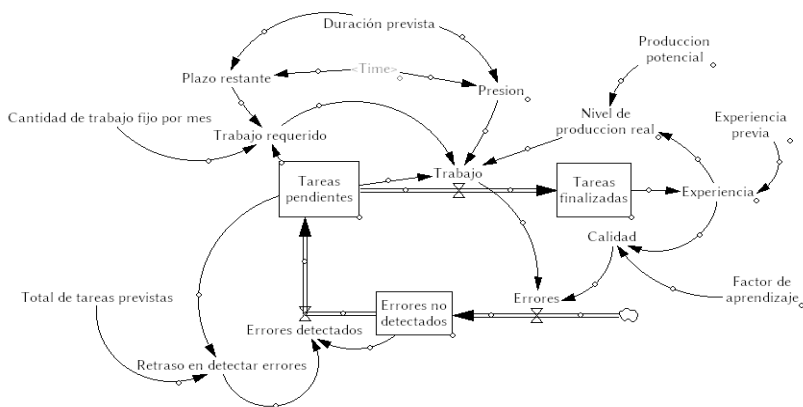


Figura 1. Prototipo de Modelado de Sistema.

En el presente trabajo se ha comenzado con la construcción de un prototipo de “Modelo de Simulación Dinámica de Gestión de Proyectos de Desarrollo Software”. De esta manera, el modelo aquí presentado una vez completo podrá ser utilizado como una herramienta para analizar los distintos proyectos software que sean presentados.

Para ofrecer una mayor flexibilidad, el modelo permitirá la alteración de los valores durante su ejecución para verificar su comportamiento. Entre los valores que pueden sufrir alteraciones, consideramos las horas extras agregadas por día, porcentaje de tiempo que se destina a cada etapa del desarrollo, entre otras.

5 | FUTUROS TRABAJOS

Como trabajo futuro, lo primero que podemos mencionar es realizar el refinado y completitud del presente prototipo, para poder simular el desarrollo de un proyecto software completo.

Para realizar el refinamiento, tenemos planteadas las siguientes cuestiones a tener en cuenta para llevarlas adelante en lo inmediato:

- Agregar un subsistema que se encargue de la gestión de los cambios de acuerdo con lo que se le va corrigiendo desde la cátedra.
- Hacer que la cantidad de trabajo que se realice por mes sea también dinámico, dado a que éste puede cambiar de acuerdo con la presión que se tenga.
- Hacer que la experiencia sea una variable de nivel, dado a que la naturaleza de esta es variable en el tiempo.
- Una vez completo el modelo, realizar la validación y evaluación del mismo.

REFERENCIAS

Alba, C., Rodríguez, V., Ortega, F., Villanueva, J. **Predicción y clasificación de riesgos en proyectos de Sistemas de Información**. 12th International Conference on Project Engineering. 9–11/07. Zaragoza. España. 2008

Albin, S. **Building a System Dynamics Model**, Part 1: Conceptualization. Massachusetts Institute of Technology. 34 p. 1997

Aracil, J. **Dinámica de Sistemas**. España. Editorial Isdefe. ISBN: 8-46 833802-8. 1995

Bourque, P., Fairley, R. E. **Guide to the Software Engineering Body of Knowledge (SWEBOK)**. IEEE Computer Society. Versión 3. Edition: 3. 2014

Britos, P., Grosser, H., Rodríguez, D., Garcia Martínez, R. **Detecting Unusual Changes of Users Consumption**. (p. 297-306). In Artificial Intelligence and Practice II. Springer. 2008

Cao, L., Ramesh, B., & Abdel-Hamid, T. **Modeling Dynamics in Agile Software Development**. ACM Transactions on Management, Information Systems, Vol. 1, No. 1, Article No. 5. 2010

Clark, P., Boswell R. **Practical Machine Learning Tools and Techniques with Java Implementation**. Morgan Kaufmann Publisher. 2000

CMMI. **CMMI para Desarrollo. Mejora de los procesos para el desarrollo de mejores productos y servicios**. Software Engineering Process Management Program. Versión 1.3. 2012

Fayyad, U.M., Piatetsky Shapiro, G., Smyth, P. **From Data Mining to Knowledge Discovery: An Overview**. (p 1-34). Advances in Knowledge Discovery and Data Mining. AAAI/MIT Press. 1996

García, J. M. **Teoría y ejercicios prácticos de Dinámica de Sistemas**. ISBN 84-607-9304-4. Barcelona, España. 2003

Jacobson, I., Booch, G., Rumbaugh, J. **Rational Unified Process** ISBN 0201707101, Addison Wesley. 2001

Moreno García M. N., Quintales L. A., García Peñalvo F. J., Polo Martín M. J. **Aplicación de técnicas de minería de datos en la construcción y validación de modelos predictivos y asociativos a partir de especificaciones de requisitos de software**. Universidad de Salamanca. Proceedings of the II ADIS 2001 Workshop on Decision Support in Software Engineering. Almagro, Ciudad Real, Spain. ISBN 84-688-6649-0. 2001

Moreno García M. N., Quintales L. A., García Peñalvo F. J. y Polo Martín M. J. **Obtención y Validación de Modelos de Estimación de Software Mediante Técnicas de Minería de Datos**. (pp. 53-71). Revista Colombiana de Computación. Volumen 3, nro 1. 2002

Navascués Fernández J. V., **Técnicas avanzadas para la gestión de proyectos software**. Universidad de Sevilla. Departamento de Lenguajes y Sistemas de Información. Trabajo para la obtención del Diploma de Estudios Avanzados. (Informe de Investigación). Postgrado Oficial en Ingeniería y Tecnología del Software. 2008

Pinto J. K., Mantel S. J. **The causes of project failure**. IEEE Transactions on Engineering Management, 37(4):269–276. 1990

Pinto J. K., Prescott J. E. **Planning and tactical factors in the project implementation process**. Journal of Management Studies 27(3):305–327 1990

Project Management Institute. **Guía de los fundamentos para la Dirección de proyectos**. 4º Edición. Project Management Institute, Newtown Square. 2008

Rambo, A., Kuna, H., Sueldo, R., Urquijo, R., Piotroski, F. **Análisis de Factores para gestión de proyectos académicos unipersonales de práctica profesional supervisada en carreras de Informática**. XIII Congreso Argentino Tecnología en Educación y Educación en Tecnología (TE&ET). ISBN 978-950-766-124-2. Pags 179-188. 2018

Rambo, A., Sueldo, R., Urquijo, R., Piotroski, F., Boari, M. **Análisis de indicadores de la práctica profesional supervisada en carreras de informática de la FCEQyN – UNaM**. Décimo Sexto Simposium Iberoamericano en Educación, Cibernética e Informática. Décima Octava Conferencia Iberoamericana en Sistemas, Cibernética e Informática. Orlando, Florida, EE.UU. 2019

Ramírez, E. L., Ambriz, M. H., Nungaray, M. A., Chessani, M. D. H., & Reyes, L. M. Á. R. **Prototipo para Almacenar y Recuperar Métricas de Software. Conciencia Tecnológica**, 43:11-17. 2012

Sommerville, I. **Ingeniería de software** [trad de la 6ta edición], Addison Wesley, México. 2002

Standish Corporation. **CHAOS Report 2016: Outline**. Technical report, The Standish Group. 2016. Disponible en: <https://www.standishgroup.com/outline> ultima consulta: 20/02/2020

Sterman, J. **Systems Dynamics Modeling for Project Management**. Massachusetts Institute of Technology. 1992

Torrealdea J, Dinámica de Sistemas. **Elementos y Estructuras de un Modelo. Construyendo modelos.**: Ciencias de la Computación e Inteligencia Artificial. Universidad del País Vasco. 2003

Vázquez L. M. Y., Rosello R. R., Estrada F. A. **Modelado y análisis de los Factores Críticos de Éxito de los proyectos de software mediante Mapas Cognitivos Difusos**. Ciencias de la Información, vol. 43, núm. 2, pp. 41-46. Instituto de Información Científica y Tecnológica. La Habana, Cuba. ISSN 0864-4659. 2012

Gibbs, W. W. **Tendencias en informática: La crisis crónica de la programación. Investigación y ciencia**, (218), 72-81. 1994

Zawadzki, T. **Applying system dynamics modeling to IT project management**. IFAC Proceedings Volumes. Volume 42, Issue 13, pp 152-157. 2009

CAPÍTULO 25

THE MAGNETIC PASSIVE AND SLIDING BEARING SYSTEM WITH AXIAL MAGNETIC REPULSION TO AVOID PIVOT WEAR

Data de aceite: 01/07/2020

Submission date: 04/05/2020

Carlos Frajuca

Sao Paulo Federal Institute, Mechanics
Department
Sao Paulo, SP, Brazil
Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-8463-3451>

ABSTRACT: This work presents the development of a magnetic suspension for the calibration device of Schenberg Detector. This device should rotate a composite quadrupole mass at a speed of 96,000 RPM, therefore belongs to the high-speed machines category. A hybrid bearing that combines a radial passive magnetic bearing with an axial sliding bearing (magnetic passive and sliding bearing) was proposed. A reduced physical prototype was built and tested. Although the prototype has been tested at speeds close to 12,0000 as first test, the pivot responsible for the sliding part of the suspension presented some wear in the contact point. To decrease wearing an axial magnetic suspension system was added. The suspension was tested again and no sign of wear on the pivot was detected.

KEYWORDS: Magnetic suspension, Passive and sliding suspension

1 | INTRODUCTION

This work presents the development of a magnetic suspension for the calibration device of the gravitational wave detector “Mario Schenberg”, as can be seen in Aguiar

et al (2008), such calibration device is a rotation, not cylindrical mass (quadrupole moment different from zero), that must rotate at half of Schenberg working frequency which is 3.2 kHz (96.000 rpm). This detector is a development of the Graviton Group which is a research Brazilian group dedicated to the study of Gravitational Waves. The detection of gravitational waves came after a long road of experiments planned in 2010, in 2016 finally the detection was made. Gravitational waves got a very strong evidence with the **PSR B1913+16** (also known as **PSR J1915+1606**, **PSR 1913+16**, and the **Hulse–Taylor binary** after its discoverers) is a pulsar (a radiating neutron star) which together with another neutron star thus forming a binary star system. PSR 1913+16 was the first binary pulsar to be discovered and its orbital period is decreasing with time due to the emission of gravitational waves. The first attempts for gravitational wave detection start in the early sixties with the resonant mass gravitational wave detection Aguiar et al. (2006) e Frajuca et al. (2004).

The Brazilian efforts towards the detection of gravitational waves are centered on the Schenberg detector. In the Schenberg detector, six sensors are connected to the surface of the sphere, arranged according to the half dodecahedron distribution. These transducers are located as if they were in the center of six pentagons connected in a surface corresponding to half dodecahedron. Each transducer amplifies the motion occurring on the region of the sphere in which it is connected. The already amplified movement

excites the membrane of one resonant cavity. In the resonant cavity microwaves are pumped, which generate the electronic signal that will return taking all the information of the OG's. Intensity and direction of the OGs can be obtained from the analysis of the output signal of these 6 transducers according to Ribeiro et Al. (2004) and Andrade et al. (2004).

To reach the resonant cavities, first the microwaves are conducted from the outside of the dewar (thermo flask where every antenna system is contained) by cabling to microstrip antennas. These antennas, located in front of the parametric transducers, conduct the microwaves into the resonant cavity and another set of antennas pick up the returned signal. The Brazilian efforts on the field can be summarized in Frajuca et al. (2002,2005,2006,2008,2018), Aguiar et al. (2002,2004,2005,2012), Magalhaes et. al (1995,1997) and Bortoli et. al (2010,2019).

This paper is part of a larger project aimed at obtaining guidelines for the project of a high-speed machine. The construction of such a device involves studies related to:

- a. Protection structure: to ensure protection against the risks inherent in high speeds and at the same time eliminate aerodynamic drag, it must be provided the operation inside a vacuum chamber shielded with ballistic materials;
- b. Bearing: after careful comparative studies among several types of bearings presented in the literature, the hybrid passive magnetic bearing model with permanent magnets was adopted;
- c. Rotor design: in order to withstand the high centrifugal load resulting from the high-speed rotations, a system has been proposed for coating the rotating object with a composite of carbon fiber and epoxy resin;
- d. Drive: it was proposed the direct drive of the rotor with a variable reluctance motor (VRM) controlled by an electronic system and advanced control algorithm;
- e. Rotor Dynamics: important guidelines have been proposed to avoid, or at least mitigate, the vibrations that cause instabilities in the rotor and often prevent the attainment of high speeds.

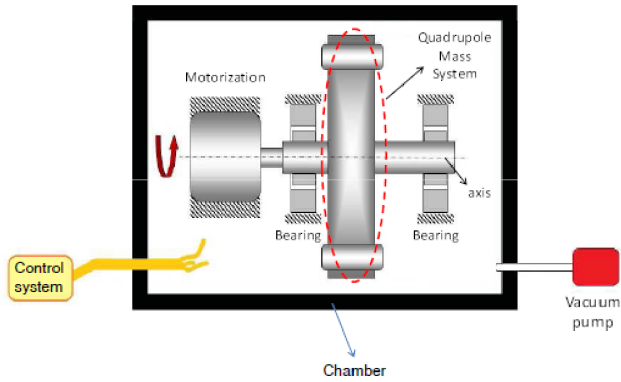


Figure 1. Schematic illustration of the high-speed machine with indication of its main parts.

This device should rotate a composite quadrupole mass at a speed of 96,000 rpm, and therefore belongs to the high-speed machines category. A hybrid bearing that combines a radial passive magnetic bearing with an axial sliding bearing (magnetic passive and sliding bearing) was proposed. A reduced physical prototype was built and tested. Although the prototype has been tested at speeds close to 12,000 rpm as can be seen in Fig. 2 and Fig. 3, it was the first test.

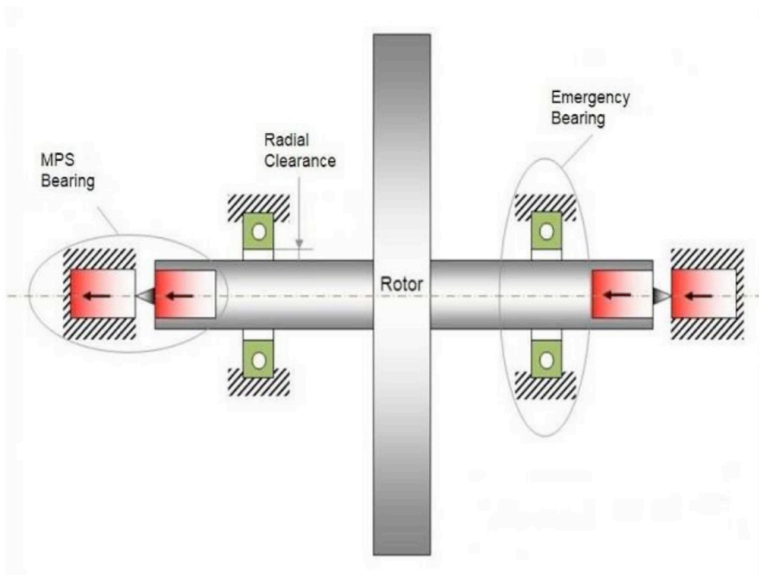


Figure 2. The magnetic passive and sliding bearing.

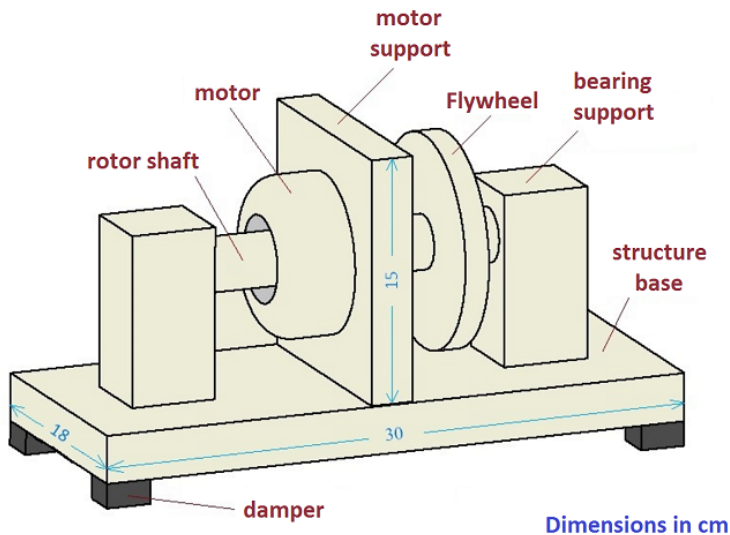


Figure 3. Reduced prototype outline.

2 | THE SLIDING PART OF THE MAGNETIC SUSPENSION

At the end of the rotor shaft a pivot is mounted to compensate any small difference in the magnetic field of the magnets, as can be seen in Fig.4.

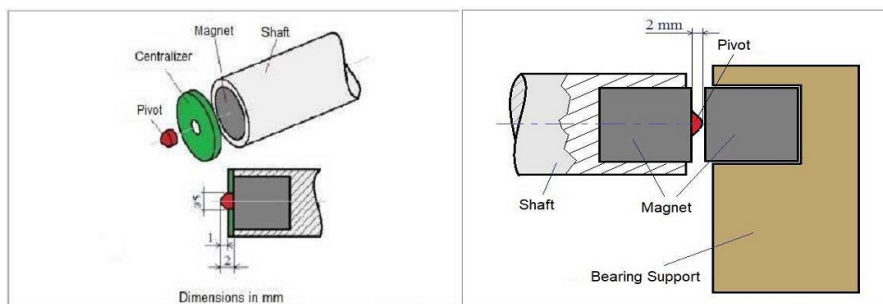


Figure 4. Hybrid bearing sketch constructed.

3 | THE PROTOTYPE OPERATION

The prototype rotor consists of the axle, flywheel and core (rotor) of the engine. The motor core and the two neodymium magnets were coupled to the shaft by means of interference fit. The maximum speed reached in the experiments was 11,700 rpm. The arrangement can be seen in Fig. 5.

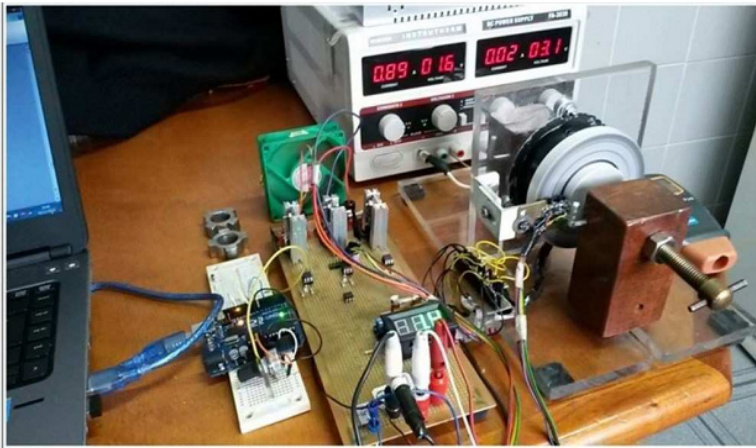


Figure 5. Photograph of the experimental arrangement.

4 | THE PIVOTS

After about 10 hours undergoing experiments at different rotations and loading conditions, the pivots presented extremely low wear, less than 0.1 mm. No influence of this wear on the performance of the system was perceived. The wear can be seen in Fig. 6.

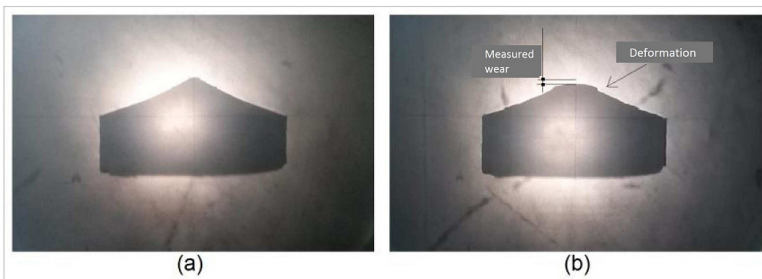


Figure 6. Images obtained on the profile projector: (a) Pivot before the test; (b) Pivot after the test.

5 | THE NEW EXPERIMENT

A new experiment was designed with a new pivot mounting that can be seen in Fig. 7, the pivot is more robust and mounted in the support and not in the shaft. To decrease axial effort on the pivot a magnetic repulsion due to a magnet arranged close to a moving metal surface is implemented, as can be seen in Fig. 8, the central disk in the rotor shaft is located between two neodymium magnets located in the two supports closer to the central disk. The two neodymium were placed in the two aluminum plates placed around the central disk of the shaft. Figure 8 Shows the final test of the new experiment where the rotation reaches 8,112 rpm.

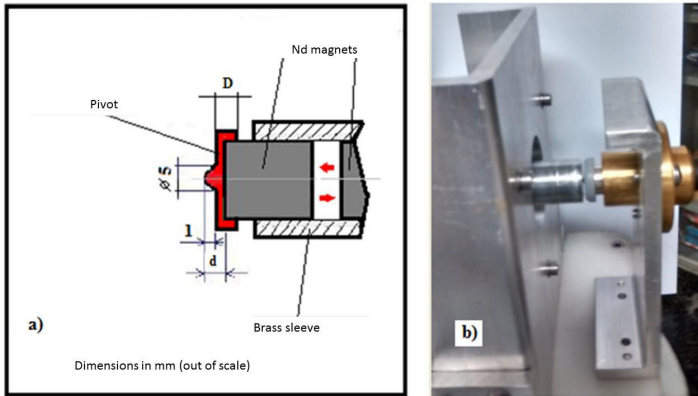


Figure 7. The new pivot mounting.



Figure 8. The new experimental setup.

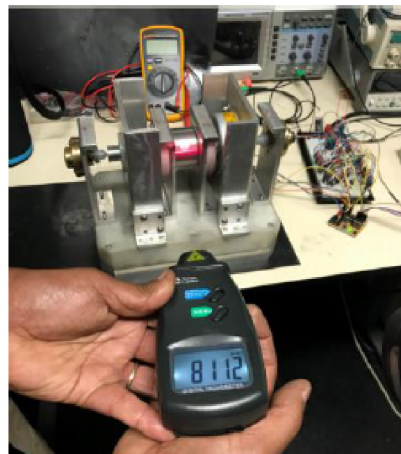


Figure 9. Final test on the new experimental setup.

6 | COMMENTS AND CONCLUSIONS

The vibration and vibration vibrations with the Vaibro® warning device (VaibroSmartCH1® mod. / ICP Accelerometer 106 mv / unit) and software support. ISO 2372, VDI-2056 and ISO 1940 standards.

The velocity (V) tests with the PDCG-M and with predictive techniques of vibrational analysis and thermography were satisfactory and it was possible to reach the desired goal at the beginning of the project. The PDCG-M, due to precision machining and precision machining techniques, achieved a speed of 8,112 rpm with: 60V voltage, 220 mA amperage, 15 mm interaction distance (di), nylon 6 pivot and lithium + graphite powder as a lubricant to reduce friction.

The pivots were retrieved from the experiment and no sign of wear was detected in the pivots of the new experiment showing that the repulsion system worked as planned.

ACKNOWLEDGEMENTS

C. Frajuca thanks research grant #2013/26258-4 from Fundacao de Amparo a Pesquisa do Estado de Sao Paulo (FAPESP) and grant 309098/2017-3 from Conselho Nacional de Desenvolvimento Cientifico e Tecnologico (CNPq).

REFERENCES

Aguiar, O. D. *et al.*, 2002. **The status of the Brazilian spherical detector.** *Brazilian Journal of Physics*, Vol. 32, 866.

Aguiar, O. D. *et al.*, 2004. **The Brazilian spherical detector: progress and plans.** *Class. Quantum Grav.*, Vol. 21, 459.

Aguiar, O. D., *et al.*, 2005. **The Brazilian gravitational wave detector Mario Schenberg: progress and plans.** *Class. Quantum Grav.* Vol. 22, 209.

Aguiar, O.D. *et al.*, 2006. **The Brazilian gravitational wave detector Mario Schenberg: status report** *Journal Class. Quantum Grav.*, Vol. 23, 239.

Aguiar, O.D. *et al.*, 2008. **The Schenberg spherical gravitational wave detector: the first commissioning runs**. *Classical and Quantum Classic*, Vol. 25, No. 11, 114042.

Aguiar, O. D., *et al.*, 2012. **Status Report of the Schenberg gravitational wave antenna.** *Journal of Physics: Conference Series*, Vol. 363, 012003.

Andrade, L. A. *et al.*, 2004. **Ultra-low phase noise 10 GHz oscillator to pump the parametric transducers of the Mario Schenberg gravitational wave detector.** *Class. Quantum Grav.*, Vol. 21, 1215.

Bortoli, F. S. *et al.* 2010. **A physical criterion for validating the method used to design mechanical impedance matchers for Mario Schenberg's transducers.** *Journal of Physics: Conference Series*, Vol. 228, 012011.

Bortoli, F. S. *et al.*, 2016. **On the massive antenna suspension system in the Brazilian gravitational wave detector Schenberg.** *Brazilian Journal of Physics*, Vol. 46, 308.

Bortoli, F. S. *et al.*, 2019. **On the cabling seismic isolation for the microwave transducers of the Schenberg detector.** *Brazilian Journal of Physics*, Vol. 49, 133.

Frajuca, C. *et al.* 2002. **Transducers for the Brazilian gravitational wave detector 'Mario Schenberg'.** *Class. Quantum Grav.*, Vol. 19, 1961.

Frajuca, C. *et al.*, 2004. **A noise model for the Brazilian gravitational wave detector 'Mario Schenberg'.** *Class. Quantum Grav.*, Vol. 21 1107.

Frajuca, C., Bortoli, F. S., Magalhaes, N. S., 2005. **Resonant transducers for spherical gravitational wave detectors.** *Brazilian Journal of Physics*, Vol. 35, 1201.

Frajuca, C., Bortoli, F. S., Magalhaes, N. S., 2006. **Studying a new shape for mechanical impedance matchers in Mario Schenberg transducers.** *Journal of Physics: Conference Series*, Vol. 32, 319.

Frajuca, C., Magalhaes, N. S., Horiguti, A. M., 2008. **Study of six mechanical impedance matchers on a spherical gravitational wave detector.** *Journal of Physics: Conference Series*, Vol. 122, 012029.

Frajuca, C. *et al.*, 2018. **Optimization of a composite quadrupole mass at high-speed rotation.** *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, Vol. 40 319.

Magalhaes N S *et al.*, 1995. **Determination of astrophysical parameters from the spherical gravitational wave detector data.** *MNRAS*, Vol. 274, 670.

Magalhaes N S *et al.*, 1997. **A geometrical method for location of gravitation wave sources.** *Astrophysical Journal*, Vol. 475, 462.

Ribeiro, K. L. *et al.*, 2004. **Tests with superconducting re-entrant cavities for transducer applications in gravitational wave detectors.** *Class. Quantum Grav.*, Vol. 21, 1225.

CAPÍTULO 26

USO DA LAMA CIMENTÍCIA COMO SUBSTITUTO DE AGREGADO MIÚDO NA FABRICAÇÃO DE CONCRETO

Data de aceite: 01/07/2020

Bruno Matos de Farias

Mestre em Desenvolvimento Local; Professor de Engenharia Civil e Arquitetura e Urbanismo –Universidade Estácio de Sá – UNESA - bmfarias@gmail.com

Érika Teles dos Santos

Acadêmico de Engenharia Civil – UNESA - erikatdossantos@gmail.com

Larissa Barbosa Iulianello

Acadêmica de Engenharia Civil – UNESA- barbosaalarissa@gmail.com

Sheila Maria Ferreira Campos

Mestre em Desenvolvimento Local; Professor de Engenharia Civil –Universidade Estácio de Sá – UNESA - sheila.maria@estacio.br

RESUMO: Atualmente, pode-se notar o aumento da geração de resíduos, isso acaba se tornando um dos maiores problemas de uma central dosadora de concreto. Esses resíduos são provenientes de sobras que retornam no caminhão betoneira, lavagens dos caminhões e sobras que acabam aderindo aos pátios das centrais. A destinação desses resíduos costuma apresentar gastos elevados até o despejo em aterros legalizados. O objetivo do presente trabalho busca analisar minuciosamente a origem da lama cimentícia, suas composições e sua incorporação no processo de fabricação do concreto substituindo parcialmente o agregado miúdo pela mesma. Dessa forma, pretende-se avaliar suas influências nas propriedades mecânicas

e analisar a viabilidade da utilização da lama. Para esse estudo foram coletadas amostras da lama cimentícia em seu estado seco numa Central Dosadora de Concreto. As mesmas foram submetidas a ensaios de caracterização como: granulometria, análise do teor de umidade, análises da determinação da massa unitária e volume de vazios e determinação da massa específica e massa específica aparente. Os resultados identificaram que a lama é considerada um agregado fino, porém faltam estudos para se determinar melhores características. A probabilidade da utilização da lama na fabricação do concreto foi possível, mas não houve resultados satisfatórios para a sua finalidade estrutural.

PALAVRA-CHAVE: *Resíduo, concreto, agregados, lama cimentícia.*

USE OF CEMENT MUD AS A SUBSTITUTE FOR FINE AGGREGATE IN THE MANUFACTURE OF CONCRETE

ABSTRACT: Currently, one can notice the increase of waste generation, this ends up becoming one of the biggest problems of a concrete dosing plant. This waste comes from leftovers that return in the mixer truck, washes the trucks and leftovers that end up adhering to the yards of the plants. The disposal of these wastes usually has high expenses until disposal in legalized landfills. The objective of the present work is to thoroughly analyze the origin of the cement sludge, its compositions and its incorporation in the concrete manufacturing process, partially replacing the fine aggregate with it. Thus, it is intended to evaluate their influence on mechanical properties and analyze the viability of using the mud. For this study samples of the cement sludge were collected in

its dry state in a Concrete Dosing Plant. They were subjected to characterization tests such as: granulometry, moisture content analysis, unit mass and void volume analysis and determination of specific mass and apparent specific mass. The results identified that the mud is considered a fine aggregate, but studies are lacking to determine better characteristics. The likelihood of using mud in the manufacture of concrete was possible, but there were no satisfactory results for its structural purpose.

KEYWORDS: *Residue, concrete, aggregate, cement sludge.*

1 | INTRODUÇÃO

Em estudo realizado pela Associação Brasileira de Cimento Portland (2012), a demanda por cimento avançou mais de 80% e o aumento do concreto preparado em centrais foi de 180%. Segundo a pesquisa, estima-se que as concreteiras tenham produzido 51 milhões de m³ no ano passado. O grande responsável pelo aumento da produção de concreto foi o crescimento geral da construção civil, principalmente em obras de infraestrutura e habitação (VIEIRA, 2013). As construtoras vêm escolhendo diversos sistemas construtivos à base de cimento, gerando esse crescimento expressivo. Haja vista este cenário, a demanda de concreto via concreteiras cresceu 136% entre 2006 e 2011. De todo esse volume de resíduo gerado, apenas uma pequena parcela recebe o descarte pelas centrais dosadoras de concreto com destino a aterros licenciados, devido à prática existente em muitas concreteiras de apenas contratar uma empresa para executar a retirada do resíduo de seu terreno, sem exercer um controle de quais são os destinos usados por essas empresas e suas regularidades juntos aos órgãos ambientais responsáveis (VIEIRA, 2013). A ABESC (Associação Brasileira de Serviços de Concretagem) estima que 2% do volume produzido retornam às concreteiras e é descartado como resíduo. Outras associações apresentam números ainda mais elevados. A FIHP (Federación Iberoamericana del Hormigón Premezclado) estima esse número em 3% e a ERMCO (European Ready Mixed Concrete Organization) estima em 1% (Vieira, 2013). O desperdício da produção de concreto abrange não só o resíduo que é gerado na concreteira, como também o desperdício causado na própria obra. O concreto excedente da obra tem duas maneiras peculiares de destinação: aterros e a devolução do material para a concreteira. Todo custo relativo ao transporte do resíduo da obra até a destinação final e disposição em aterro é pago pelo construtor. Se o resíduo é devolvido para a concreteira, essa responsabilidade passa para a mesma. Assim, com o aumento no controle de gastos e do rigor no manejo de resíduos na obra, o volume de concreto que é devolvido às usinas dosadoras tem matéria-prima utilizada no desenvolvimento de estudos de dosagem e controle da produção. Essas sobras devolvidas juntamente com o volume de resíduos gerados das lavagens dos caminhões betoneiras e dos pátios, passam por processos de segregação até se transformarem na lama cimentícia, onde são encaminhadas para os devidos locais de destino. Este resíduo corresponde a cerca de 5% do total de resíduo gerado, segundo o referido levantamento. Por sua vez, os resíduos gerados na fase de entrega são decorrentes de devoluções de sobras e de bate lastro que correspondem respectivamente a 52% e 43% do volume total de descarte

efetuado pela concreteira (VIEIRA, 2013). Trazer para o centro das discussões o conceito de reutilizar a lama cimentícia, como forma empregatícia na fabricação de concreto, gerada nas centrais dosadoras a fim de reduzir a utilização da matéria prima e mostrar como ela pode vir a impactar diretamente nos custos de produção de concreto, podem ser passos decisivos para que a lógica de consumo intensivo de recursos naturais seja revista. Discutir as consequências da reutilização e suas relações com o consumo tem reflexos diretos na implantação de ações sustentáveis. Assim, as empresas podem vislumbrar um caminho de competitividade sustentável, sem esgotamento de recursos, enquanto a empresa se beneficia da redução dos custos e níveis de poluição (SEALEY, 2001). A sociedade, empresas e o mercado podem se beneficiar da discussão a respeito do reaproveitamento da lama cimentícia e dos seus impactos sem negar a importância das questões sustentáveis, análises econômicas, sociais e ambientais, pois a negação dessas questões podem levar ao aceleração do esgotamento dos recursos e o agravamento de situações que podem comprometer a própria sobrevivência. Como a produção científica tem como objetivo de adequar-se da realidade para melhor analisá-la e, posteriormente, produzir transformações, a discussão sobre o reaproveitamento da lama no consumo de recursos, além de aspecto prático muito relevante, envolve-se de importância para o meio acadêmico. Nesse contexto, a maior produção de estudos e conteúdos sobre reutilização de resíduos e sustentabilidade pode ser o início de um processo de transformação que começa na academia e amplia seus reflexos para a realidade social (SEALEY, 2001). Algumas usinas de concretagem nos EUA, têm desenvolvido alternativas para eliminação de resíduos, visto que há uma diminuição de locais apropriados para o lançamento de rejeitos. No Reino Unido, com relação ao aumento das exigências dos órgãos ambientais, identifica-se uma evolução na conscientização com os produtos elaborados com concreto e sua responsabilidade ambiental, o que pode ser comprovada através de novas estratégias, as quais visam até a reutilização da água das lavagens dos caminhões betoneiras. Toda via, existe uma parte significativa de 25 profissionais não qualificados e classificam inadequadamente os resíduos e descarregam o material no meio ambiente (SEALEY, 2001). Dentre os instrumentos voltados para a gestão dos resíduos sólidos da construção civil, destaca-se a Resolução nº307 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Com as normas regulamentadoras e as resoluções do CONAMA sendo exigidas à nível de licenciamento dos empreendimentos, a gestão ambiental de resíduos no canteiro de obras apresenta-se de forma favorável, trazendo para o setor da construção civil inúmeras vantagens, onde destacam-se: redução do desperdício de materiais e serviços, redução no tempo gasto na execução da obra, ambiente de trabalho organizado propiciando ordem e segurança na hora de executar tarefas, aumento na reciclagem dos materiais que antes eram descartados (ZAMARCHI, 2015).

2 I CONCRETO

Pode-se definir concreto como um material composto, constituído por

cimento, agregado miúdo, água, agregado graúdo e ar. Outros componentes como aditivos químicos que tem como finalidade a otimização ou a modificação das suas propriedades básicas, também se incorporam na mistura (BASTOS, 2006). O concreto é o material mais utilizado na construção civil, e de acordo com suas relações, a pasta é o cimento misturado com a água, a argamassa é a pasta misturada com a areia, e o concreto é a argamassa misturada com a pedra ou brita, também chamado concreto simples (concreto sem armação), e seu estado fresco tem consistência plástica e o estado endurecido tem uma elevada resistência à compressão e baixa a à tração. No entanto, a durabilidade é alta, e com o aumento da cura sua resistência mecânica aumenta (HELENE, 2009).

3 | AGREGADOS

Os agregados podem ser estabelecidos como materiais minerais, sólidos, estáticos, que entram na constituição das argamassas e concretos, eles “não” devem conter substâncias de natureza orgânica e em quantidades que possam abalar a hidratação e o endurecimento do cimento” conforme a ABNT NBR 7211:2005.

São muito relevantes, pois cerca de 70 % da sua composição é constituída pelos agregados, e são os materiais de menor custo dos concretos e quanto sua classificação, é adotada através da sua origem, naturais e artificiais. Pode-se encontrar os agregados naturais na natureza, como areias de rios e pedregulhos, figura 1(HELENE, 2005).



Figura 1: Areia/ pó de pedra

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Na classificação de forma que suas dimensões são, os agregados são chamados de miúdo, como as areias, e graúdo, como as pedras ou britas. O agregado miúdo tem partículas, ou seja, diâmetro máximo igual ou inferior a 4,8 mm, e o agregado graúdo tem diâmetro máximo superior a 4,8 mm. As britas são os agregados graúdos mais usados no Brasil, com uso superior a 50 % do consumo total de agregado graúdo nos concretos (BASTOS, 2006). A água é indispensável na dosagem do concreto para proporcionar as reações químicas do cimento, ou

seja, processo de hidratação que o concreto sofre, e através dessas reações, as propriedades de resistência e durabilidade do concreto são mantidas. Há também o emprego da lubrificação das outras partículas para proporcionar o manuseio do concreto. A água potável é geralmente indicada para a dosagem dos concretos. Ao preparar o concreto, um ponto de atenção é o cuidado com a qualidade e a quantidade da água utilizada, pois ela é a responsável por ativar a reação química que transforma o cimento em uma pasta aglomerante. Se a quantidade for muito pequena, a reação não ocorrerá por completo e se for superior a ideal, a resistência diminuirá em função dos poros que ocorrerão quando este excesso evaporar (BONFIM, BALDIN, PEREIRA, & PAULA, 2017).

4 | DOSAGEM DO CONCRETO

Dosagem do concreto trata da proporção ideal dos componentes constituintes da mistura, sendo eles: cimento, água, agregados e, em algumas situações, aditivos. De acordo com Rodrigues (2008), o produto dessas proporções deve atender diretamente os seguintes requisitos: a) trabalhabilidade, no estado fresco; b) resistência, no estado endurecido; c) boa relação custo-benefício.

Dentro dessas condições, compreende-se a dificuldade de dosar e produzir concreto e a necessidade da experiência do profissional responsável. Percebe-se também que a qualidade perante estes requisitos depende diretamente dos recursos e equipamentos disponíveis. A demanda de projeto na qual será utilizado respectivo concreto, especificará qual resistência mínima do mesmo. Normalmente, os projetos solicitam apenas a resistência à compressão simples, a qual o concreto bem executado responde muito bem. Entretanto, existem os projetos especiais, que demandam ainda resistência aos esforços de tração e as deformações (RODRIGUES, 2008). Segundo Rodrigues (2008), outro ponto importante, são as condições de cura as quais o concreto executado está exposto. Frequentemente o concreto não é produzido no local, ele é feito em uma usina dosadora e levado até o local de aplicação. Durante o transporte, o processo de cura do concreto é iniciado, portanto cabe a consideração deste fator, já que ele afetará diretamente na trabalhabilidade da mistura na obra. Perante a dificuldade de avaliar todos os parâmetros para dosar um concreto, faz-se necessário produzir alguns traços experimentais antes da dosagem final. Diante desse cenário, é possível fazer algumas correções e facilitar a visualização do traço que harmoniza melhor com as condições mais importantes a serem atendidas por determinação de projeto (RODRIGUES, 2008). Inicialmente, o concreto era produzido com a mistura de somente três materiais: cimento, agregados e água, sendo que o cimento era, quase sempre, o cimento Portland. Com o passar do tempo, com o objetivo de melhorar algumas propriedades do concreto, quanto no estado fresco quanto no estado endurecido, quantidades muito pequenas de produtos químicos foram adicionadas às misturas (BELINE, MAFFEIANGELOTTI, COELHO, & SANTOS, 2015). As principais propriedades mecânicas do concreto endurecido, como resistência, retração, permeabilidade, resistência ao intemperismo e fluência, também são afetadas por outros fatores. A tendência geral é que cimento com menor velocidade de endurecimento tenha

uma resistência final um pouco maior. O comportamento de baixa resistência inicial e elevada resistência final comprova a influência da estrutura inicial do concreto endurecido no desenvolvimento da resistência final. Quanto mais lentamente for formada a estrutura, mais denso será o gel e maior a resistência final. O aumento na velocidade de ganho de resistência do cimento de alta resistência inicial é obtido por meio de um teor mais elevado e pela moagem do clínquer resultando em maior finura (HELENE, 2005). Então, quanto maior for a relação água/cimento, mais fina será a granulometria necessária para uma maior trabalhabilidade. Na realidade, para uma relação água/cimento, existe uma relação entre agregado graúdo e agregado miúdo (para determinados materiais) que resulta em maior trabalhabilidade. A trabalhabilidade é determinada pelas proporções volumétricas das partículas de diferentes dimensões, de modo que, quando são utilizados agregados de diferentes massas específicas (HELENE, 2005). Visto isso, existe uma grande variedade de tipos de concreto, cada um atendendo a um tipo de exigência nas construções, dentre eles, o concreto jateado, concreto bombeável, concreto armado, concreto simples, concreto protendido, concreto de alta resistência (CAD), concreto auto adensável, concreto leve, concreto pesado, entre outros. E para a execução dos concretos, existem padrões normativos que precisam ser seguidos rigorosamente segundo a NBR (Norma Brasileira Regulamentadora).

5 | MATERIAIS ALTERNATIVOS

Na sequência, outros materiais de natureza inorgânicas foram introduzidos nas misturas de concreto. A motivação original para o uso desses materiais normalmente era econômica, já que eles costumavam a ser mais baratos do que o cimento Portland, pois existiam na forma de depósitos naturais, exigindo nenhum ou pouco beneficiamento, ou por serem, algumas vezes resíduos de processos industriais. Um impulso adicional para a incorporação desses materiais “suplementares” ao concreto foi dado pelo aumento do custo da energia na década de 1970, e deve ser lembrado que a energia representa a maior proporção na composição de custos da produção do cimento (BRASIL, 2010). Outro incentivo ao uso de alguns materiais incorporadores foi dado pelas preocupações ambientais surgidas, por um lado, pela exploração de jazidas para as matérias primas necessárias à produção do CP e, por um outro, pelas maneiras de disposição de resíduos industriais, como a escória de alto forno, a cinza volante ou a sílica ativa. Além disso, a produção do cimento em si é ecologicamente prejudicial, já que, para a produção de uma tonelada de cimento, aproximadamente a mesma quantidade de dióxido de carbono é liberada na atmosfera (BRASIL, 2010). Seria erroneamente afirmar, baseado no histórico apresentado, que os materiais suplementares somente foram introduzidos no concreto pela sua viabilidade econômica. Esses materiais também conferem várias propriedades desejáveis ao concreto, algumas vezes no estado fresco, mas com maior frequência no estado endurecido. Esse atrativo, combinado com os “incentivos”, resultou em uma situação onde, em muitos países, uma elevada proporção do concreto contém um ou mais desses materiais suplementares (BELINE, MAFFEIANGELOTTI, COELHO, & SANTOS, 2015). A utilização de agregados alternativos na construção

civil, que tem como função promover estabilidade dimensional aos elementos do concreto, vem aumentando com o objetivo de melhorar as propriedades deste ou reduzir os recursos financeiros gastos com o material na construção. Assim, a utilização de processos e matérias-primas alternativas na construção civil já é realidade, necessidade em inúmeras construções (BELINE, MAFFEIANGELOTTI, COELHO, & SANTOS, 2015). Em diversos Países estudos utilizaram como agregados alternativos rejeitos de borrachas, vidros e rejeitos da própria construção civil. Com o concreto não é diferente, já que este, é o material mais utilizado na construção civil. Isso se deve a sua versatilidade e propriedade de assumir a forma do molde que o contém. De acordo com esse cenário, os materiais utilizados como: carvão vegetal, poliestireno expandido (EPS), argila expandida e resíduos como lama cimentícia para mistura junto à uma massa de cimento, areia e água, estão ganhando espaço na substituição dos agregados comuns.

Com isso, obtém-se um concreto com características de leveza e resistência, porém com as mesmas características e facilidade de moldagem do concreto estrutural (BELINE, MAFFEIANGELOTTI, COELHO, & SANTOS, 2015). A lama cimentícia ou lama residual, é definida como um resíduo proveniente do processo da fabricação do concreto, onde esse resíduo pode ser gerado através de perdas no próprio processo construtivo, durante a fase da entrega e lançamento nas obras e a principal fonte geradora que é formada pela lavagem dos caminhões betoneiras dentro das próprias centrais dosadoras de concreto, conforme a Figura 2 (SILVA, 2016).

A partir deste item, o estudo apontado para a realização deste trabalho, apresenta soluções para serem aplicadas na gestão dos resíduos gerado nas centrais dosadoras de concreto.



Figura 2: Lavagem dos caminhões betoneira

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

Dentro das CDC, os agregados e o cimento são armazenados em silos e dosados juntamente com aditivos e água. Após o processo de dosagem, eles

passam por um misturador mecânico e carregados aos caminhões betoneiras que realizarão seu transporte até as obras, nas quais serão destinadas, conforme processo mostrado na Figura 3 (VIEIRA & FIGUEIREDO, 2013).

Segundo Vieira (2013), dentro das centrais dosadoras de concreto, o resíduo é gerado pelas perdas do processo produtivo antes da saída do concreto para a obra, e abrange os seguintes casos: materiais desperdiçados durante o transporte no interior das centrais; concretos com abatimento inadequado que são descartados ainda na central; materiais usados no desenvolvimento de estudos de dosagem e controle da produção do concreto.



Figura 3 (A) Processo de dosagem do concreto; (B) Dosador de água; (C) Dosagem de água

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

Durante a fase de entrega e lançamento do concreto na obra, também são gerados resíduos provenientes de sobras, que são consideradas como todo o volume de material residual que não foi descarregado na obra, e de lavagem do bate-lastro (local onde os caminhões realiza sua lavagem), que é caracterizado como material impregnado no interior dos caminhões betoneira após o descarregamento total do material na obra (SILVA, 2016).

O processo de produção do concreto e o sistema de tratamento se dá conforme a Figura 4:

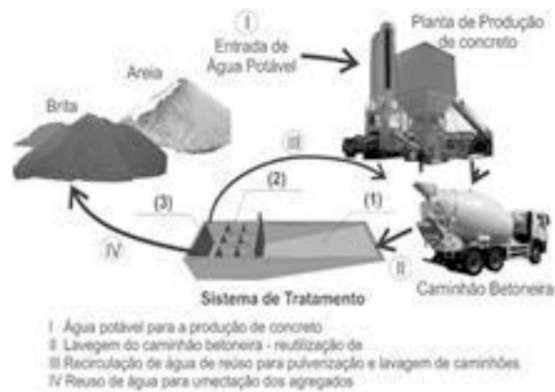


Figura 4: Processo de produção do concreto e o sistema de tratamento

Fonte: Tecnolegis, 2015.

No esquema apresentado, os agregados e cimento armazenados em silos são dosados juntamente com aditivos e água, que pode ser potável ou de reuso. Após a dosagem eles podem passar por um misturador mecânico, movido a energia elétrica ou a diesel e carregados aos caminhões betoneiras que realizam seu transporte até as obras a que são destinados (SILVA, 2016).

Não especificamente voltados apenas ao ambiente de obras, o resíduo de concreto também é gerado ao longo do processo de fabricação do concreto, nas quais os resíduos podem ser gerados através de perdas no próprio processo produtivo ou durante a fase de entrega e lançamento nas obras (VIEIRA & FIGUEIREDO, 2013).

Segundo Vieira (2013), dentro das centrais dosadoras de concreto, o resíduo é gerado pelas perdas do processo produtivo antes da saída do concreto para a obra, e abrange os seguintes casos: materiais desperdiçados durante o transporte no interior das centrais; concretos com abatimento inadequado que são descartados ainda na central; materiais usados no desenvolvimento de estudos de dosagem e controle da produção do concreto. Já os resíduos gerados durante a fase de entrega e lançamento do concreto na obra são decorrentes da devolução de sobras, que são consideradas como todo o volume de material residual que não foi descarregado na obra, e de lavagem do lastro, que é caracterizado como material impregnado no interior dos caminhões betoneira após o descarregamento total do material na obra. A devolução de sobras de concreto usinado pelas obras para as centrais representa a maior parte do resíduo e tem como causa mais frequente a diferença existente entre o volume solicitado pelas obras para a concretagem de uma estrutura e a quantidade que se faz realmente necessária para a execução dessa atividade, representando cerca de 80% das devoluções. Outras causas usualmente encontradas para essas devoluções são a impossibilidade de aplicação do concreto devido a uma ultrapassagem de seu tempo de aplicação e recusa do material na obra devido a abatimento inadequado do mesmo (VIEIRA & FIGUEIREDO, 2013).

Nos casos nos quais há o descarregamento efetivo do concreto na obra qual

ele foi destinado, se estima que um caminhão, de capacidade de carregamento de 8m³ de concreto, retorna a central com cerca de 100 litros de lastro aderido às paredes e facas do misturador. A lavagem dos caminhões para a retirada desse lastro se faz necessária como um modo de evitar a sua secagem no interior do mesmo, que pode vir a prejudicar a eficiência do equipamento durante a mistura e homogeneização do concreto. Esse processo de lavagem consiste no preenchimento, ao final do período de operação do caminhão betoneira, de sua betoneira com água, sendo então acionada a rotação de seu tambor de modo a se realizar a retirada do concreto residual de seu interior, sendo então essa água de lavagem encaminhada para um tanque de decantação. O consumo de água nessa operação é se situa entre 500 e 900 litros por lavagem realizada (SOUZA, 2007).

A perda do concreto associada a ultrapassagem de seu tempo de aplicação se dá pelo atendimento da norma brasileira NBR 7212:2012, para execução de concreto em central, que define que o tempo máximo de transporte do mesmo da central até a obra como sendo de 90 minutos, assim como o tempo máximo para aplicação desse concreto sendo de 150 minutos. Esses tempos limites, entretanto, devido à dificuldade cada vez maior imposta pelo trânsito nas

grandes cidades, acabam sendo ultrapassados em muito, o que por sua vez leva a rejeição da mistura pela obra (POLESELLO, 2012).

Esses resíduos gerados costumam ser descartados internamente na central em tanques de decantação, no qual ficam armazenados. Dentro do tanque decantador, os finos de concreto quando for o caso sedimentam no fundo do tanque e a água é transportada para outro tanque, sendo reservada e analisada. Dependendo das características da água analisada a mesma pode ser reutilizada juntamente com a água para a dosagem de novos concretos.

6 | METODOLOGIA

A metodologia da pesquisa é qualitativa e descritiva, sendo realizada por meio de um estudo de caso que foi realizado pela análise técnica, buscando caracterizar a lama cimentícia resultante da lavagem dos caminhões betoneiras e pátios. Foi realizado o estudo das propriedades e características físicas da lama cimentícia e a compreensão da sua atuação nas propriedades existentes do concreto. A partir desse cenário, foi feito um programa experimental coletando amostras em uma central dosadora de concreto. Após realizado o estudo de avaliação do seu padrão físico, foi incorporado em um traço de concreto e será presente em todo o estudo, os padrões normativos como auxílio na elaboração, armazenamento, controle e análise da amostra. Tendo como proposta a substituição da areia na fabricação de um novo concreto juntamente com os seus benefícios ambientais e econômicos. A pesquisa foi realizada em uma concreteira localizada no Estado do Rio de Janeiro.

7 | RESULTADOS

O caminho percorrido para chegar aos objetivos do presente trabalho, inicia-se por uma análise técnica, que buscará a obtenção dos agregados e da

amostra em questão, no caso, a lama cimentícia (resíduo resultante das lavagens dos caminhões betoneiras e pátios das usinas dosadoras), realizará toda sua caracterização, manipulação e o concreto resultante composto pelo mesmo, por fim, será avaliado seu comportamento com o emprego da lama cimentícia como substituto de agregado miúdo. Para tal estudo, será necessária uma análise da composição e características físicas e fundamentais da lama cimentícia seca, e quais suas principais influências nas propriedades do concreto, quando a mesma for adicionada a este, em substituição aos agregados miúdos. O processo consiste em coletar amostras da lama cimentícia em seu estado seco numa Central Dosadora de Concreto, adotada como CDC, no município de Duque de Caxias no Estado do Rio de Janeiro. A amostra, que ficou no tanque de decantação por aproximadamente 1 (um) mês, antes de ser seca na baía de secagem (Figura 5), precisa ser coletada numa quantidade inteiramente homogeneizada, com a ajuda de um instrumento, como por exemplo uma pá de bico, armazenada em saco plástico e transportada até o laboratório de controle tecnológico. A escolha desse resíduo como parte substituta do agregado miúdo (área), deveu-se a elevada geração deste nas centrais dosadoras e a falta de processos de reutilização do mesmo.



Figura 5: Tanque receptor de água oriunda da lavagem dos caminhões

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

Para a produção do concreto serão utilizados como agregado a areia lavada, brita 0, pó de pedra e o cimento utilizado foi Cimento Portland CII 40 RS. A escolha do cimento foi levada em consideração pela boa trabalhabilidade e boa resistência inicial. O conhecimento de algumas características dos agregados é uma exigência para a dosagem do concreto. Já a massa específica ou a porosidade, a granulometria, a forma e textura determinam as propriedades do concreto. Para se definir o melhor método de utilização da amostra na dosagem do concreto, será necessário realizar ensaios de caracterização físico da lama. Para os ensaios, foram escolhidos a determinação da composição granulométrica afim de se verificar a distribuição granulométrica mais apropriada, massa específica e massa específica aparente e determinação da massa unitária e volumes de vazios,

também foi escolhido o ensaio da determinação da umidade e umidade higroscópica com a finalidade de comprovar a secagem do material, ou seja, a propriedade que o material possui em absorver água. Assim como a lama cimentícia, faz-se necessário executar todo processo de caracterização dos agregados de origem comum para a dosagem do concreto. Sendo o concreto mais utilizado em toda a construção civil, o concreto de cimento Portland, terá sua metodologia de dosagem apresentada pelas condições brasileiras pela Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) e *American Concrete Institute* (ACI).

Diante de uma gama de métodos dispostos nas bibliografias em todo o mundo, a Associação Brasileira de cimento Portland (ABCP) define seu próprio método. Para esta metodologia, deve-se obrigatoriamente preparar uma mistura experimental com o intuito de verificar se as quantidades desejadas foram atingidas. O método preocupa-se diretamente com a trabalhabilidade do concreto. Obtendo o domínio dessas informações, estipula-se o fator água-cimento, ilustrada pela Figura 6.

Esta relação é definida a partir de parâmetros do projeto, como durabilidade e resistência mecânica.

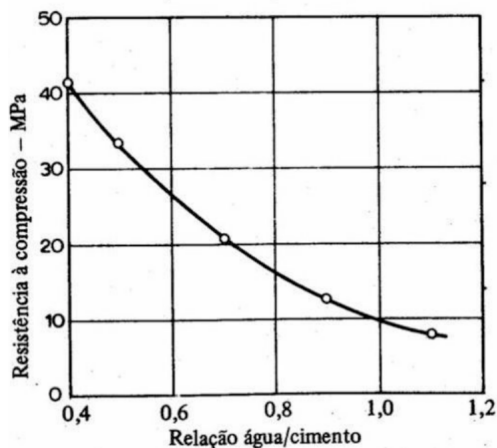


Figura 6: Gráfico para determinação do fator água/cimento

Fonte: Rodrigues, 1998.

Após finalizada esta etapa, determina-se uma aproximação para o consumo de água do concreto. Há uma ligação direta com as características dos materiais utilizados. No Brasil, é praticamente impossível dimensionar a quantidade por um método matemático, visto isso, existem tabelas que auxiliam na relação do consumo de água. O consumo de agregados, é dado após as quantidades de água e cimento serem definidos. Porém, vale a observação de que os agregados são compostos por miúdo e graúdo, necessitando de atenção na proporção de cada um. Após as definições necessárias, o traço é representado na seguinte disposição: Cimento:

agregado miúdo: agregado graúdo: relação água-cimento, onde se quantifica a porção necessária de cada elemento para uma unidade de cimento. Para a formulação da mistura, foi simulado um traço onde a proposta é um concreto não estrutural, previsto 20 Mpa (Tabela 1).

Cimento (kg)	Areia (kg)	Pó de pedra (kg)	Brita 0 (kg)	Água (L)
50	54	18	71	30

Tabela 1 - Simulação do traço inicial

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

A proposta do experimento consiste em formular 4 traços com proporções gradativas da lama cimentícia em substituição do agregado miúdo, no caso, a areia natural. No primeiro traço (Tr), traço real, será formulado conforme as características da dosagem de origem, sem acrescentar porcentagens da lama. O segundo traço (T1), será formulado um traço com 15% da lama cimentícia em substituição de 15% do agregado miúdo. É observada suas características e faz-se necessário a correção da mistura adicionando mais água e cimento à mistura. Como de conhecimento, a adição de água na mistura, ocasionada um aumento da relação A/C e, com isso, diminui-se a resistência à compressão dos concretos. Para a formulação dos traços, não será considerado o uso de aditivos, poderá ser corrigido com aditivos com a finalidade de obter as características esperadas em estudos futuros. No terceiro traço (T2), terá 50% da areia substituída por 50% da lama cimentícia. Novamente, é observada suas características e faz-se necessário a correção da mistura. Por fim, o quarto traço (T3), será substituído 100% da areia pela lama cimentícia. Por se tratar de um material novo e sem conhecimento de suas características, mantêm-se as proporções do Tr, apenas alterando a proporção de cimento de acordo com a necessidade. As misturas foram reduzidas proporcionalmente, utilizando os consumos de materiais informados na Tabela 2.

Mistura	mento CP II E 40 (kg)	Água (L)	Areia (kg)	Brita 0 (kg)	de pedra (kg)	Lama cimentícia (kg)
Tr	11,5	9	60	17	5,5	0
T1	13	10	51	15	3	9
T2	13	10	30	15	3	30
T3	13	10	0	15	3	60

Tabela 2 - Consumo de materiais

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Foram utilizados os seguintes materiais na composição do concreto:

1. Lama cimentícia;
2. Cimento Portland (CP II E 40);
3. Areia média (Sol nascente);
4. Agregado graúdo brita 0 (Magé Mineração LTDA);
5. Pó de pedra (Magé Mineração LTDA).

Após a definição dos traços, serão adicionados, um traço de cada vez, respeitando suas proporções em uma betoneira (CSM 120 litros), conforme Figura 6.



Figura 6: Betoneira misturadora

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

O controle do concreto no seu estado fresco é de vital importância para garantir suas propriedades no estado endurecido. Sabendo disso, é de suma importância que seja realizado o ensaio de abatimento, cujo nome Slump test, onde a principal função deste ensaio é medir a consistência e fluidez do material, e o controle da uniformidade da trabalhabilidade do concreto. O componente físico mais importante da trabalhabilidade é a consistência, ou seja, aplicado ao concreto, transfere propriedades fundamentais da mistura fresca.

Na Tabela 4, indica-se correlações entre o ensaio de abatimento e trabalhabilidade.

Trabalhabilidade	Abatimento (mm)
Abatimento zero	0
Muito baixa	5 a 10
Baixa	15 a 30
Média	45 a 75
Alta	80 a 155
Muito alta	160 ao desmoronamento

Fonte: Clube do concreto, 2013.

Será considerada as especificações dos concretos. No entanto, deve-se ter a garantia que o concreto foi dosado adequadamente e verificada a trabalhabilidade durante o seu preparo. O método é aplicável à determinação em laboratório ou em canteiro de obra a concretos que apresentam abatimento igual ou superior a 1 cm.

O molde deve ser confeccionado em chapa metálica de, pelo menos, 16mm de espessura, em forma de tronco de cone reto, com 30cm de altura e ambas as bases abertas, a inferior com 20cm e a superior com 10cm de diâmetro interno, e provido de aletas e alças, conforme Figura 7.



Figura 7: Cone abatimento

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

A resistência Característica do Concreto à Compressão (f_{ck}) é um dos dados utilizados no cálculo estrutural e sua unidade de medida é o MPa (Mega Pascal). Para este ensaio, foram moldados 4 corpos de prova para cada traço e serão rompidos nas idades, conforme a Tabela 5. Neste ensaio, a amostra do concreto é "capeada" e colocada em uma prensa. Nela, recebe uma carga gradual até atingir sua resistência máxima, estabelecido pela ABNT NBR 5739:2018. Antes de proceder à moldagem, os moldes devem ser preparados com uma camada fina de óleo mineral.

Mistura	Idades de rompimento (dias)			
Tr	7	14	21	28
T1	7	14	21	28
T2	7	14	21	28
T3	7	14	21	28

Tabela 5 - Idade dos corpos de prova

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Deve-se colocar o concreto dentro dos moldes em número de camadas de igual altura, de acordo com a ABNT NBR 5738:2015. O concreto com a haste antes de iniciar o adensamento de cada camada. No adensamento manual, os golpes devem ser distribuídos uniformemente em toda a seção. A primeira camada deve ser atravessada em toda sua altura, nas demais camadas, a haste deve atingir 20mm da camada inferior, será aplicado 12 golpes por camada. A última camada deve ser moldada com excesso de concreto; não é permitido completar o volume do molde após o seu adensamento. A última camada deve ser moldada com excesso de concreto; não é permitido completar o volume do

molde após o seu adensamento. Após o adensamento de cada camada, bater levemente na face externa do molde para fechar vazios. Rasar a superfície com colher de pedreiro ou haste e cobrir com plástico.

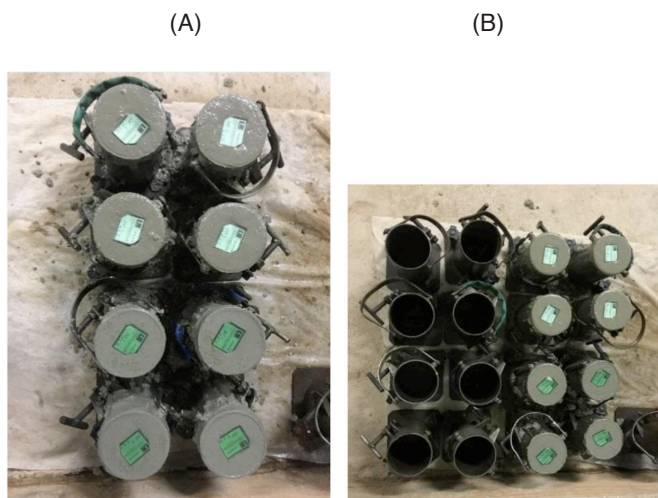


Figura 8: Corpos de prova capeados e identificados

(A) corpos de prova moldes e identificados; (B) moldes com uma fina camada de óleo mineral.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Após o desmolde e a permanência em tanque, o corpo de prova será encaminhado para o laboratório, onde será rompido e apresentará seus respectivos resultados. A verificação da resistência do concreto é feita pelo método do ensaio de compressão axial. Após o laboratório receber o corpo de prova da obra, ele é armazenado em câmara úmida por um tempo determinado de acordo com o pedido do cliente, sempre lembrando que o concreto atinge a sua resistência característica no 28º dia. Vencido este prazo o corpo de provar segue para outro setor do laboratório onde ele passará por um nivelamento das superfícies para que encaixe perfeitamente na máquina que irá fazer o ensaio e finalmente ele é encaminhado para a última fase, chamada de rompimento. A máquina exerce uma força gradual

de compressão sobre o corpo de prova até que o mesmo venha a romper, a força exercida é dividida pela área de topo do corpo de prova em cm^2 , temos então a relação de kgf (exercido pela máquina) por cm^2 , que, para chegarmos ao MPa, basta dividir este valor por 10.



Figura 9: Corpos de prova capeados e posicionados na prensa

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

8 | DISCUSSÃO

O método de gestão implantado pelo reaproveitamento da lama cimentícia não é suficiente para eliminação total do resíduo, mas com a adição da lama nos concretos, podem reduzir o problema. Devido à falta de conhecimento do material, a trabalhabilidade do concreto foi corrigida constantemente durante a sua dosagem variando a quantidade de água utilizada. Essa técnica não é indicada para concretos com finalidades estruturais, devido a redução da resistência mecânica. Através do consumo médio de matéria prima analisado na pesquisa e identificado seus custos, foi comprovado que a simulação da adição da lama em substituição parcial pelo agregado miúdo, apesar de não ter apresentado resultados satisfatórios, houve uma pequena redução nos custos com matéria prima. A técnica de substituição por parte do agregado miúdo em 15% da lama, representado pelo T1, foi o mais eficaz, onde apresentou crescimento uniforme em suas resistências de acordo com as suas idades de rompimentos. Portanto, para adotar a técnica de substituição da lama pelo agregado miúdo com resultados satisfatórios ou até mesmo para utilização desse concreto com finalidades estruturais, sugere-se que faça ensaios mais específicos para indicar as influências juntamente com os agregados comuns. Fica como sugestão para futuros estudos também, o emprego de aditivos para a tentativa de melhorar suas propriedades e características

BIBLIOGRAFIA

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7211: Agregados para concreto - Especificação. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 52: Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 45: Agregados Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6467: Agregados Determinação do inchamento de agregado miúdo - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7212: Execução de concreto dosado em central – Procedimento. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15116 Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil - Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – Requisitos. Rio de Janeiro, 2004

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7217 Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 26 Agregados – Amostragem. Rio de Janeiro 2009. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7219 Agregados – Amostragem. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 27 Agregados - Redução da amostra de campo para ensaios de laboratório. Rio de Janeiro, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 67 Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5739 Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2018. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5738

Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12655 Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação – Procedimento. Rio de Janeiro, 2015. AMBIENTE, M. D. (2010).

Agregados para a construção civil no Brasil. VIEIRA, L. B. (2013).

A viabilidade do uso do poliestireno expandido na indústria da construção civil (Trabalho de conclusão de curso), p. 74. POLESSELLO, E. (2012).

96 BASTOS, D. P. (agosto de 2006). Fundamentos do concreto armado. Notas de aula, p. 92. BELINE, E. L., MAFFEIANGELOTTI, A., COELHO, T. M., & SANTOS, B. D. (2015).

Concreto e suas inovações. BERLOFA, Aline. (2009).

COUTO, J. A., CARMINATTI, R. L., NUNES, R. R., & MOURA, R. C. (outubro de 2013). O concreto como material de construção. pp. 49-58. DEBS, M. K. (2017).

Concreto pré-moldado - Fundamentos e aplicações. São Paulo: Oficina de textos. HELENE, P. (2005).

CONCRETO. Microestrutura, propriedades e materiais. IBRACON. RASHWAN, S., & A., S. (1997).

Dosagem do Concreto de Cimento Portland - IBRACON. Pesquisas e realizações, pp. 439-472. Fonte: IBRACON. ISOFÉRES. (2012). Concreto leve. Fonte: Isóferes Comercio e Representação: <http://www.isoferes.com.br/imagens/ARQUIVOS%20PDF%20SITE/CONCRET O%20 LEVE.pdf> MEIRA, A. M. (julho de 2002).

DIAGNÓSTICO SÓCIO-AMBIENTAL E TECNOLÓGICO DA PRODUÇÃO DE CARVÃO VEGETAL NO MUNICÍPIO DE PEDRA BELA. NEVILLE, A. M. (2016).

Estruturas de concreto. RIBEIRO, C. C. (2013). Materiais de Construção civil. São Paulo: ufm. RIBEIRO, C. C., PINTO, J. D., & STARLING, T. (2003).

Evolução dos pré-fabricados de concreto. 1º encontro nacional de pesquisa projeto produção em concreto pré-moldado. 97 SILVA, D. O. (2016).

Estruturas de concreto armado - notas de aula. Universidade Federal de Lavras. SOUZA, A. F. (2007). Otimização do uso de aditivo estabilizador de hidratação do cimento em água de lavagem dos caminhões-betoneira para produção de concreto. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico.

Gestão Ambiental de Resíduos na Construção Civil e Benefícios para o. XI Semana de Extensão, Pesquisa e PósGraduação - SEPesq. REPETTE, W. L. (2006).

Lama cimentícia. VALVERDE, F. M., & TSUCHIYA, O. Y. (5 de novembro de 2009). Associação Nacional de Entidades de Produtores de Agregados par Construção civil.

Laboratório de materiais de construção agregados. Universidade do Estado de Santa Catarina. BONFIM, W. B., BALDIN, V., PEREIRA, R. R., & PAULA, H. M. (2017).

Lama residual de usina de concreto: características e aplicações na confecção de blocos. REEC - Revista Eletrônica de Engenharia Cvil. BRASIL. (2 de agosto de 2010). Fonte: Política Nacional de Resíduos Sólidos. CONCRETO, P. D. (2016).

Materiais de Construção Civil. Belo Horizonte: UFMG. RODRIGUES. (2008).

Parâmetros de dosagem do concreto. Associação Brasileira de Cimento Portland. SEALEY, B. J. (2001).

Política Nacional de Resíduos Sólidos. Ministério do Meio Ambiente. Disponível em: Acesso em 10 de setembro 2019. ARRANJO TRIBUTÁRIO, (1998). Disponível em: Diário do Nordeste On Line: . Acesso em 8 de setembro de 2019.

Portal do concreto. Disponível em: <https://www.portaldoconcreto.com.br/concreto>. Acesso em: 02 setembro de 2019.

Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil. TELES, J. (outubro de 2019). Propriedades do Concreto. Rio de Janeiro: Bookman Editora LTDA. PINHEIRO, L. M., MUZARDO, C. D., & SANTOS, S. P. (março de 2010).

Reaproveitamento de concreto fresco dosado em central o uso de aditivo estabilizador de hidratação. Dissertação de Mestrado - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, pp. 07-14. BERNARDI, T. (fevereiro de 2006).

Reuse of waste water from ready-mixed concrete plants. Management of Environmental Quality. LIMA C. I. V.; COUTINHO C. O. D. & AZEVEDO G. G. C (2014).

Reaproveitamento das lamas residuais do processo de fabricação do concreto. SOUZA Jr., T. F. (agosto de 2016).

Resíduos da concreteira: o aproveitamento do problema. Revista Concreto Ibracon 71. VIEIRA, L. D., & FIGUEIREDO, A. D. (setembro de 2013).

Resíduos da concreteira: o aproveitamento do problema. ZAMARCHI, M. G. (outubro de 2015).

Reciclagem de água de lavagem de caminhão betoneira para a produção de concreto. Formulário para apresentação de projetos PIBIC/ CNPq – BIP/UFSC. MEHTA, K. P., & MONTEIRO, P. J. (2008).

Substituição de agregados graúdos do concreto por materiais. IX Encontro de Engenharia de Produção Agroindustrial. BENINI, H. R. (2007).

The properties of Recycled Concrete. Concrete internacional, p. 56. TSIMAS, S., & ZERVAKI, M. (2011).

Waste Management issues for the UK ready-mixed concrete industry. Resources Conservation & Recycling, 32, 321-331. SERRA, S. M. (3 de novembro de 2005).

CAPÍTULO 27

UTILIZAÇÃO DE NANOPARTÍCULAS MAGNÉTICAS NA RETIRADA DE PETRÓLEO DERRAMADO

Data de aceite: 01/07/2020

Data de submissão: 06/05/2020

Ana Caroline Nasaro de Oliveira

Centro Federal de Educação Tecnológica de
Minas Gerais
Timóteo – Minas Gerais
<http://lattes.cnpq.br/9943416686937636>

Júnia Ciríaco de Castro

Centro Federal de Educação Tecnológica de
Minas Gerais
Timóteo – Minas Gerais
<http://lattes.cnpq.br/8394480325815565>

Rosana Aparecida Ferreira Nunes

Departamento de Computação e Construção
Civil
Timóteo – Minas Gerais
<http://lattes.cnpq.br/5150393661538081>

RESUMO: Episódios de contaminação ambiental devido ao derramamento de petróleo nos oceanos são recorrentes, causando graves danos ao ecossistema e à economia. Em função disso, faz-se necessário a busca de novas soluções para minimização de tais impactos. Uma dessas técnicas que se encontra em ascensão atualmente é a nanotecnologia. Esta ciência se baseia na manipulação de sistemas funcionais a uma escala atômica e molecular, composta por estruturas que nunca ultrapassam os cem nanômetros. Neste contexto, este trabalho teve por objetivo apresentar parte do desenvolvimento de uma nova proposta para retirar petróleo derramado em ecossistemas aquáticos. Foram realizados testes em

laboratório para a formação de nanopartículas. O procedimento utilizou reagentes caseiros para obter Ferro II e Ferro III. Obteve-se como produto o tetróxido de triferro. Este, possibilitou a magnetização do petróleo. Os resultados até o momento mostraram a viabilidade econômica da técnica proposta, inclusive através da comparação com outros métodos tradicionais. Pretende-se ainda realizar o cálculo da proporção de nanopartículas por metro cúbico de petróleo derramado, a partir da disposição de amostras de deste em água. Desta forma, espera-se sanar o problema supracitado e contribuir com a sustentabilidade do planeta, visando atingir ao menos um dos dezessete objetivos para transformar nosso mundo, de acordo com a iniciativa das Organizações das Nações Unidas (ONU).

PALAVRAS-CHAVE: Petróleo; Nanopartículas; Magnetização; Meio Ambiente; Proporção Estequiométrica.

USE OF MAGNETIC NANOPARTICLES IN THE WITHDRAWAL OF SPILLED PETROLEUM

ABSTRACT: Episodes of environmental contamination due to oil spills in oceans are recurrent, serious damage to the ecosystem and the economy. As a result, it is necessary to search for new solutions to minimize such impacts. One of these techniques that is currently on the rise is nanotechnology. This science is based on the manipulation of functional systems on an atomic and molecular scale, composed of structures that never exceed one hundred nanometers. In this context, this work aimed to present part of the development of a new proposal to remove oil spilled in aquatic ecosystems. Laboratory tests

were carried out to form nanoparticles. The procedure used homemade reagents to obtain Ferro II and Ferro III. Triferro tetroxide was obtained as a product. This enabled the magnetization of oil. The results so far have shown the economic viability of the proposed technique, including through comparison with other traditional methods. It is also intended to calculate the proportion of nanoparticles per cubic meter of spilled oil, based on the disposal of samples of this in water. In this way, it is hoped to solve the aforementioned problem and contribute to the sustainability of the planet, aiming to achieve at least one of the seventeen objectives to transform our world, according to the initiative of the United Nations (UN) organizations.

KEYWORDS: Petroleum; Nanoparticles; Magnetization; Environment, Stechiometric Proportion.

1 | INTRODUÇÃO

Em 1959 o físico Richard Phillips Feynman plantou a semente do que conhecemos como “nanotecnologia”. Na palestra intitulada “There’s Plenty of Room at the Bottom” (Há muito espaço no fundo), foram aludidas frases como “dispor os átomos um por um da forma que desejamos” e “manipular e controlar coisas em escala atômica”. Anos depois, a junção do prefixo “nano” (do grego “anão”) e do sufixo “tecnologia” foi descrita pioneiramente pelo pesquisador japonês Norio Taniguchi, em 1974.

A partir disso, a ciência citada acima tornou-se aplicável, saindo do contexto das ideias. Foi durante a década de 80 que Gerd Binnig e Heinrich Rohrer desenvolveram o “microscópio de varredura”. De acordo com Melo e Pimenta (2004) este aparelho permitia a visualização e a manipulação de átomos. Ainda na mesma década, em 1986, Eric Drexler difundiu o conceito de nanotecnologia a partir da obra “Engines of Creation” (Motores da Criação). Desde então, o advento da expansão da área tornou-se contínuo, tornando-a mais acessível e diversificada.

De acordo com Porter, Youtie e Shapira (2008) (apud Iniciativa Nacional de Nanotecnologia dos EUA (NNI), tradução nossa) a nanotecnologia está “abrangendo a ciência, a engenharia e a tecnologia, relacionadas ao entendimento e controle da matéria na escala de aproximadamente 1 a 100 nanômetros”. Eles ressaltam que a área não trabalha apenas com a nanoescala, mas também desenvolve materiais, sistemas e dispositivos por meio da pesquisa.

O termo nanopartículas foi criado a partir da nanotecnologia. Segundo Francisquini, Schoenmaker e Souza (2014), essas são resultado da miniaturização extrema em escalas moleculares e atômicas. Portanto, menores que um vírus, uma hemácia ou até mesmo, um fio de cabelo, como mostra a Figura 1.

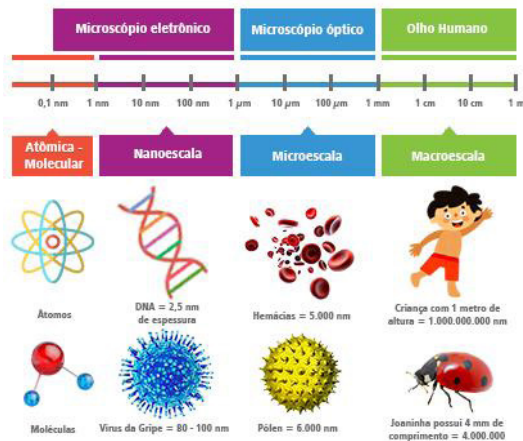


Figura 1. Nano: uma dimensão muito pequena

Fonte: Cartilha Educativa para Divulgação e Ensino da Nanotecnologia, adaptada pelas autoras. (2018, p. 13)

Segundo Silva (2014), um material pode assumir diferentes propriedades magnéticas, elétricas, mecânica ou química devido à variação de suas dimensões físicas. Assim sendo, pode assumir funções que um material em escala macro não atingiria:

Nos últimos anos, a nanotecnologia emergiu como um campo multidisciplinar, no qual o entendimento fundamental das propriedades elétricas, ópticas, magnéticas e mecânicas das nanoestruturas promete entregar a próxima geração de materiais funcionais com aplicações abrangentes. As nanoestruturas também podem fornecer soluções para os desafios tecnológicos e ambientais nas áreas de catálise, medicina, conversão de energia solar e tratamento de água. (Mohammad S. et al. 2019, tradução nossa).

A nanotecnologia tem sido empregada demasiadamente na área de reparação ambiental. De acordo com Silva (2014), através dela é possível contornar problemas da indústria de petróleo e gás que a tecnologia atual não poderia solucionar. Ainda, a “nanotecnologia do petróleo”, como é chamada, pode solucionar problemas “no setor de exploração e produção de reservatórios” com a “busca por materiais mais leves e resistentes”. Ademais, pode ser aplicada “na área de recuperação avançada de óleo e de perfuração” e “no setor de transporte e refino”, alterando “os processos de refino atuais, que usam muitos materiais tóxicos, gerando uma preocupação ambiental”.

Neste contexto, este trabalho tem por objetivo apresentar estudos referentes ao desenvolvimento de uma alternativa viável, sustentável e econômica para a remoção de petróleo derramado dos ecossistemas aquáticos. Ela está relacionada a formação de nanopartículas magnéticas de magnetita, e sua posterior aplicação em petróleo derramado em meio aquoso.

2 | O DERRAMAMENTO DE PETRÓLEO E SEUS IMPACTOS

Ao longo de sua passagem na terra, o homem utiliza os bens da natureza para sua sobrevivência e melhora das condições de vida. Entretanto, a infrene exploração de recursos minerais, sobretudo os não renováveis, acabam por desencadear impactos ambientais muitas vezes irreversíveis.

Considerado a maior fonte energética do mundo, o petróleo é composto basicamente por hidrocarbonetos e é “formado pelo processo de decomposição de matérias orgânicas, resto de vegetais, algas, alguns tipos de plânctons e restos de animais marinhos, ocorridos por centenas de milhares de anos da história geológica da Terra” (PIMENTEL, et al., 2010). É utilizado como matéria prima para a geração de energia nas usinas termoeletricas. Muito se enganam aqueles que acreditam que a magnitude desta fonte se reserva apenas a tal atuação. O petróleo é largamente utilizado na indústria dos plásticos, cosméticos, asfaltos e combustíveis. Todavia, em sua exploração, tornam-se recorrentes os casos de acidentes ou ações deliberadas.

Em meados de 1991, em plena Guerra do Golfo, eclodiu no mundo o que viria a ser o maior derramamento de petróleo já visto. Este, não foi propriamente acidental, mas intencional, com 1 milhão e 360 mil toneladas de óleo que trouxeram enormes danos à vida selvagem no Golfo Pérsico.

No ano passado, de acordo com Fearnside (2019), o litoral brasileiro foi demasiadamente afetado por um derramamento de óleo cuja proporção ainda é imensurável. Episódios como estes não podem ser reputados ao acaso, eles expressam modelos de desenvolvimento insustentável e despreparo institucional, protagonizando por vezes, os noticiários mundiais. O gráfico a seguir ilustra alguns dos maiores casos de derramamentos de petróleo ocorridos no mundo.

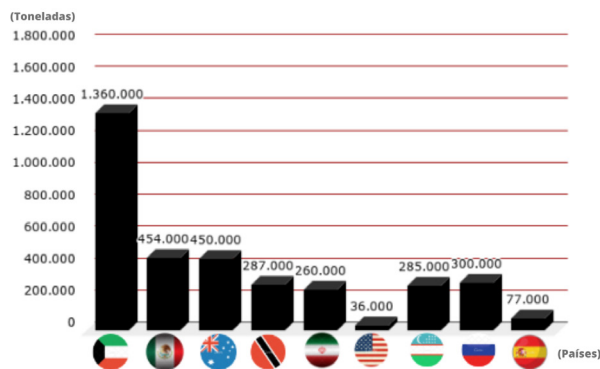


Gráfico 1: maiores derramamentos de petróleo ocorridos no mundo (volume e países afetados)

Fonte: elaborada pelas autoras a partir de “Fundação SOS Mata Atlântica” (2013)

Estes derramamentos podem ocorrer por diversos fatores, “e acontecem, geralmente, devido a falhas humanas ou falhas de equipamentos, a fissuras

existentes no assoalho, causadas pela pressão exercida no fundo do oceano, que faz escapar o óleo, e até mesmo à explosão de poços ou ruptura de oleodutos” (ALVES; ALVES; MARTINS, 2012, p.82 apud ALONSO, 2012).

Inimagináveis são os prejuízos que eles causam na fauna e flora marítima, costeira e dos manguezais. De acordo com a Fragmaq (2015), os peixes, ao terem contato com as substâncias tóxicas derivadas do petróleo, morrem por asfixia, já que o óleo impregna as brânquias, impedindo a realização das trocas gasosas. As aves e os demais mamíferos marinhos, além da intoxicação, ficam com as penas cobertas por óleo, não conseguindo voar e nem manter a temperatura corporal.

A poluição de águas é certa quando há derramamento, seja nos oceanos, mares ou manguezais. Vindo de plataformas ou oleodutos danificados, o petróleo forma uma mancha escura sobre a água extremamente tóxica para os organismos ali presentes, se tornando parte indesejada do ecossistema onde se instala. (SANTOS, 2013, p. 38).

Outro fator de suma importância é aquele que afeta direto o turismo, a pesca de subsistência e o comércio local, causando graves prejuízos à economia. A análise socioeconômica de Sousa, Miranda e Medeiros (2013), realizada com pescadores da baía de Guanabara “mostra que as condições de vida são difíceis para esses trabalhadores que atuam na informalidade e que convivem com a instabilidade da pesca e da precariedade das relações de trabalho” e que após o “acidente na Baía de Guanabara em 2000, provocado pelo derramamento de óleo, muitos pescadores relataram que a situação dos que sobrevivem da pesca piorou muito, uma vez que a produtividade pesqueira da Baía de Guanabara caiu mais de 90% após o acidente”.

Este fator se agrava drasticamente quando a população em questão tenta recuperar o ecossistema com seus próprios meios. O petróleo é uma substância altamente tóxica, que pode ser cancerígena. O manuseio inadequado, sobretudo sem o uso de Equipamentos de Proteção Individual (EPI's), pode acarretar consequências adversas.

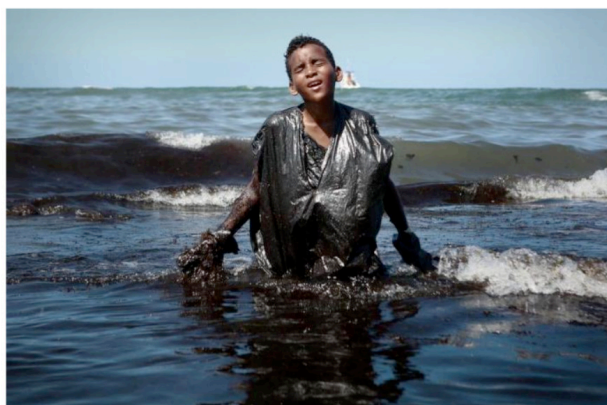


Figura 2. Derramamento de petróleo no litoral nordestino

Fonte: Salve Maracaípe (2019)

Tomando como base a problemática supracitada, tornam-se necessárias a adoção de medidas de recuperação do ecossistema. Assim sendo, acredita-se que a nanotecnologia a partir da aplicação de nanopartículas sejam uma das soluções. Pensando nisto, a metodologia deste trabalho trata do desenvolvimento de nanopartículas magnéticas de magnetita, com posterior aplicação sobre o petróleo.

3 I METODOLOGIA

Os procedimentos metodológicos aqui empregados foram inspirados na formação de nanopartículas de magnetita laboratoriais, apresentado por Condomitti (2014).

3.1 Materiais

Para a execução dos procedimentos metodológicos foram utilizados: vinagre de acidez volátil 4%; lã de aço; água oxigenada 10 volumes; amoníaco; imã de neodímio; amostra de petróleo cru; proveta; borrifador; béquer. Seguindo a seguinte proporção estequiométrica:

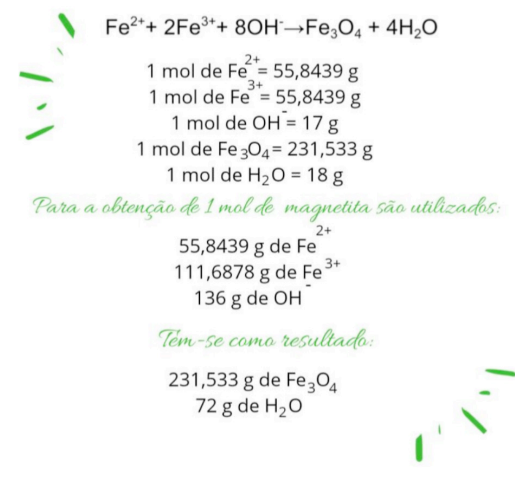


Figura 3. Cálculos estequiométricos

Fonte: elaborado pelas autoras (2019)

3.2 Métodos

A metodologia empregada neste trabalho foi executada em duas partes principais que se seguem:

3.2.1 SÍNTESE DAS NANOPARTÍCULAS DE MAGNETITA

A síntese das nanopartículas de magnetita deste trabalho se deu por meio da proporção estequiométrica de ferroso (Fe^{2+}) e férrico (Fe^{3+}), com posterior adição de hidroxila (OH^-).

A formação do ferroso ou Ferro II foi gerada por meio da união do vinagre e da lâ de aço. O composto foi deixado em ócio por aproximadamente 44 horas, conforme apresentado no Gráfico 2. Nesse tempo de repouso, houve a formação de e logo após ele foi separado de forma igualitária em dois recipientes distintos.

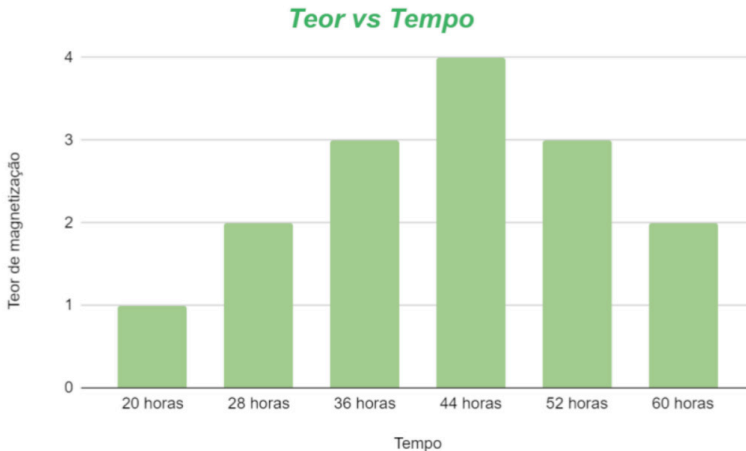


Gráfico 2. Análise do tempo de ócio das nanopartículas

Fonte: autoria própria

Em seguida, adicionou-se peróxido de hidrogênio em uma das porções de ferroso reservadas, obtendo-se a formação de férrico ou Ferro III. Juntou-se a solução formada a parte resultante de Ferro II e dessa forma, obteve-se férrico e ferroso combinados em uma só solução.

Por fim, adicionou-se hidroxila a solução supracitada. Como produto, formou-se o tetróxido de triferro (Fe_3O_4) diluído em água (H_2O). As nanopartículas são então, separadas por meio do processo de decantação. A partir das técnicas empregadas, temos a seguinte reação:





Figura 4. Processos metodológicos

Fonte: organizado pelas autoras (2019)

3.2.2 MAGNETIZAÇÃO DO PETRÓLEO

Após a formação das nanopartículas de magnetita deu-se início ao processo de magnetização do petróleo. As nanopartículas formadas foram dispostas em um borrifador e posteriormente, lançadas sobre a amostra de petróleo. Um ímã de neodímio foi utilizado para atrair o composto (petróleo + nanopartículas), e assim, realizar o processo de magnetização.

4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Realizados os processos metodológicos, os resultados obtidos foram analisados.

4.1 Magnetização do Petróleo e Tipo de Interação Formada

Torna-se possível a realização da magnetização do petróleo na presença das nanopartículas de magnetita produzidas. Isso ocorre, pois, o oxigênio presente na magnetita (Fe_3O_4) tende a ser atraído pelos hidrogênios que do petróleo ($\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$) formando uma ligação covalente. Quando submetido ao campo gravitacional de um ímã o composto nanopartículas + petróleo é magnetizável e se desloca como desejado.

4.2 Melhora das Características Paramagnéticas

Durante a realização dos processos metodológicos viu-se a necessidade de adaptação. Conclui-se que queimar a lâ de aço antes de adicioná-la ao vinagre torna as nanopartículas mais paramagnética, ou seja, aumenta a suscetibilidade magnética, visto que o produto da queima é o óxido de ferro.

4.3 Estudo do Tempo de Ócio

Para que houvesse a síntese das nanopartículas com o melhor índice de magnetização realizou-se testes com diferentes tempos de ócio, alterando o primeiro passo da metodologia. Foi produzido o gráfico 2 com a análise dos resultados magnéticos obtidos de cada amostra em relação ao tempo, em horas, de repouso. Considerou-se que:

- 0 - Nenhuma magnetização.
- 1 - Pouquíssima magnetização: nanopartículas ainda sem muito movimento.
- 2 - Pouca magnetização: as nanopartículas se movem com menor velocidade.
- 3 - Magnetização intermediária: tem magnetização satisfatória, porém não é a máxima.
- 4 - Muita magnetização: as nanopartículas se movimentam com maior velocidade, é o ideal para os bons resultados.

Conclui-se que no período de 36 a 52 horas de ócio tem-se o melhor teor de magnetização. Isso se dá porque 44 horas é o pico da reação, todo reagente se torna produto nesse momento e o composto a partir disso começa a perder suas características magnéticas.

4.4 Estudo da Viabilidade

4.4.1 De Custo

Foi realizado estudo para conhecimento dos custos acarretados à produção das nanopartículas. Desta forma, tomou-se como base a equação química (01) e de cálculos estequiométricos (figura 3).

Buscou-se pelos preços em atacado e varejo dos seguintes itens: vinagre, lâ de aço, água oxigenada e amônia. Sucedendo-se tal pesquisa, foram realizados os cálculos unitários e volumétricos padronizando-se em 100mL. O cálculo seguinte se deu utilizando os valores das densidades dos compostos (d) e os valores de massa (m) obtidos no cálculo estequiométrico, obtendo os resultados em unidades de volume (v). Logo, tomou-se como base a seguinte equação:

$$v = \frac{m}{d}$$

A apuração final tomou como base os custos em prol dos volumes calculados, permitindo assim, a somatória final. Para a produção de 100mL de nanopartículas em meio aquoso, gasta-se em torno de R\$ 1,86, enquanto para a produção de uma mesma quantidade do composto puro, gasta um valor de R\$4,93, aproximadamente.

PRODUTO	PREÇO ATACADO/ VAREJO	QUANTIDADE	TOTAL	PREÇO UNITÁRIO/ 100 mL
Vinagre	R\$ 27,48	12 vidros com 750 mL cada	9L	R\$ 0,30 (100 mL)
Lã de aço	R\$ 138,60	140 pacotes com 8 lâs de aço cada	1120 unidades	R\$ 0,12 (1 unidade)
Amônia	R\$ 9,40	1L	1L	R\$0 ,94 (100 mL)
Água oxigenada	R\$ 5,60	1L	1L	R\$ 0,56 (100 mL)

Tabela 1. Análise de preços

Fonte: organizado pelos autores (2020), a partir dos dados coletados em pesquisa

PRODUTO	PREÇO UNITÁRIO	DENSIDADE	VOLUME	TOTAL
Vinagre	R\$ 0,30 (100 mL)	1,0	55 mL	R\$ 0,16
Lã de aço	R\$ 0,12 (1 unidade)	-	-	R\$ 0,12
Amônia	R\$ 0,94 (100 mL)	0,88	154,5 mL	R\$ 1,45
Água oxigenada	R\$ 0,56 (100 mL)	1,45	77 mL	R\$ 0,43
Magnetita	-	5,2	44 mL	-
Água	-	1,0	72 mL	-

Tabela 2. Análise de custos totais

Fonte: organizado pelos autores (2020), a partir dos dados coletados em pesquisa

4.4.2 POR MEIO DA COMPARAÇÃO COM OUTRAS TÉCNICAS

Foi realizada revisão bibliográfica, usando principalmente os autores CRAIG (2012) e PIEDADE (2018) e a organização BIOGREEN, sobre as técnicas já existentes no mundo para a retirada de petróleo dos ambientes aquáticos. As principais, ou seja, mais usadas foram listadas na tabela 3 a seguir e classificadas quanto ao método utilizado, físico ou químico, e caracterizadas em pontos positivos e negativos.

Nome da técnica	Método		Pontos	
	Físico	Químico	Positivos	Negativos
Skimmers	x		Retira parte do petróleo em alto mar.	Depende das condições meteorológicas; necessita de profundidade mínima para funcionar.
Dispersantes químicos		x	Aceleram o processo de dispersão natural do óleo.	Não é eficaz em óleos envelhecidos; o óleo permanece intoxicando o meio por um tempo.
Queima in-situ		x	É uma forma rápida de retirar o petróleo do alto mar.	Pode afundar a mancha, dificultando ainda mais a retirada e prejudicando as espécies do fundo; necessita passar por uma série de critérios devido aos muitos riscos ao meio aquático e as pessoas.
Absorventes	x		As "almofadas" podem ser reaproveitadas.	Funcionam satisfatoriamente apenas em combustíveis e óleos lubrificantes.
Remoção manual	x		É um método mais trabalhoso e demorado, mas não causa nenhum dano adicional ao meio; bastante eficaz em praias e costões rochosos.	Requer grande quantidade de mão de obra especializada; muitas vezes é feito sem o uso correto dos EPIs pela população local acarretando problemas de saúde a população.
Biorremediação		x	É uma técnica natural, por isso, não causa mais danos ao meio.	Eficiência variável; depende das condições do oceano e meteorológicas.
Técnica proposta	x	x	Utiliza materiais baratos; associa os métodos químicos e físicos; as nanopartículas proporcionam a maior área de contato da magnetita com o petróleo, sendo assim, maior eficácia.	Ainda não se tem conhecimento se existem e quais são os impactos dessa técnica.

Tabela 3. Análise comparativa de técnicas.

Fonte: organizado pelas autoras (2020), a partir dos dados coletados em pesquisas

5 | CONCLUSÕES

Os resultados obtidos mostram as vantagens da técnica proposta neste trabalho em relação àquelas usadas tradicionalmente, apesar do estudo ainda não ter sido concluído. A combinação dos dois métodos, a nanotecnologia e o uso do magnetismo, pode contribuir para uma série de características positivas em relação ao processo de retirada de petróleo dos ambientes aquáticos.

A metodologia do presente estudo utiliza materiais baratos, facilmente produzidos em grande escala e até agora não se tem evidências de que essa técnica possa agredir o meio ambiente.

A análise comparativa com outras técnicas demonstrou que existem métodos eficientes para a retirada de petróleo dos ecossistemas aquáticos, no entanto, estes ainda apresentam falhas. Portanto, este trabalho pode ser tornar uma nova alternativa para resolver o problema. Acredita-se que a fusão da técnica proposta com os Skimmers, em especial os barcos recolhedores, ocasionará em uma limpeza mais efetiva dos mares, oceanos e mangues. Além do mais, pode ser mais rápida, diminuindo os impactos dos derramamentos.

AGRADECIMENTOS

A elaboração do presente artigo não seria possível sem o apoio de alguns intervenientes. Desta forma, agradecemos a todos os que apoiaram e contribuíram para a realização e concretização deste. Ao CNPq, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, porque o presente trabalho é desmembramento do projeto financiado pela chamada CNPq/MEC/MCTIC/SEPED Nº 27/2018. À toda a equipe do Cientista Beta, principais responsáveis pelo impulso e realização deste projeto. A todos do CEFET-MG que oportunizaram a janela a qual vislumbramos hoje um horizonte superior. Juntamente, a Deus, nossas famílias, nossa orientadora e mentora.

REFERÊNCIAS

ALVES, Andreza Karla; ALVES, Bruna; MARTINS, Luiana. **O Petróleo e os impactos de seu derramamento no ecossistema de uma região**. 2012. 86 p. Projeto Universidade PETROBRAS/IF Fluminense - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, [S.l.], 2013. Disponível em: <http://www.essentiaeditora.iff.edu.br/index.php/BolsistaDeValor/article/view/6719/4421>. Acesso em: 10 abr. 2020.

BIOGREEN (org.). **Vazamentos de petróleo: Saiba como conter acidentes com derramamento de óleos**. Disponível em: <http://www.biosolvit.com/biogreen/blog-interna/vazamentos-de-petroleo-saiba-como-conter-acidentes-com-derramamento-de-oleos/4313/pt>. Acesso em: 21 fev. 2020.

CONDOMITTI, Ulisses. **Faça nanopartículas de magnetita em casa**. Youtube. 07 mai. 2014. 4min35s. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=u6DLS2x7gal&t=2s>. Acesso em: 14 mai. 2018.

CRAIG, Alexandre Patrick de Leão et al. **Técnica de limpeza de vazamentos de petróleo em alto mar**. 2012. 12 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Petróleo, Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Tiradentes, Aracaju, 2012. Cap. 1. Disponível em: <https://periodicos.set.edu.br/index.php/cadernoexatas/article/download/207/127>. Acesso em: 20 fev. 2020.

- DREXLER, K. E., **Engines of Creation: The Coming Era of Nanotechnology**. Nova Iorque. Doubleday, 1986.
- FEARNSIDE, Philip Martin. **O derramamento de petróleo no Nordeste: Um alerta para o Pré-Sal e para Amazônia**. 2019. Disponível em: encurtador.com.br/cuPVZ. Acesso em: 27 abr. 2020.
- FEYNMAN . R., **There's Plenty of Room at the Bottom**. Vol. 1, No. i. pp. 60-66 - 1959.
- FRAGMAQ. **Conheça quais são os impactos ambientais causados pelo petróleo. 2015**. Disponível em: <https://www.agmaq.com.br/blog/conheca-sao-impactos-ambientais-causados-petroleo/>. Acesso em: 26 abr. 2020.
- FRANCISQUINI, E. ; SCHOENMAKER, J. ; SOUZA, J. A.. **Nanopartículas Magnéticas e suas Aplicações**. In: Wendel Andrade Alves. (Org.). QUÍMICA SUPRAMOLECULAR E NANOTECNOLOGIA. 1ed.São Paulo: Atheneu, 2014, v. 10, p. 269-288. Disponível em: <<http://professor.ufabc.edu.br/~joseantonio.souza/wp-content/uploads/2015/05/Cap%C3%ADulo-14-Nanopart%C3%ADculas-Magn%C3%A9ticas-e-suas-Aplicac%C3%A7%C3%B5es.pdf>> Acesso em 28 abr. 2020.
- IFUSP. **Nanopartículas de magnetita no tratamento do câncer**. 2017. Disponível em: <https://portal.if.usp.br/imprensa/pt-br/node/1798>. Acesso em: 30 mai. 2020.
- MELO, C. P.; PIMENTA, M. **Nanociências e nanotecnologia**. Parcerias estratégicas. Vol. 9. Nº 18. 2004. Disponível em http://seer.cgee.org.br/index.php/parcerias_estrategicas/article/viewFile/130/124. Acesso em: 28 abr. 2020.
- PIEIDADE, N. R.; ALMEIDA, T.; ÉSPER, F. J. **Barreiras de contenção: contenção de derramamento de óleo em cenário offshore**. - Centro Universitário Estácio São Paulo, São Paulo, p. 1-8. Disponível em: <https://drive.google.com/file/d/1zudGxjWu-lhmE4-QxAqZyGBq4hpu4477/view?usp=drivesdk>. Acesso em: 24 fev. 2020.
- PIMENTEL, Jaqueline et al. **Formação Do Petróleo: Processo De Decomposição De Matérias Orgânicas**. n. 2. 2010. Disponível em: <http://www.revista.universo.edu.br/index.php?journal=1reta2&page=article&op=viewArticle&path%5B%5D=444>. Acesso em: 20 abr. 2020.
- PORTER, A.L., YOUTIE, J., SHAPIRA, P. **Refining search terms for nanotechnology**. J Nanopart Res 10, 715–728 (2008). Available at: <https://doi.org/10.1007/s11051-007-9266-y>. Accessed 28 Apr. 2020
- SAJADI, Mohammad S., et al. "Chapter 1 - An Introduction to Nanotechnology." An **Introduction to Green Nanotechnology**, by Mahmoud Nasrollahzadeh, vol. 28, Academic Press, 2019, pp. 1–27. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128135860000018>. Acesso em: 29 abr. 2020.
- SANTOS, Naama Figueiredo dos. **Estudos dos impactos ambientais causados pela exploração, exploração e refino do petróleo**. 2013. 1-63 p. Monografia (Graduação em Ciência e tecnologia) - UFERSA, Angicos, 2013. Disponível em: <http://www2.ufersa.edu.br/portal/view/uploads/setores/232/TCC%20Naama%20Figueiredo%20FINALIZADO.pdf>. Acesso em: 24 abr. 2019.
- SILVA, Delmárcio Gomes Da. **Desenvolvimento, Síntese e Caracterização de Nanopartículas Magnéticas Hidrofílicas e Lipofílicas para Aplicação em Nanotecnologia do Petróleo**. Orientador: Prof. Dr. Henrique Eisi Toma. 2014. 249 p. Tese (Doutorado em ciências (química) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/46/46136/tde-02102014-085431/publico/TeseCorrigidaDelmarcioGomesSilva.pdf> Acesso em: 21 abr. 2020.
- SILVA, Mariela Alves. **Processamento e Caracterização de Magnetita Sintética**. 2017. 100 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Materiais, Cefet-mg, Belo Horizonte, 2017. Disponível em : <https://drive.google.com/file/d/1DWUYrpgFv2-oMXepSqtlekibE2IUwk1/view?ts=5e7cd826>

SOSMA, **Plano Nacional contra vazamentos de petróleo não garante segurança da costa**. Fundação SOS Pro-Mata Atlântica. São Paulo. 2013. Disponível em: <https://www.sosma.org.br/noticias/plano-nacional-contravazamentos-de-petroleo-nao-garante-seguranca-da-costa/>. Acesso em: 27 abr. 2020.

SOUSA, Luis G. R.; MIRANDA, Antonio C.; MEDEIROS, Herika B.. **Impacto ambiental e Socioeconômico Do Derramamento De Óleo Na Baía De Guanabara**. Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista, [S.l.], v. 9, n. 2, nov. 2013. ISSN 1980-0827. Disponível em: http://www.amigosdanatureza.org.br/publicacoes/index.php/forum_ambiental/article/view/633. Acesso em: 14 abr. 2020.

TOMA, Henrique Eisi; SILVA, Delmárcio Gomes Da. **Nanotecnologia para todos - Cartilha Educativa para Divulgação e Ensino da Nanotecnologia**. São Paulo. 1ª edição. 2018. Disponível em: <https://www.ensinano.com.br/baixar-cartilha/>. Acesso em: 21 abr. 2020.

CAPÍTULO 28

UTILIZAÇÃO E AVALIAÇÃO DA ESPINHEIRA SANTA (*Maytenus ilicifolia Martiusex Reissek*) COMO INIBIDOR DE CORROSÃO ORGÂNICO PARA APLICAÇÃO EM FLUIDOS PARA COMPLETAÇÃO

Data de aceite: 01/07/2020

Jardel Hugo Gonçalves Paiva

Universidade Federal Rural do Semi-Árido –
UFERSA
Mossoró - RN

Jardel Dantas da Cunha

Universidade Federal Rural do Semi-Árido –
UFERSA
Mossoró - RN

Andréa Francisca Fernandes Barbosa

Universidade Federal Rural do Semi-Árido –
UFERSA
Mossoró - RN

Antonio Robson Gurgel

Universidade Federal Rural do Semi-Árido –
UFERSA
Mossoró – RN

Keila Regina Santana Fagundes

Universidade Federal Rural do Semi-Árido –
UFERSA
Mossoró – RN

Rodrigo Cesar Santiago

Universidade Federal Rural do Semi-Árido –
UFERSA
Mossoró – RN

RESUMO: O processo corrosivo é um mal que atinge diretamente todas os setores sócio econômicos de um país, dessa forma independente do espaço na qual essa deterioração aconteça, seja em ambiente rural, urbano, industrial, ou até mesmo marinho, a corrosão contribui significativamente para o

surgimento de uma série de fatores danosos para o bem estar da sociedade, como também na relação com recursos naturais. Em virtude da toxicidade de inumeros inibidores a espinheira-santa (*Maytenus ilicifolia Martius ex Reissek*) surge em diversas pesquisas por compostos orgânicos naturais atuando como inibidores, devido a algumas vantagens tais como: serem considerados de baixo custo, não tóxicos, e principalmente ser aceitável do ponto de vista ecológico. O objetivo do presente trabalho consiste em analisar a Espinheira Santa como potencial inibidor de corrosão da linha verde, e assim verificar seus parâmetros de eficiência, como também evidenciar o estudo de adsorção em fluidos de completação salinos. Os ensaios realizados foram para fluidos com concentração 50, 100 e 150 lb/gal a dosagem de inibidor nas concentrações de 0,6%, 0,8%, 1%, 2% e 3% de extrato da espinheira santa. Os fluidos de completação com concentração de 50 lb/gal, obteve-se melhores eficiências de inibição, chegando até 93 %, porém a medida que o meio tornava-se mais agressivo essa eficiência em passivar a célula diminui, sendo os valores máximo de 92 % para 100 lb/gal e 88% para 150 lb/gal.

PALAVRAS-CHAVE: Inibidor de Corrosão, Espinheira Santa, Fluido de Completação

ABSTRACT: The corrosive process is an evil that directly affects all the socio-economic sectors of a country, thus regardless of the space in which this deterioration occurs, whether in rural, urban, industrial, or even marine environments, corrosion contributes significantly to the emergence a series of harmful factors for the well-being of society, as well as in relation to natural resources. In view

of the toxicity of innumerable inhibitors, espinheira-santa (*Maytenus ilicifolia Martius ex Reissek*) appears in several researches for natural organic compounds acting as inhibitors, due to some advantages such as: being considered of low cost, non-toxic, and mainly being acceptable from an ecological point of view. The objective of the present work is to analyze Espinheira Santa as a potential corrosion inhibitor of the green line, and thus verify its efficiency parameters, as well as to evidence the study of adsorption in saline completion fluids. The tests performed were for fluids with concentration 50, 100 and 150 lb/gal the dosage of inhibitor in concentrations of 0.6%, 0.8%, 1%, 2% and 3% of extract of espinheira santa. Completion fluids with a concentration of 50 lb/gal, obtained better inhibition efficiencies, reaching up to 93%, however as the medium became more aggressive this efficiency in passivating the cell decreases, with the maximum values being 92 % for 100 lb/gal and 88% for 150 lb/gal. **KEYWORDS:** Corrosion Inhibitor, Espinheira Santa, Completion Fluid.

1 | INTRODUÇÃO

O processo corrosivo é um mal que atinge diretamente todo o setor sócio econômicos de um país, dessa forma independente do espaço na qual essa deterioração aconteça, seja em ambiente rural, urbano, industrial, ou até mesmo marinho, a corrosão contribui significativamente para o surgimento de uma série de fatores danosos para o bem estar da sociedade, como também na relação com recursos naturais. No setor econômico, este processo acarreta em prejuízos elevados em decorrência da perda de investimentos. Nesse contexto, destaca que 30% do material metálico produzido são direcionados a reposição ou reparos provenientes da corrosão. Esse fenômeno também é responsável por ocasionar contaminações, induzir a exploração de material não renovável, e contribuir para uma serie de perdas sociais devido aos acidentes proporcionados por essa degradação [1].

O fluido de completação é, por definição, uma solução isenta de sólidos, podendo ser salina, emulsões invertidas e petróleo com baixo teor de sólidos. Ele deve ser capaz de carrear os sólidos do poço até a superfície, controlar as pressões de superfície com a variação de densidade, ser estável na temperatura do poço, como também não trapear gás facilmente [2]. Nesse sentido os fluidos de completação mais usados na industria do petróleo são os caracterizados como soluções salinas, especialmente o NaCl. Entretanto existe um grande problema de utilizar-se esse tipo de solução, pois as mesmas podem provocar corrosão na coluna, revestimento e outros equipamentos, devido ao alto teor de sal presente que influencia no processo. Esta corrosão pode ser reduzida com o uso de um inibidor adequado, ainda possuem baixa viscosidade, o que dificulta o controle do filtrado.

Os inibidores de corrosão são substâncias que, quando adicionadas em pequenas quantidades, diminuem grandemente o processo corrosivo. Uma primeira classificação dos inibidores pode ser feita quanto a sua composição (orgânico e inorgânico) ou de acordo com a reação que cada um controla no meio de estudo. Sendo assim, podem ser classificados como anódicos, catódicos ou mistos, o qual se vale dos efeitos sinérgicos. Outra classificação seria quanto a natureza química do inibidor como orgânico ou, mais comumente chamado, filmico [3]. Os compostos mais utilizados comercialmente são a base de nitratos, cromatos, e derivados de

tiouréia, eles apresenta boa atividade anticorrosiva, porem destaca-se o grande problema da sua toxicidade, tanto aos seres vivos, quanto ao meio ambiente, dessa forma devido a esses percalços ambientais os inibidores usados com maiores frequência na indústria têm sido questionado e recebido forte atenção.

Devido às exigências ambientais impostas atualmente, para que inibidores de corrosão sejam considerados ambientalmente adequados, existe o crescente interesse pelos antioxidantes naturais de extratos de plantas [4], pois apresentam baixa toxicidade em relação aos antioxidantes sintéticos. Os inibidores naturais são obtidos a partir de extratos de plantas ou de material biodegradável e acarretam a redução da intensidade de dissolução dos metais, diminuindo a sua taxa de corrosão. Os taninos (substâncias encontradas nas plantas) e seus derivados têm sido usados há algum tempo para proteger o aço [5]. Os extratos de plantas são baratos e podem ser obtidos por um simples processo de extração [6], como exemplo, é citado a extração por infusão.

As plantas da espécie espinheira-santa (*Maytenus ilicifolia Martiusex Reissek*) ocorrem naturalmente e se desenvolvem em ambiente sombreado, em solos ricos em matéria orgânica, dispersa nas matas e com umidade de média a alta [7]. O estudo fitoquímico da espinheira-santa determinou nas folhas a presença de flavonoides e taninos, e a maior parte dos flavonoides dessa planta se encontra na forma de heterosídeo [8]. De acordo com Cirioet al. (2003), as folhas de espinheira-santa (*M. ilicifolia*) possuem grande interesse farmacêutico. Isso ocorre em razão dessa planta apresentar comprovados efeitos sobre acidez e ulcerações do estômago [7]. Essas duas atividades medicinais são comprovadas por pesquisas coordenadas pela Central de Medicamentos (CEME) do Ministério da Saúde do Brasil [9].

Dessa maneira, o presente trabalho tem como objetivo avaliar a utilização da Espinheira Santa como um potencial inibidor de corrosão verde, e assim verificar seus parâmetros de eficiência e otimização no processo de extração. Para isso foram usados ensaios de polarização e técnicas de perda de massa com o tempo. A relevância científica e social do trabalho está na busca por novas observações e evidencias que mostrem o incremento e uso de novos inibidores orgânicos, e relacionar a sua maior taxa de eficiência de acordo com a sua devida concentração.

2 | METODOLOGIA

2.1 Preparação dos inibidores orgânicos

Inicialmente as folhas de espinheira santa necessárias para o processo foram obtidas através do comércio local. Após a obtenção da planta, a mesma foi submetida ao procedimento prévio de separação, em que foram primeiramente separadas as folhas do caule e raízes, ficando para uso somente as folhas com seus devidos espinhos características. Seguido da separação, foi realizado um processo de trituração dessas folhas, em um triturador industrial, diminuindo o tamanho das mesmas até granulometria desejada, para enfim realizar o procedimento de extração.

Os extratos vegetais foram submetidos a uma extração soxhlet para obtenção

do suco extrator, e logo, obtido as concentrações desejadas para posterior análise e estudo. Para a extração foram utilizados o álcool etílico de grau PA com volume de 250 mL e quantidade de espinheira santa de 7 g. A temperatura foi controlada por volta de 80 a 90°C num tempo pré estabelecido de extração. A figura 01 reporta o processo de extração.



Figura 1. Extrator *soxhlet* montado realizando o processo com espinheira santa. (autoria própria)

2.2 Preparação dos fluidos de completção

Os fluidos de completção foram preparados empregando o sal cloreto de sódio (NaCl), nas concentrações de 50, 100 e 150 lb/Gal, seguindo os seguintes procedimentos: Primeiramente, foi utilizado o NaCl (cloreto de sódio) para as três concentrações (50 lb/gal, 100 lb/gal e 150 lb/gal). Em seguida, cada concentração, foi colocada separadamente no Hamilton beach com 230 ml de água, sendo misturado por cerca de 10 minutos e depois reservado.

2.3 Teste de corrosão

Os testes foram procedidos em célula de três eletrodos: o eletrodo de trabalho foi confeccionado a partir do aço 1018 com composição: C, 0.14 a 0.20; Mn, 0.6 a 0.9; P, 0.04; S, 0.05 e área de 1,2568 cm². O contraeletrodo empregado foi de platina e o eletrodo de referência de Prata/Cloreto de Prata (Ag/AgCl). As medidas foram feitas em cima de um potencial de circuito aberto em uma faixa de potencial de -300 mV a +500 Mv e com uma varredura de 0,001 V/s. Para ser verificado se os parâmetros estudados apresentam influência no potencial de corrosividade dos fluidos de completção, foi realizada uma análise dos parâmetros: tipo do sal e concentração do sal.

2.4 Modelo de Adsorção

A eficiência de inibição é diretamente proporcional à fração de moléculas adsorvidas na superfície coberta (θ), que foi calculada de acordo com os dados obtidos a partir dos valores e equações de cada isoterma. O ajuste dos dados obtidos foi realizado para diferentes isotermas de adsorção (Langmuir, Temkin, Flory-Huggins e de El-Awady et al [10]. De acordo com as Equações 1 a 5:

$$1 \quad (1)$$

$$\text{Langmuir:} \quad \frac{C}{q} = \frac{1}{K} + C \quad (2)$$

$$\text{Temkin:} \quad q = \left(\frac{-2,303}{2a}\right)\log K + \left(\frac{-2,303}{2a}\right)\log C \quad (3)$$

$$\text{Flory-Huggins} \quad \log(q/C) = \log K + x \log(1-q) \quad (4)$$

$$\text{El-Awady:} \quad \log(q/(1-q)) = \log K + y \log C \quad (5)$$

Em que C é a concentração do inibidor, K é a constante de adsorção, a é o parâmetro de interação lateral entre as moléculas adsorvidas, x é o número de moléculas de água adsorvidas substituídas pelas moléculas do inibidor e y é o número de moléculas de inibidor adsorvidas em um dado sítio ativo.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Extrato Espinheira Santa

A tabela 1 mostra os extratos obtidos, de acordo com o tempo aos quais foi realizado o seu processo de obtenção, nesse sentido a seguir tem-se de acordo com cada tempo, o quanto de massa da folha da espinheira santa foi possível extrair, observando assim três diferentes concentrações para cada tempo de extração. O cálculo para obter-se essas concentrações apresentadas abaixo dá-se pela relação da massa utilizada de espinheira santa em grama pelo volume final, em litros, de extrato obtido em cada diferente concentração.

Espinheira Santa (Processo de Extração)	Tempo extração	Massa utilizada	Concentração
Extrato 1	1 hora	0,8718 g	9,6866 g/l
Extrato 2	3 horas	0,9326 g	8,400 g/l
Extrato 3	5 horas	1,2350 g	12,350 g/l

Tabela 1. Dados de extração obtidos experimentalmente.(autoria própria)

De acordo com a tabela 01, percebe-se que foram obtidos 3 extratos diferentes, e eles estão correlacionados de acordo com cada tempo de extração, dessa forma observa-se que a medida que o tempo de extração aumenta, tem-se um aumento notório também na massa utilizada da folha da espinheira santa no processo de extração, em outras palavras, conforme esperado na teoria intensificando o processo de obtenção do extrato, e aumentando o tempo, tem-se um aumento considerado de massa presente no produto final. Esse parâmetro é importante quando analisa-se os ensaios de corrosão, uma vez que cada extrato apresentando quantidades diferentes da folha de espinheira santa, isso irá impactar na eficiência desses possíveis extratos como potenciais inibidores de corrosão, tendo uma possibilidade de eficiência maior nos extratos que passaram por maiores tempos para serem obtidos, uma vez que terão maior massa, e consequentemente irão inibir melhor o processo corrosivo.

Outro aspecto importante de salientar é a diferença de coloração nítida em cada extrato, isso é explicado devido a concentração maior nos processos que se submeteram ao maior período de extração, logo apresenta maior quantidade de extrato presente, o que visualmente é observado por uma coloração verde mais intensa nos extratos com maiores tempos processo, (Figura 2).

Ainda nesse contexto é importante ressaltar que o extrato utilizado para as próximas etapas do trabalho foi o formulado no tempo de 5 horas, em que no mesmo obteve-se maior concentração, e logicamente maior presença de espinheira santa, notada pela maior incidência de massa da planta. Dessa maneira o extrato 3 foi usado como base para todos os ensaios seguintes de corrosão, a fim de verificar a total aplicabilidade e comprovar da melhor maneira possível, no parâmetro mais fortemente adequado, o uso da espinheira santa como inibidor de corrosão verde.



Figura 2. Extrato de espinheira santa, 1 e 3 horas. (autoria própria)

3.2 Ensaio de Corrosão

Inúmeros critérios são adotados na avaliação de um inibidor de corrosão entre eles a eficiência de proteção é um dos pontos principais para a sua avaliação. A Tabela 1 apresenta os resultados obtidos a partir das curvas de polarização linear empregando a equação de Tafel para os fluidos de completação com concentração de 50 lb/gal.

Fluído	Ecorr (V)	Corrosão (mm/ano)	Eficiência(%)
Branco_50 lb/gl	-634,65	0,203	-----
Inibido_50lb/gl_0,6%	-712,81	0,096	52,70
Inibido_50lb/gl_0,8%	-632,52	0,075	63,05
Inibido_50lb/gl_1%	-655,44	0,039	80,78
Inibido_50lb/gl_2%	-622,13	0,022	89,16
Inibido_50lb/gl_3%	-638,08	0,016	92,11

Tabela 2. Dados de inibição obtidos experimentalmente para os fluidos de Completação com concentração de 50 lb/gl.(autoria própria)

De acordo com a tabela 2 percebe que é evidente que o uso do extrato diminui a taxa de corrosão obtendo-se eficiências acima de 90% para fluidos confeccionados com concentração de 50lb/gl. As concentrações, abaixo de 0,6%, estudadas não foram eficientes no processo de passivação da superfície, onde o uso do mesmo pode implicar na ocorrência do processo corrosivo localizado.

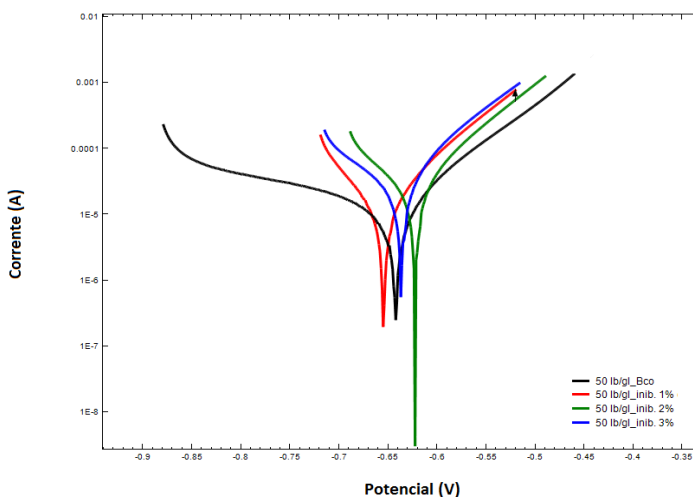


Figura 03 – curvas de polarização linear para os fluidos de Completação com concentração de 50 lb/gl

As curvas catódicas (Figura 03) apresentam mudanças pouco significativas, 21 mV, no potencial de corrosão para as concentrações dos inibidores estudadas. As curvas com ausência de inibidor de corrosão e a curva com adição de inibidor à 1%, 2% e 3% observa-se uma modificação no ramo catódicos com potencial redução na liberação de íons H⁺.

A Tabela 3 apresenta os resultados obtidos a partir das curvas de polarização linear empregando a equação de Tafel para os fluidos de completação com concentração de 100 lb/gl.

Fluído	Ecorr (V)	Corrosão (mm/ano)	Eficiência (%)
Branco_100 lb/gl	-622,68	0,141	-----
Inibido_100lb/gl_0,6%	-667,82	0,093	36,05
Inibido_100lb/gl_0,8%	-689,22	0,046	68,37
Inibido_100lb/gl_1%	-644,03	0,044	69,74
Inibido_100lb/gl_2%	-641,30	0,016	89,07
Inibido_100bb/gl_3%	-631,99	0,014	93,83

Tabela 3. Dados de inibição obtidos experimentalmente para os fluidos de Completação com concentração de 100 lb/gl. (autoria própria)

Os inibidores apresentaram comportamento semelhante, ao fluido confeccionado a 50 lb/gl, onde observa-se um aumento na eficiência com aumento na dosagem do inibidor, sendo constatada a eficiência máxima de 93,83%.

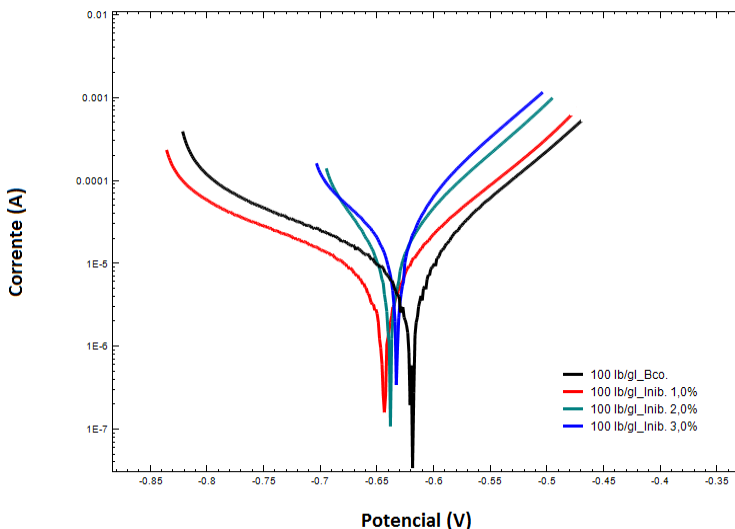


Figura 04 – curvas de polarização linear para os fluidos de Completação com concentração de 100 lb/gl

As curvas catódicas (Figura 04) apresentaram mudanças pouco significativas, 55mV, no potencial de corrosão para as concentrações dos inibidores estudadas.

A Tabela 4 apresenta os resultados obtidos a partir das curvas de polarização linear empregando a equação de Tafel para os fluidos de completação com concentração de 150 lb/gl. Os inibidores apresentaram comportamento semelhante, ao fluido confeccionado a 50 e 100lb/gl, onde observa-se um aumento na eficiência com aumento na dosagem do inibidor, sendo constatada a eficiência máxima de

88%. A agressividade do meio proporcionou uma redução na efetividade do inibidor de corrosão mesmo com concentração de 3%, sendo necessário um aumento na concentração do inibidor para obtenção de melhores resultados.

Fluido	Ecorr (V)	Corrosão (mm/ano)	Eficiência (%)
Branco_150 lb/gl	-653,05	0,100	-----
Inibido_150lb/gl_0,6%	-719,63	0,086	26,13
Inibido_150lb/gl_0,8%	-698,75	0,066	39,35
Inibido_150lb/gl_1%	-709,56	0,038	65,00
Inibido_150lb/gl_2%	-599,39	0,014	87,17
Inibido_150lb/gl_3%	-597,85	0,013	88,09

Tabela 4. Dados de inibição obtidos experimentalmente para os fluidos de Completação com concentração de 150 lb/gl. (autoria própria)

As curvas catódicas (Figura 05) apresentaram mudanças pouco significativas, no potencial de corrosão para as concentrações dos inibidores. Ocorrendo um deslocamento, das curvas, para potenciais mais anódicos.

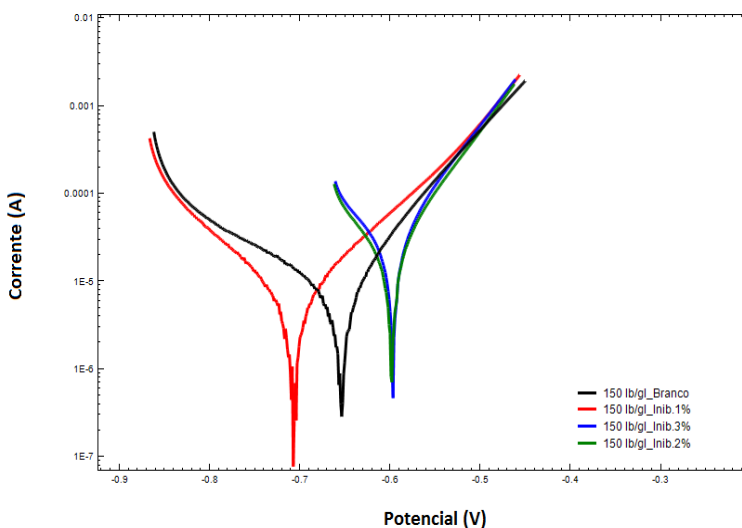


Figura 05 – curvas de polarização linear para os fluidos de Completação com concentração de 150 lb/gl

O gráfico 01 mostra um comparativo de todas as concentrações de inibidores utilizados e sua relação de acordo com a respectiva eficiência de inibição associada ao processo.

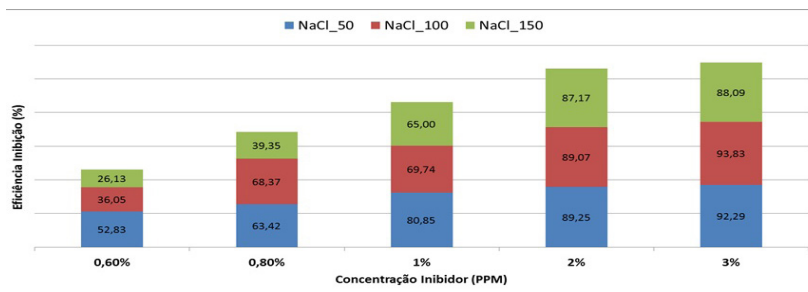


Gráfico 01 – comparativo de todos os ensaios realizados, relacionando concentração de inibidor utilizado versus eficiência de inibição.

De acordo com o gráfico 01 observou-se o aumento de eficiência de inibição com aumento de concentração de inibidor, o que mostra a real veracidade da aplicação da espinheira santa como um excelente inibidor de corrosão da linha verde, quando comparado a inibidores comerciais, chegando a valores equivalentes de eficiência de inibição.

Nesse contexto, pode-se concluir que a melhor dosagem do inibidor acontece com 2%, uma vez que apesar de 3% ter um ganho em eficiência de inibição, esse aumento é mínimo quando comparado ao incremento de quantidade/concentração de espinheira santa que deve-se ser incorporada ao processo, ou seja tem-se um aumento de 1% na dosagem de inibidor de espinheira santa para ter um ganho de “apenas” 2, 3% de eficiência de inibição. Assim percebe-se que pela relação de quantidade/ganho de eficiência, a concentração mais vantajosa ocorre com 2% de inibidor.

3.3 Estudo de Adsorção do inibidor

Ainda no contexto de corrosão outro aspecto bastante importante de ser estudado são as isotermas de adsorção. A força da adsorção vai depender da densidade eletrônica sobre o átomo doador no grupo funcional e também da polarizabilidade do grupo [11]. Dessa forma após o estudo de alguns modelos de adsorção que se adequassem ao inibidor obtido a partir do extrato de espinheira santa, a isoterma mais adequada e coerente foi a curva de Flory-Huggins, em que o gráfico da mesma está mostrado a seguir:

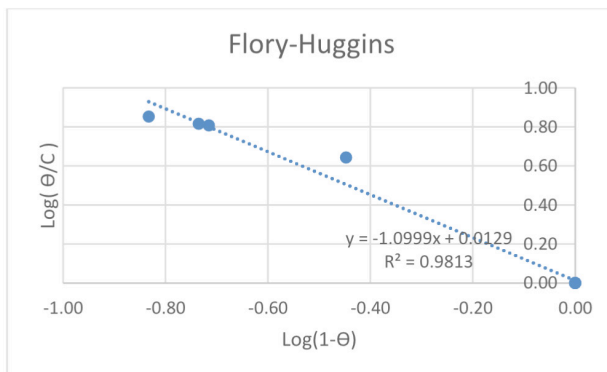


Gráfico 02 – curva de adsorção adequada para o processo corrosivo estudado com espinheira santa: curva de Flory –Huggins(Autoria Propria)

A isoterma de Flory-Huggins considera que um sítio ativo possa ser ocupado por mais de uma molécula do inibidor ou que uma única molécula inibidora possa se adsorver em mais de um sítio ativo (parâmetros x e y , respectivamente) [12,13]. Valores de x maiores do que uma unidade indicam que mais do que uma molécula de água foi substituída por uma de inibidor enquanto que valores de y menores do que uma unidade mostram que uma única molécula envolvida no processo de adsorção foi adsorvida em mais de um sítio ativo. Estes resultados sugerem que as moléculas adsorvidas presentes no extrato sejam volumosas e ocupem mais de um sítio ativo.

A tabela 05 mostra o fator de correção obtido em todos os modelos de adsorção estudados, e assim pode-se fazer um comparativo de qual melhor adequa-se ao inibidor estudado.

Isotermas de adsorção	R^2
Langmuir	0,334
Tekim	0,178
Flory-Huggins	0,981

Tabela 5. Relação dos modelos de adsorção vs R^2 de cada equação. (autoria própria)

De acordo com os parâmetros mostrados pela tabela 05, fica evidente que o modelo melhor ajustado ao inibidor é a isoterma de Flory-Huggins, em que a mesma apresentou um fator de correção (R^2) mais próxima a 1. As demais isotermas estudadas não adequaram-se ao inibidor em questão, sendo que em ambos os casos, tanto para a isoterma de Langmuir, quanto para Tekim, constatou-se valores muito baixos de R^2 , comprovando o não ajuste ao estudo de adsorção do inibidor obtido a partir do extrato de espinheira santa. Esse resultado comprovado pelo fator de correção das isotermas, adequa-se perfeitamente ao conceito da isoterma de

Flory-Huggins, que sugere um melhor ajuste para substâncias de grandes estruturas moleculares, e conforme observado, a espinheira santa apresenta uma grande molécula, com presença de policiclos e taninos em sua estrutura.

4 | CONCLUSÕES

O extrato da espinheira-santa (*MaytenusilicifoliaMartiusexReissek*) quando aplicado como inibidor de corrosão, para fluidos de completação com NaCl, apresentaram reduções significativas nas taxas corrosivas.

As demais concentrações estudadas, até 1%, promoveram eficiências máximas de 80, 69 e 65% para os fluidos confeccionados nas concentrações de 50, 100 e 150 lb/gl.

Para os fluidos estudados na concentração de 50, 100 e 150 lb/gl ocorreu à eficiência máxima em concentrações dos inibidores acima de 2%.

Foi constatado por fim que a melhor dosagem de inibidor seria de 2%, baseando-se em critérios de proporção eficiência e quantidade de extrato utilizado.

Quando comparado as melhores eficiências obtidas com o uso da espinheira santa como inibidor de corrosão de linha verde, foram verificados valores equivalentes a inibidores comerciais. Dessa forma devido a não toxicidade dos mesmos e por serem melhores aceitos tanto do ponto de vista ambiental, como também serem de baixo custo, o extrato espinheira santa torna-se uma boa alternativa de uso para inibição de processos corrosivos.

A curva que mais ficou adequada ao estudo da espinheira santa como inibidor de corrosão foi à isoterma de Flory-Huggins, na qual sugere que as moléculas adsorvidas presentes no extrato sejam volumosas, como é o caso da molécula da espinheira santa, e assim ocupem mais de um sítio ativo.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade Federal Rural do Semi-Árido pela infraestrutura disponível para serem feitas as análises.

REFERÊNCIAS

1. Análise do processo corrosivo – Equipamentos e tubulações. Disponível em: <<http://www.tratamentodeagua.com.br/artigo/analise-do-processo-corrosivo-sofrido-nos-equipamentos-e-tubulacoes-do-reservatorio-de-abastecimento-hidrico-da-cidade-de-pau-dos-ferrosrn/>>. Acesso em: 10 de junho de 2019.
2. CAENN, R.; DARLEY, H. C. H.; GRAY, G. R. - *Fluidos de Perfuração e Completação - Composição e Propriedades*; Tradução da 6ª edição; Editora Elsevier; Rio de Janeiro, 2014.
3. Jambo, H. (2009). *Corrosão*. 2nd ed. Rio de Janeiro (RJ): Ciência Moderna.
4. VALEK, L. M. "Copper corrosion inhibitor by *Azadirachaindicaleaves* extract in 0,5 M sulfuric acid",
5. *Materials Letters*, v. 61, v.1, pp. 148-151, Jan. 2007.

6. FAROOQ, I. H., SAINI, P.A., QUARAISHI, M.A. "Recent Trends in Cooling Water Inhibitors", *Corrosion 2000* – Paper N° 00332, Mar. 2000.
7. EL-ETRE, A. Y., 2008, "Inhibition of C-steel corrosion in acidic solution using the aqueous extract of zallouh root", *Materials Chemistry and Physics*, v.108, n. 2-3, pp. 278–282, Apr. 2008.
8. CIRIO, G. M.; DONI FILHO, L.; MIGUEL, M. D.; MIGUEL, O. G.; ZANIN, S. M. W. Inter-relação de parâmetros agrônômicos e físicos de controle de qualidade de *Maytenus ilicifolia*, Mart. Ex. Reiss (espinheira-santa) como insumo para a indústria farmacêutica. **Visão Acadêmica**, Curitiba, v. 4, n. 2, p.67-76, jul./dez.2003. Disponível em: <<http://ojs.c3sl.ufpr.br/ojs2/index.php/academica/article/view/525/438>>. Acesso em: 24 de fevereiro de 2019.
10. NEGRI, M. L. S. **Secagem das folhas de espinheira-santa – *Maytenus ilicifolia* Mart. ex Reiss. sob diferentes temperaturas e influência nos teores de polifenóis, na atividade antioxidante e nos aspectos microbiológicos.** 2007. 95 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Farmacêuticas) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007. Disponível em: <<http://dspace.c3sl.ufpr.br/dspace/bitstream/1884/12096/1/DISSERTA%C3%87%C3%83O%20DEFINITIVA.pdf>>. Acesso em: 10 junho 2019.
11. DI STASI, L. C. Aspectos químicos e farmacológicos da espinheira-santa: uma análise da utilidade dos dados. In: REIS, M. S.; SILVA, S. R. (Org.). **Conservação e uso sustentável de plantas medicinais e aromáticas: *Maytenus* spp., espinheira-santa.** Brasília: Ibama, 2004. p. 67-92.
12. EL-AWADY, A. A.; Abd-El-Nabey, B. A.; Aziz, S. G.; *J. Electrochem. Soc.* 1992, 139, 2149
13. PEREIRA, S. S. A. A.; Pegas, M. M.; Fernandez, T. L.; Magalhães, M.; Schontag, T. G.; Lago, D. C.; de Senna, L. F.; D'Élia, E.; *Corros. Sci.* 2012, 65, 360.
14. GUANNAN, M.; XIANGHONG, L.; QING, Q.; ZHOU, J. Molybdate and tungstate as corrosion inhibitors for cold rolling steel in hydrochloric acid solution. *Corrosion Science*, v.48, p.445-459, 2006.
15. KARTHIKAISELVI, R.; Subhashini, S.; *J. Assoc. Arab Univ. Basic Appl. Sci.* 2014, 16, 74.

SOBRE A ORGANIZADORA

FRANCIELE BRAGA MACHADO TULLIO - Engenheira Civil (Universidade Estadual de Ponta Grossa - UEPG/2006), Especialista em Engenharia de Segurança do Trabalho (Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR/2009, Mestre em Ensino de Ciências e Tecnologia (Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR/2016). Trabalha como Engenheira Civil na administração pública, atuando na fiscalização e orçamento de obras públicas. Atua também como Perita Judicial em perícias de engenharia. E-mail para contato: francielebmachado@gmail.com

ÍNDICE REMISSIVO

A

Alumínio 29, 31, 32, 34, 35, 215, 216, 225
Arco 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 26, 28
Arduino 103, 104, 107, 108, 109, 110, 111, 112

C

Coleta Seletiva 79, 80, 81, 83, 86, 87, 88
Conhecimento Organizacional 48, 50, 52

D

Desempenho Térmico 89

E

Educação Ambiental 79, 80, 83, 86, 87, 88
Eletrônica 103, 112, 192, 314, 339
EMG 103, 104, 106, 107, 108, 111, 112, 113
Energia 16, 17, 18, 126, 141, 142, 149, 151, 172, 260, 262, 265, 270, 271, 272, 274, 276
Energia Cinética 16, 17, 18

F

Fator 61, 67, 68
Fator de Recuperação 61, 63, 65, 67, 68

G

Gestão do Conhecimento 36, 48, 49, 50, 51, 59, 60
Gestão do Conhecimento em IFES 48

I

Injeção de Polímeros 61, 62, 67
ISO/IEC 29110 36, 37, 40, 41

M

Mão Mecânica 103, 107, 110
MPS.Br 36, 37, 38, 39, 42, 43, 44, 46, 47

N

Nióbio 29, 30, 31, 32, 34, 35

P

Planejamento Desenvolvimento Institucional 48
Planejamento Estratégico 48, 49, 51, 59, 60, 267
Potencial 16, 17, 18, 37, 104, 111, 112, 135, 136, 151, 170, 172, 173, 174, 181, 227, 262, 263, 269, 284, 330, 332, 333, 336, 337, 338

Propriedades Mecânicas 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 188, 193, 215, 216, 217, 224, 296, 300

Prótese 103, 104, 107, 108, 110, 111, 112, 113

R

Reciclagem 80, 84, 87, 88, 298, 315

Refino de Grão 29

Resíduos Sólidos 79, 80, 81, 88, 298, 313, 314

Resistência Térmica Equivalente 89

S

Simulação Numérica 61

Solidificação Unidirecional 29, 32, 33, 214, 218

Sustentabilidade 80, 181, 260, 298, 316

T

Telhados Verdes 89

Tiro 16, 17, 22, 24, 26, 27, 28


V

Variáveis Térmicas 29, 32, 33, 35, 214, 215, 217, 224, 225

ENGENHARIA NA PRÁTICA:

IMPORTÂNCIA TEÓRICA E TECNOLÓGICA

www.atenaeditora.com.br 

contato@atenaeditora.com.br 

[@atenaeditora](#) 

www.facebook.com/atenaeditora.com.br 

 **Atena**
Editora
Ano 2020

ENGENHARIA NA PRÁTICA:

IMPORTÂNCIA TEÓRICA E TECNOLÓGICA

www.atenaeditora.com.br 

contato@atenaeditora.com.br 

[@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora) 

www.facebook.com/atenaeditora.com.br 