



JOÃO DALLAMUTA
HENRIQUE AJUZ HOLZMANN
RENNAN OTAVIO KANASHIRO
(ORGANIZADORES)

AMPLIAÇÃO E APROFUNDAMENTO DE CONHECIMENTOS NAS ÁREAS DAS ENGENHARIAS 2

Atena
Editora
Ano 2020



JOÃO DALLAMUTA
HENRIQUE AJUZ HOLZMANN
RENNAN OTAVIO KANASHIRO
(ORGANIZADORES)

AMPLIAÇÃO E APROFUNDAMENTO DE CONHECIMENTOS NAS ÁREAS DAS ENGENHARIAS 2

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 Cremo

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 Internazionale 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
Profª Drª Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás
Profª Drª 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
Profª Drª Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília
Profª Drª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina
Profª Drª Eysler Gonçalves Maia Brasil – Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira
Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Profª Drª 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
Profª Drª 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
Profª Drª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Marcus Fernando da Silva Praxedes – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Profª Drª Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma
Profª Drª 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
Profª Drª Regiane Luz Carvalho – Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino
Profª Drª Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto
Prof. Dr. Alexandre Leite dos Santos Silva – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás
Profª Drª 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
Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª 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 Andreza 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 Krahel – 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. Lilian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará
Profª Ma. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ
Profª Drª Livia 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

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
Organizadores: João Dallamuta
 Henrique Ajuz Holzmann
 Rennan Otavio Kanashiro

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

A526 Ampliação e aprofundamento de conhecimentos nas áreas das engenharias 2 [recurso eletrônico] / Organizadores João Dallamuta, Henrique Ajuz Holzmann, Rennan Otavio Kanashiro. – Ponta Grossa, PR: Atena, 2020.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5706-388-0

DOI 10.22533/at.ed.880201609

1. Engenharia – Pesquisa – Brasil. 2. Inovações tecnológicas. I. Dallamuta, João. II. Holzmann, Henrique Ajuz. III. Kanashiro, Rennan Otavio.

CDD 620

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

Caro(a) leitor(a)

Como definir a engenharia? Por uma ótica puramente etimológica, ela é derivada do latim *ingenium*, cujo significado é “inteligência” e *ingeniare*, que significa “inventar, conceber”.

A inteligência de conceber define o engenheiro. Fácil perceber que aqueles cujo ofício está associado a inteligência de conceber, dependem umbilicalmente da tecnologia e a multidisciplinaridade.

Nela reunimos várias contribuições de trabalhos em áreas variadas da engenharia e tecnologia. Ligados sobretudo a indústria petroquímica com potencial de impacto nas engenharias. Aos autores dos diversos trabalhos que compõe esta obra, expressamos o nosso agradecimento pela submissão de suas pesquisas junto a Atena Editora. Aos leitores, desejamos que esta obra possa colaborar no constante aprendizado que a profissão nos impõe.

Boa leitura!

João Dallamuta
Henrique Ajuz Holzmann
Rennan Otavio Kanashiro

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

MUDANÇA NA CULTURA DE PREVENÇÃO A INCÊNDIO EM INSTITUIÇÕES PÚBLICAS

Myrna da Cunha

Alexandre Martinez dos Santos

João Terêncio Dias

Maryêva Paulino Vieira

Bernardo Manhães Cantuaria Moura

DOI 10.22533/at.ed.8802016091

CAPÍTULO 2..... 15

COMPARAÇÃO DOS MODELOS DE RECEPTORES GNSS DE CÓDIGO C/A PARA LEVANTAMENTOS GEODÉSICOS

Marco Ivan Rodrigues Sampaio

Fernando Luis Hillebrand

Alan Diniz Bernardi

Aldemir Eduardo Martins Ulrich

João Fernando Zamberlan

Cristiano Niederauer da Rosa

Janisson Batista de Jesus

DOI 10.22533/at.ed.8802016092

CAPÍTULO 3..... 24

ESTUDO DOS PARÂMETROS NA SOLDAGEM POR RESISTÊNCIA ELÉTRICA DE COMPÓSITO PEI/FIBRA DE VIDRO POR PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL

Ana Beatriz Ramos Moreira Abrahão

Edson Cocchieri Botelho

Michelle Leali Costa

Jonas Frank Reis

Luis Felipe Barbosa Marques

Tuane Stefania Reis dos Santos

Rafael Rezende Lucas

Marcos Paulo Souza Ribeiro

Isabela Luiza Rodrigues Cintra

Rodolfo de Oliveira Rodrigues

Joana Toledo Guimarães

Natali Oliveira Martins da Silva

Vinícius David Franco Barboza

DOI 10.22533/at.ed.8802016093

CAPÍTULO 4..... 38

REDESENHO/MELHORIA DE PROCESSOS: ANÁLISE E COMPARAÇÃO DE DUAS METODOLOGIAS

João Francisco da Fontoura Vieira

Danhuri Ritter Jelinek

DOI 10.22533/at.ed.8802016094

CAPÍTULO 5.....44

ESTUDO DO NÍVEL DE CONTAMINAÇÃO DO ÓLEO LUBRIFICANTE COM ÁGUA EM BOMBAS CENTRÍFUGAS

Miriam Ribeiro Cabreira

Durval João de Barba Júnior

DOI 10.22533/at.ed.8802016095

CAPÍTULO 6.....59

MODELAGEM E SIMULAÇÃO DA EXTRAÇÃO DE ÓLEO ESSENCIAL DE CITRONELA UTILIZANDO CO₂ SUPERCRÍTICO E MODELO DE SOVOVÁ

Wesley de Souza Rodrigues

Carlos Minoru Nascimento Yoshioka

Ana Beatriz Neves Brito

DOI 10.22533/at.ed.8802016096

CAPÍTULO 7.....70

COMPARTILHANDO CONHECIMENTOS: A BIOCLIMATOLOGIA E A PRODUÇÃO ANIMAL

Diego Gomes de Sousa

Tiago Gonçalves Pereira Araújo

Levi Wallace Sousa de Lima

José Walber Farias Gouveia

Marthynna Diniz Arruda

Brendo Júnior Pereira Farias

Agenor Correia de Lima Junior

Rômulo Augusto Ventura da Silva

Ely Félix de Sá Carneiro

João Victor Inácio dos Santos

Ana Cristina Chacon Lisboa

José Lucas Jácome de Moura

DOI 10.22533/at.ed.8802016097

CAPÍTULO 8.....80

TRANSFERÊNCIA DE CALOR ATRAVÉS DE PAINÉIS AGLOMERADOS DE BAGAÇO DE CANA, PINUS E EUCALIPTO

Roberto Luiz de Azevedo

Edson Rubens da Silva Leite

Rafael Sidney Orfão

Rafael Farinassi Mendes

Renato Alexandre Oliveira Cândido

DOI 10.22533/at.ed.8802016098

CAPÍTULO 9.....87

FLUIDOS DE PERFURAÇÃO A BASE DE RESÍDUO DE AÇAÍ E GOMA XANTANA

Alex da Silva Sirqueira

Mônica Cristina Celestino dos Santos

Aline Muniz Lima

Patricia Reis Pinto
Hugo Cavalcante Peixoto
DOI 10.22533/at.ed.8802016099

CAPÍTULO 10..... 94

LICOR PIROLENHOSO DE EUCALIPTO NA PRODUÇÃO DE RÚCULA

Diana de Oliveira Simionato
Josi Carla Martins Fernandes
Ana Luisa Granado Potinatti Alves
Marcelo Rodrigo Alves
Janardelly Gomes De Souza

DOI 10.22533/at.ed.88020160910

CAPÍTULO 11..... 105

CLIMATIZADORES EVAPORATIVOS INDIRETOS ECOLÓGICOS E POPULARES PARA REDUÇÃO DO ESTRESSE TÉRMICO EM ORDENHADEIRAS PARA HUMANOS E ANIMAIS

Alexandre Fernandes Santos
Marcelo Luiz Hoffmann
Heraldo José Lopes de Souza
Pedro Dinis Gaspar

DOI 10.22533/at.ed.88020160911

CAPÍTULO 12..... 118

UM ESTUDO DOS EFEITOS DA GEOMETRIA SOBRE OS PARÂMETROS TERMO-FÍSICOS EM PROCESSOS DE SECAGEM DE GENGIBRE

André Macedo Costa
Aluizio Freire da Silva Júnior
Thamires Mabel Queiroz de Oliveira
Geovane Tavares Nogueira
Vera Solange de Oliveira Farias
Jucimeri Ismael de Lima
Isaac Ferreira de Lima
Jair Stefanini Pereira de Ataíde
Helymarckson Batista de Azevedo
Marcos Sérgio Florêncio Júnior
Marcos Wagner da Silva Araújo
Raquel Alves de Medeiros

DOI 10.22533/at.ed.88020160912

CAPÍTULO 13..... 131

COMPORTAMENTO DA SECAGEM DE CENOURA (*Daucus carota* L.) EM CAMADA FINA: MODELOS EMPÍRICOS E ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS

Geovane Tavares Nogueira
Raquel Alves de Medeiros
Francisco Carlos de Medeiros Filho
Maria Tereza Lucena Pereira
Amélia Ruth Nascimento Lima

Vera Solange de Oliveira Farias
Jucimeri Ismael de Lima
Célia Maria Rufino Franco
Aluizio Freire da Silva Júnior
André Macedo Costa
Jair Stefanini Pereira de Ataíde
Ivo Dantas de Araújo

DOI 10.22533/at.ed.88020160913

CAPÍTULO 14..... 145

**ANÁLISE DO POTENCIAL SUSTENTÁVEL DA MADEIRA EMPREGADA NO SISTEMA
WOOD FRAME**

Vinício da Cunha Dóro
Luiz Carlos Souza Guimarães Júnior

DOI 10.22533/at.ed.88020160914

CAPÍTULO 15..... 155

**ENSAIO DE COAGULAÇÃO À pH NATURAL: SEMENTES DE MORINGA OLEÍFERA LAM
E CLORETO FÉRRICO**

Luís Gustavo Marcolan
Mirely Ferreira dos Santos
Bárbara Dani Marques Machado Caetano

DOI 10.22533/at.ed.88020160915

CAPÍTULO 16..... 160

**UTILIZAÇÃO DO BAGAÇO DE MALTE NA ALIMENTAÇÃO HUMANA: REVISÃO
SISTEMÁTICA DA LITERATURA**

Caroline Tombini
Janayne Sander Godoy
Aline Patrícia Ullmann
Gabriel Fante
Josiane Maria Muneron de Mello
Francieli Dalcanton

DOI 10.22533/at.ed.88020160916

CAPÍTULO 17..... 173

APRENDIZAGEM BASEADA EM PROJETO NO DESENVOLVIMENTO DE MATERIAIS

Carolina Lipparelli Morelli
Yanka dos Reis Soares de Moura
Bárbara Carolini Oliveira Ferreira
Francielle Crispim Araújo
Kevinny Chaves Florencio
Lucas Lima Batista
Lizandra Lopes Carrara
Tércio José Lage Ferreira
Kelvin Willie de Carvalho
Aislan Lúcio Valério

DOI 10.22533/at.ed.88020160917

SOBRE OS ORGANIZADORES 189

ÍNDICE REMISSIVO..... 190

CAPÍTULO 1

MUDANÇA NA CULTURA DE PREVENÇÃO A INCÊNDIO EM INSTITUIÇÕES PÚBLICAS

Data de aceite: 01/09/2020

Data de submissão: 07/07/2020

Myrna da Cunha

CEFET/RJ, Coordenação do Curso Técnico de
Segurança no Trabalho
Rio de Janeiro – RJ
lattes: <http://lattes.cnpq.br/1964462281556915>

Alexandre Martinez dos Santos

CEFET/RJ, Coordenação do Curso Técnico de
Segurança no Trabalho
Rio de Janeiro – RJ
lattes: <http://lattes.cnpq.br/5295591309131195>

João Terêncio Dias

CEFET/RJ, Coordenação do Curso Técnico de
Eletrônica
Rio de Janeiro – RJ
Lattes: <http://lattes.cnpq.br/5637322618521832>

Maryêva Paulino Vieira

CEFET/RJ, Coordenação do Curso Técnico de
Segurança no Trabalho
Rio de Janeiro – RJ
lattes: <http://lattes.cnpq.br/9423004062129266>

Bernardo Manhães Cantuaria Moura

CEFET/RJ, Coordenação do Curso Técnico de
Segurança no Trabalho
Rio de Janeiro – RJ
Lattes: <http://lattes.cnpq.br/7197268085761719>

RESUMO: Instituições e empresas que apresentam risco pequeno ou médio a incêndios, especialmente as públicas, por motivos diversos, não desenvolvem e nem aplicam os procedimentos básicos de prevenção e combate. Neste sentido, seus funcionários, visitantes, ou até mesmo seu patrimônio estão vulneráveis a estes riscos. O quadro se agrava com o aumento, com o passar dos anos, da carga elétrica instalada nos estabelecimentos. Além disto, a maioria apresenta estruturas e instalações antigas, e com a manutenção preventiva precária ou inexistente. Essas razões aliadas à falta de procedimentos podem dificultar o combate ao princípio de incêndio, permitindo que este se propague com grande facilidade. Uma cultura de segurança dentro da maioria dessas instituições, como escolas e similares, tem que ser conquistada gradativamente, com envolvimento de todos, inclusive e principalmente da instituição, mesmo assim demora a se concretizar. O nosso projeto, no intuito de colaborar e colocar em prática algumas medidas importantes visa desenvolver dispositivos facilitadores de proteção e combate a incêndio para o Campus Maracanã do Cefet/RJ. Um desses, os treinamentos, já está em funcionamento, e uma pesquisa mostrou que os alunos o aprovaram. Mas para melhorar esse dispositivo, é necessária uma frequência maior dos mesmos e/ou uma diversificação da forma de ensino/aprendizagem. Os treinamentos procuram de forma simples conscientizar os alunos, servidores e terceirizados sobre a importância da prevenção e do combate a incêndio.

PALAVRAS CHAVE: Conscientização, prevenção, segurança.

CHANGE IN FIRE PREVENTION CULTURE IN PUBLIC INSTITUTIONS

ABSTRACT: Institutions and companies that present a small or medium risk to fires, especially the public ones, for different reasons, do not develop or apply the basic prevention and combat procedures. In this sense, the employees, visitors, or even their assets are vulnerable to these risks. The situation worsens with the increasing over the years, of the electric charge installed in the establishments. In addition, most of them have old structures and installations, with poor or nonexistent preventive maintenance. These reasons combined with the lack of procedures can make it difficult to fight the fire outbreaks, allowing it to spread with great ease. A safety culture within most of these institutions, such as schools and the like, has to be achieved gradually, with the involvement of all, including and mainly the institution, even so it takes time to materialize. Our project, in order to collaborate and put into practice some important measures, aims to develop devices that facilitate protection and fire fighting for the Maracanã campus of Cefet/RJ. One of these devices is already in operation and a survey showed that students approved it. However, to improve this device, a greater frequency of the same and/or a diversification of the form of teaching/learning is necessary. The training seeks to make students, employees and contractors aware of the importance of preventing and fighting fires in a simple way.

KEYWORDS: Awareness, prevention, safety

1 | INTRODUÇÃO

O fogo é muito importante para a humanidade. No passado, quando este foi descoberto foi um símbolo de força, depois trouxe a possibilidade dos diversos grupos produzirem alimentos, conseguirem se aquecer e terem uma forma de iluminação para os ambientes (Pastl, 2012). Atualmente, o fogo faz com que empresas possam produzir máquinas, alimentos, ferramentas através de grandes fornos e caldeiras, além de, movimentar grandes máquinas gerando locomoção de diversos materiais (Camillo Júnior, 2004).

O homem, no passado, quando descobriu o fogo, vivia em cavernas distantes uma das outras. Com o tempo, a humanidade começou a se aproximar e viver em pequenas aldeias, onde as casas eram feitas de madeiras e materiais de fácil combustão (Pastl, 2012). A forma de conviver mudou muito e nos dias de hoje, as pessoas vivem em grandes cidades, com grandes prédios que estão um bem próximo ao outro, transformando as construções muitas vezes em um único aglomerado. As empresas também estão cada vez maiores, com um número muito grande de equipamentos elétricos e/ou mecânicos, demandando um cuidado muito maior do que no passado, além de gente. No futuro, a tendência é a proporção de equipamentos nas empresas e em casa serem bem maiores.

A humanidade precisa do fogo, e este foi, é e será sempre essencial para o mundo, mas o fogo além de útil também é perigoso. Este ao mesmo tempo que colabora para produzir riquezas ou alimentar muitas famílias pode destruir um lar, uma empresa, matar uma pessoa ou várias ao mesmo tempo. Então, como se deve conviver com o fogo? O

fogo deve estar sempre sob controle, de forma que, sirva para a sua finalidade e depois seja apagado, ou deixe de existir. Mas isto é possível? Sim, este é muito útil para não ser utilizado, mas precisa sempre estar controlado, em todas as situações onde é usado.

Entretanto, o fogo pode já começar descontrolado. Nesse caso, o fogo passa a ser um incêndio, e esse é destruidor, indesejável e descontrolado. Os incêndios podem ser provocados de diversas formas, ou seja, podem ser propositais, acidentais ou por causas naturais. Buscar evitar os incêndios, saber o que pode provocar os mesmos, se prevenir para que estes não ocorram é fundamental para evitar grandes acidentes, ou até mesmo, os pequenos.

2 | DESENVOLVIMENTO

O tema central desta pesquisa envolve a prevenção e o combate a incêndio dentro de instituições e/ou empresas de risco pequeno ou médio. Todos os estabelecimentos têm obrigações relacionadas com a prevenção e combate a incêndio e devem seguir leis, portarias e normas que especificam tais regras e procedimentos, adotados para o bom funcionamento dos diversos ambientes. Conforme enfatiza Moraes (2013), a Norma Regulamentadora 23 prevê que:

Todos os empregadores devem adotar medidas de prevenção de incêndios, em conformidade com a legislação estadual e as normas técnicas aplicáveis. O empregador deve providenciar para todos os trabalhadores informações sobre: a) utilização dos equipamentos de combate ao incêndio; b) procedimentos para evacuação dos locais de trabalho com segurança; c) dispositivos de alarme existentes. (MORAES, 2013:231)

A NR 23 informa que as medidas de prevenção e combate a incêndio devem estar em conformidade com a legislação estadual. E o Novo COSCIP (código de segurança contra incêndio e pânico), criado pelo Decreto nº 42, de 17 de dezembro de 2018, exige que edificações com área menor ou igual a 900m² e até 02 pavimentos (que são as de pequeno porte) tenham, no mínimo, extintores, sinalização de segurança, iluminação de emergência e saídas de emergência. E se seus estabelecimentos foram maiores, o número de exigências aumenta. Segundo as generalidades do Decreto nº 42 (2018):

O COSCIP estabelece normas de segurança contra incêndio e pânico, destinadas à proteção da vida, do patrimônio e do meio ambiente, a serem aplicadas às edificações e áreas de risco, no âmbito do Estado do Rio de Janeiro.

A partir dos dados acima, percebesse que todas as empresas de risco pequeno e médio deveriam ter os procedimentos mínimos sobre a prevenção e o combate a incêndio, como por exemplo o Cefet/RJ.

Entretanto, como colocar em prática as medidas básicas de prevenção e combate a incêndio? As instituições e/ou empresas devem dispor de informações sobre: utilização dos equipamentos de combate ao incêndio; procedimentos para evacuação dos locais de trabalho com segurança; e dispositivos de alarme. Uma das formas mais fácil de se conscientizar as pessoas é através de treinamentos.

Segundo Soluri (2015):

A ausência ou desconhecimento de procedimentos, aliados à falta de treinamento para a realização das tarefas, também acarretam acidentes de trabalho e ambientais. (SOLURI, 2015:3)

Infelizmente, não existe uma cultura de segurança no CEFET/RJ, principalmente de prevenção a incêndios, embora o nosso projeto não tenha esse objetivo, os participantes desenvolveram treinamentos para os servidores, os alunos e os trabalhadores terceirizados. Nesta etapa os bolsistas conseguiram ministrar aulas para diversos grupos, na semana interna de prevenção de acidentes do trabalho (SIPAT), minicursos na EXPOTEC, e treinamentos para turmas do ensino integrado do 4º ano do Cefet/RJ campus maracanã.

O objetivo do projeto, de criar uma conscientização sobre prevenção e combate a incêndio dentro do Cefet/RJ campus maracanã, não estava se concretizando, pois as pessoas eram treinadas aleatoriamente, e não ficavam na instituição ou nem eram da instituição, pois só eram treinadas pessoas dentro de eventos e alunos do 4º ano dos cursos técnicos, não sendo possível assim, criar uma cultura de prevenção.

Em 2019, os treinamentos já estavam consolidados, tanto em relação aos materiais, quanto aos participantes, tudo estava pronto para atender ao nosso objetivo, faltava apenas ter um público alvo adequado. Após muitas reuniões, o grupo resolveu fazer treinamentos para as turmas que estavam cursando o 1º ano do ensino integrado, pois estes alunos ficariam no Cefet/RJ por 4 anos, e utilizariam os conhecimentos adquiridos dentro do próprio campus. Além disto, com o passar dos anos, mais e mais turmas serão treinadas, criando uma massa de alunos conscientizados sobre prevenção e combate a incêndio. Em quatro anos, todos os cursos do integrado estariam treinados, tendo aproximadamente 1320 alunos conscientizados dentro da instituição a partir de 2023.

Em 2019, foram treinadas 05 (cinco) turmas do ensino integrado, 1BSEGINT, 1AINFOINT, 1BTELINT, 2BELINT e 1BEDINT. As aulas foram sobre prevenção e combate a princípio de incêndio, os elementos do fogo, como este se propaga, como evitar o incêndio, as classes de incêndio, os agentes extintores para cada classe de incêndio, técnicas básicas de primeiros socorros na parte teórica e como utilizar um extintor em uma pequena parte prática.

O envolvimento dos alunos nos treinamentos é excelente, eles participam bastante, respondem as perguntas, e no final são aplicadas algumas questões envolvendo todo o conteúdo que eles acertam com facilidade. Naquele momento o grupo que ministra os

treinamentos tem certeza que eles conseguiram aprender, além deles demonstrarem isto através de suas falas.

Os cursos a princípio atendem ao objetivo do projeto, mas algumas perguntas surgem depois do primeiro ano de treinamentos deste tipo. Os alunos se lembram do treinamento de prevenção e combate a incêndio? Eles se lembram dos agentes extintores que apagam cada tipo de fogo? Precisam de treinamento de PCI todo ano, para fixar melhor o conteúdo? Precisam de outra forma de ensino/aprendizagem para fixar o conteúdo sobre PCI? Será que os alunos aprenderiam melhor através de um jogo sobre PCI? Será que estes têm facilidade de usar um extintor? Qual seria a dificuldade, o tipo de agente extintor ou de como manuseá-lo?

Para verificar se o objetivo do projeto estava sendo cumprido foi elaborado um questionário para elucidar nossas dúvidas.

3 | METODOLOGIA

Este trabalho descreve um estudo sobre “Prevenção e combate a incêndio” no campus do Maracanã do Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca (Cefet/RJ), sendo classificado como uma pesquisa do tipo qualitativa. (LAKATOS, 2005) Uma instituição federal de ensino que oferece cursos técnicos integrados ao ensino médio, subsequentes, tecnológicos, de graduação e de pós-graduação. Para desenvolver uma conscientização sobre prevenção a incêndio, um treinamento básico foi criado, a princípio, em 06 (seis) turmas do 1º ano do ensino integrado. Utilizou-se um questionário para verificar se o treinamento estava adequado aos objetivos do projeto. A coleta de dados foi realizada no ano de 2020, sendo utilizado um questionário com perguntas pré-formuladas voltadas ao treinamento de alunos, o qual foi aplicado através do link: <https://docs.google.com/forms/d/1vG1ebpT9222cPHRHPw4icRyl3wgl4Bpqlq3aQP4o/edit?usp=sharing>. O instrumento da pesquisa possui 10 (dez) perguntas diretas.

Além de ser uma pesquisa exploratória, pois tem o objetivo de entender se o treinamento consegue conscientizar os alunos a partir do conteúdo proposto. Do ponto de vista dos procedimentos técnicos adotados (LAKATOS, 2005), compreende o levantamento de material publicado em mídia impressa (pesquisa bibliográfica) e de normas técnicas e decretos citados neste trabalho. (pesquisa documental).

4 | RESULTADOS

4.1 Documental

O treinamento foi criado com o propósito de conscientizar os alunos do ensino integrado de forma fácil, com uma linguagem apropriada, mas contendo todo o material necessário. Conforme segue:

Para combater o fogo indesejável ou o incêndio é preciso conhecer seus elementos, verificar como fazer a prevenção, compreender como ele se propaga e por último saber como extingui-lo.

O fogo é uma reação química entre quatro elementos, que emite luz e calor, conforme cita Camillo Junior (2004):

O fogo é um processo químico de transformação, também chamado de combustão, dos materiais combustíveis e inflamáveis, que, se forem sólidos ou líquidos, serão primeiramente transformados em gases, para se combinarem com o comburente (geralmente o oxigênio), e, ativados por uma fonte de calor, iniciarem a transformação química, gerando mais calor e desenvolvendo uma reação em cadeia. (Camillo Junior, 2004:15).

Os elementos do fogo são quatro: combustível, comburente, calor e reação em cadeia. Dois desses elementos, o combustível e o comburente, estão presentes na maioria dos locais. O combustível é toda substância capaz de queimar, servindo de campo de propagação do fogo, como por exemplo, a mesa, o ar condicionado, o GLP, a cadeira, a tinta, entre outros. Já o comburente normalmente é o oxigênio.

Portanto, constatamos que é difícil encontrar um lugar onde estes não estejam presentes, porém estes dois elementos não são suficientes para originar o fogo indesejável, ou seja, o incêndio, daí a importância de estudarmos os outros dois elementos, o calor e a reação em cadeia.

O calor, dentro dos diversos ambientes, é o elemento que inspira o maior cuidado, pois através de uma chama, podemos provocar um princípio de incêndio, basta os materiais combustíveis cheguem aos seus respectivos pontos de fulgor. Como Silva (2007) cita:

É a temperatura mínima na qual o corpo combustível começa a desprender vapores, que se incendeiam em contato com uma chama ou centelha (agente ígneo) externa, entretanto, a chama não se mantém, devido a insuficiência da quantidade de vapores que são liberados nesta temperatura. (SILVA, 2007:15)

E com o aumento ainda maior desta temperatura se obtém o ponto de combustão. Como menciona Silva (2007):

É a temperatura mínima na qual o corpo combustível começa a desprender vapores, que se incendeiam em contato com uma chama ou centelha (agente ígneo) externa, e mantém-se queimando, mesmo com a retirada do agente ígneo, face a quantidade de vapores liberados àquela temperatura, bem como o aumento da temperatura provocada pela queima. (SILVA, 2007:15)

A partir deste momento surge o quarto elemento, a reação em cadeia, o aumento do calor faz com que ocorra desprendimento de mais gases e vapores, que se transformam através da liberação de radicais livre e geram mais reações entre dos diversos materiais.

Entretanto, o incêndio pode acontecer! E neste caso deve-se evitar que este se alastre. Para isto é preciso conter a propagação dos incêndios, as formas usuais são: condução, convecção e irradiação (ou radiação). Como cita Camillo Junior (2004):

O fogo de propaga por contato direto da chama com os materiais combustíveis, pelo deslocamento de partículas incandescentes, que se desprendem de outros materiais já em combustão, e pela ação do calor. (CAMILLO, 2004: 27)

A condução é a propagação do calor molécula a molécula, ou seja, de forma resumida, a melhor forma de prevenção é não ter materiais combustíveis próximos. Por outro lado, ter materiais retardante a chama ou isolante, para conter no interior de equipamentos, o calor (como um forno, por exemplo).

A convecção é a transferência de calor pelo movimento ascendente de massas de gases ou de líquidos dentro de si próprios, ter escadas de emergência com porta corta fogo dentro de grandes edificações é uma ótima forma de prevenção, mas mesmo em pequenos ambiente se pode restringir ao máximo o fogo ou a fumaça, deixando-os o mais herméticos possível.

Já a irradiação ou radiação é o calor que se transmite por ondas caloríficas através do espaço, sem utilizar qualquer meio material. Uma forma de proteção e/ou precaução é construir prédios distantes um dos outros, para que em caso de incêndio o fogo não passe para outras construções.

O incêndio ocorre quando a prevenção falha, pode ser um descuido, consequência de um acidente ou ser provocado intencionalmente, neste caso, deve-se combatê-lo. Mas como? O fogo é formado por quatro elementos se tirar um ou mais de um deles o fogo se extingue. Conforme enfatiza Pastl (2012):

Métodos de extinção: abafamento, resfriamento, remoção e quebra da reação química. Os métodos de extinção do incêndio baseiam-se na eliminação de um ou mais elementos do tetraedro do fogo. (PASTL, 2012: 12)

A extinção através do resfriamento significa a retirada de calor numa velocidade maior do que a gerada, de todos os agentes extintores a água é que tem maior efeito de resfriamento, baseado na sua grande capacidade de absorção de calor. Já a extinção por abafamento se baseia no ponto de que cada reação química somente se processa segundo quantidades pré-estabelecidas, ou seja, é baseado na redução ou retirada do oxigênio, um agente extintor típico é o CO_2 .

Remoção está baseada na retirada, diminuição ou interrupção, com suficiente margem de segurança, do campo de propagação do fogo, do material que ainda não foi atingido pelo incêndio, como por exemplo o acervo na floresta. Já a quebra da reação química consiste em interromper a reação em cadeia, sem remoção de combustível, resfriamento direto ou diluição do oxigênio, fazendo-se a interrupção do fenômeno, com aplicação de um produto químico.

O resumo acima facilita a compreensão do fogo, mas é preciso conhecer as classes de incêndio, os melhores extintores para cada uma delas e conhecer as técnicas para utilizar os extintores. Segundo Silva (2007):

Para que as ações de combate a incêndio tivessem a máxima objetividade e rendimento, com o emprego correto de um agente extintor, os corpos combustíveis foram agrupados em Classes de Incêndio. (SILVA, 2007: 21)

Os incêndios da classe “A” acontecem em materiais sólidos (madeira, papel, tecidos, borrachas etc.) queimam em profundidade e na superfície, por este motivo precisa de um agente que resfrie por dentro e por fora, que absorva o calor, como a água. Já os da classe “B” são fogos em líquidos combustíveis e inflamáveis, queimam na superfície, por isto precisa de um agente que abafe, criando uma camada entre o combustível e o comburente, como a espuma, o CO_2 e o pó químico seco (PQS).

Os materiais energizados são da classe “C”, os agentes mais apropriados são o CO_2 e o PQS, pois não conduzem eletricidade, sendo o CO_2 o melhor, porque não deixa resíduo. Existe também a classe “D” que são os materiais pirofóricos (magnésio, zircônio, titânio etc.), estes fogos são muito difícil de controlar e extinguir, por isto, só deve ser usado pó químico especial ou cloreto de sódio. E por último, a classe “K”, os incêndios em cozinhas, onde já aparecem os três elementos do fogo (combustível, comburente e calor), o agente mais apropriado é o acetado de potássio.

Depois de conhecer as classes de incêndio, é necessário saber como funciona os extintores portáteis. Estes são utilizados para apagar um princípio de incêndio, pois sua carga é reduzida. O modo correto para usar o extintor é: verificar o agente, identificar qual a classe de incêndio que ele extingue, cortar o lacre, retirar a trava, testar o extintor, caminhar até o fogo, direcionar o esguicho da mangueira para a base do fogo, apertar o gatilho, movimentar a mangueira em forma de zigue-zague até apagar o princípio de incêndio, e por precaução não chegar muito próximo ao incêndio.

Este conteúdo foi ministrado para os alunos, em 2 (duas) horas através de slides para atender a toda parte teórica, e trabalhando em extintores para as demonstrações práticas. Os alunos se mostraram interessados e pela fala destes, o grupo verificou que estavam aprendendo com muita facilidade.

4.2 Coleta de dados

O questionário realizado esboça uma amostra do conhecimento obtido pelos alunos, a partir dos treinamentos ministrados. Através desse levantamento o grupo vai decidir se os treinamentos estão de acordo com o objetivo do projeto.

Conforme enfatiza Gil (2007):

Entre as vantagens dos levantamentos, temos o conhecimento direto da realidade, economia e rapidez, e obtenção de dados agrupados em tabelas que possibilitam uma riqueza na análise estatística. Os estudos descritivos são os que mais se adéquam aos levantamentos. Exemplos são os estudos de opiniões e atitudes (GIL, 2007:52).

Em 2019, foram realizados 05 (cinco) treinamentos com as turmas 1BSEG,

1BTEL, 1BEL, 1BED e 1AINFO, e em 2020, 01 (um) com a turma 1BSEG 2020 no final de fevereiro, num total de 182 alunos. Para verificar se os treinamentos estavam adequados, o grupo criou uma pesquisa virtual através de: <https://docs.google.com/forms/d/1vG1ebpT9222cPHRHPw4icRyrl3wgl4Bpqlq3aQP4o/edit?usp=sharing>, com um questionário sobre dispositivos facilitadores de prevenção e combate a incêndio, com as seguintes perguntas:

Questão 1 - Qual o seu nome?

Dos 182 (cento e oitenta e dois) alunos que fizeram o treinamento, 101 (cento e um) responderam ao questionário e se identificaram adequadamente. Com isto, todos os alunos que responderam e os que não responderam estão registrados, podendo, no futuro, desenvolver outra pesquisa para atender este último público, pois 44% (quarenta e quatro por cento) não responderam ou não tiveram acesso à internet, devido ao isolamento social imposto pela crise sanitária devido à **pandemia** de COVID-19 a partir de março de 2020.

Questão 2 - Qual a sua turma?

O objetivo desta questão é saber se todas as turmas participaram da pesquisa. Apesar de nem todos os alunos terem respondido, foi possível visualizar que todas as turmas participaram da pesquisa. O que é muito importante! Pois todos os cursos de segurança do trabalho, eletrotécnica, informática, telecomunicações e edificações estão representados neste questionário.

Questão 3 - Você ainda se lembra do treinamento de prevenção e combate a incêndio dado pelo projeto?

Dos 101 (cento e um) alunos que responderam, 71,3% (setenta e um, três por cento) disseram que lembram do treinamento conforme o gráfico 1, isto é um bom indicador, pois o objetivo do projeto é que eles levem este conhecimento para a vida toda.

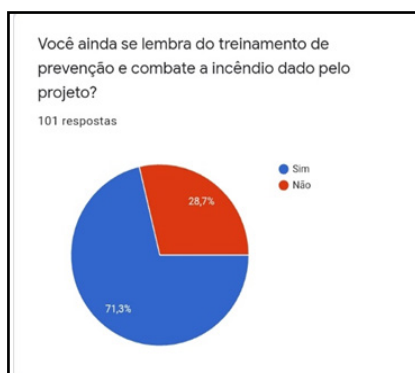


Gráfico 1

Questão 4 - Você se lembra dos agentes extintores que apagam cada tipo de fogo? Esta questão é fundamental para a análise do objetivo do projeto, somente 65,3%

(sessenta e cinco, três por cento) sabem qual o agente adequado para cada tipo de classe de incêndio (gráfico 2). Isto quer dizer que, com o tempo os alunos vão esquecendo do conteúdo dos treinamentos, o que não é bom. O projeto precisa que os alunos treinados absorvam o conteúdo e que a qualquer momento possam utilizá-lo. O Percentual desta questão deveria estar próximo de 90% (noventa por cento).



Gráfico 2

Questão 5 - Você acha que precisa de treinamento de prevenção e combate a incêndio todo ano, para fixar melhor o conteúdo?

As respostas da questão 5, respondem a questão 4, ou seja, 93,1% (noventa e três, um por cento) dos alunos entendem que é necessário treinamento todo ano (gráfico 3). Esse dado indica que o projeto precisa pensar em como retreinar ou relembrar o conteúdo de prevenção e combate a incêndio todos os anos.

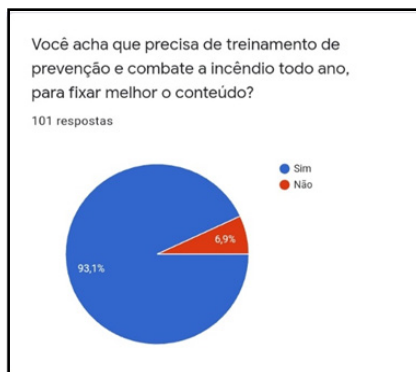


Gráfico 3

Questão 6 - Você acha que precisa de outra forma de ensino/aprendizagem para fixar o conteúdo sobre prevenção e combate a incêndio?

No gráfico 4, 52% (cinquenta e dois por cento) dos alunos acham que precisam de outra forma de ensino/aprendizagem, mas talvez por não saber sobre como seria essa forma, praticamente metade não respondeu positivamente.

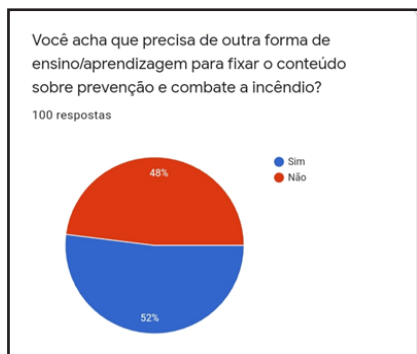


Gráfico 4

Questão 7 - Você aprenderia melhor através de um jogo de prevenção e combate a incêndio?

A resposta para a questão nº 6 veio em seguida (Gráfico 5), onde 89% (oitenta e nove por cento) dos alunos acham que aprenderiam mais se existisse um jogo sobre prevenção e combate a incêndio. Essa última resposta pode ser a solução para podermos diversificar os treinamentos, criando formas de ensino/aprendizagem, para ministrar em todos os anos.

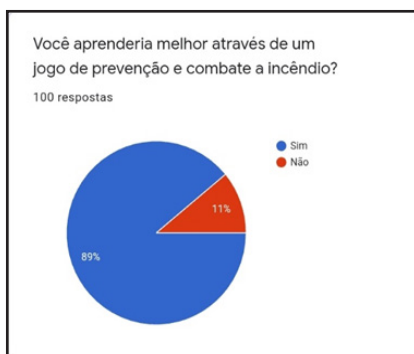


Gráfico 5

Questão 8 - Você tem facilidade para usar um extintor de incêndio?

Sessenta e cinco por cento (65,7%) dos alunos têm dificuldade de usar um extintor (Gráfico 6). Isto mostra que os treinamentos precisam ser mais frequentes, conforme a questão 4, mas além disto, é preciso ter mais aulas práticas, para fixar melhor os agentes de cada tipo de fogo e para os alunos terem mais facilidade para utilizar os extintores.



Gráfico 6

Questão 9 - Você acha adequado a existência de um agente para que você não precisasse se preocupar com qual tipo de fogo está combatendo?

Os alunos, na sua maioria (86,1%), acharam que se tivessem um só agente para apagar o incêndio, seria muito melhor (Gráfico 7). Estes estão corretos, em um princípio de incêndio, o tempo é fundamental para a sua extinção. Se não se perde tempo escolhendo o agente, se ganha tempo no combate. Hoje em dia, temos alguns agentes extintores que atuam nas classes A, B e C, e facilitam muito o combate.

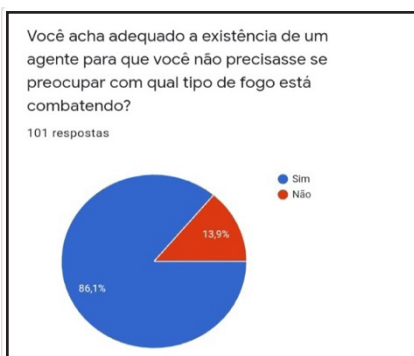


Gráfico 7

Questão 10 - Você acharia mais fácil utilizar uma espécie de bola extintora no lugar dos extintores utilizados atualmente?

Sessenta e dois, quatro por cento (62,4%) dos alunos acham que uma bola extintora é melhor que um extintor na hora de combater o fogo (gráfico 8), isto demonstra que, estes têm um certo receio de utilizar o extintor, pois com uma bola os alunos não teria várias etapas para vencer antes de extinguir o fogo. Mas eles nunca foram treinados com uma bola extintora, e esta é uma proposta para o futuro.



Gráfico 8

No passado, criavam-se máquinas e equipamentos e as pessoas tinham que se adaptar a estes. Atualmente, o processo acontece diferente. Todos os fatores devem ser concebidos e organizados em função das características das pessoas que o executam (SOLURI, 2015). Através de métodos adequados, os treinamentos, se tornaram fundamentais para o bom andamento do Cefet/RJ. E no futuro, a partir deste projeto piloto, os treinamentos poderão ser estendidos para outras instituições.

5 | CONCLUSÃO

Através da pesquisa realizada, o grupo concluiu que os treinamentos atendem ao objetivo proposto. Nosso estudo mostra que os alunos aprovaram o conteúdo e querem se aperfeiçoar. Nosso projeto, para isto, vai fazer algumas alterações na sua metodologia para melhorar o ensino/aprendizagem. Vamos treinar os alunos desde o 1º ano até o último ano. Este novo modelo vai ser aplicado através de aulas e/ou através de jogos inteligentes sobre prevenção e combate a incêndio.

A formação e a informação são fundamentais para a prevenção, e a utilização de metodologias adequadas para criação de uma cultura de prevenção a incêndios podem mitigar os impactos decorrentes de um sinistro indesejável. A implantação de medidas preventivas pode salvar a vida dos alunos e de outras pessoas. Além disto, quanto mais

pessoas treinadas, mais prevenção teremos, consequentemente o número de incêndio será reduzido, diminuindo os riscos com patrimônio.

REFERÊNCIAS

BRASIL. **Decreto nº 42/2018, de 17 de dezembro de 2018.** Regulamenta o decreto-lei nº 247, de 21 de julho de 1975, dispondo sobre o código de segurança contra incêndio e pânico – COSCIP, no âmbito do Estado do Rio de Janeiro.

CAMILO JÚNIOR, A. B. **Manual de prevenção e combate a incêndios.** 5ª ed. São Paulo: Editora Senac São Paulo, 2004.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa.** 4. ed. São Paulo: Atlas, 2007.

LAKATOS, E.M.; MARCONI, M.A. **Fundamentos de metodologia científica.** São Paulo: Editora Atlas, 2005.

MORAES, G. A. **Legislação de segurança e saúde no trabalho.** 10ª ed. Rio de Janeiro: Verde Editora, 2013.

PASTL, S. **Manual de prevenção de explosões e incêndios em inflamáveis.** Porto Alegre: Spazio Itália Edições, 2012.

SILVA, S. C. **Manual de formação: brigada de incêndio, primeiros socorros.** 2ª ed. Rio de Janeiro: Gemar Consultoria e Ensino Especializado, 2007.

SOLURI, D; NETO, J. **SMS: fundamentos em segurança, meio ambiente e saúde.** 1ed. Rio de Janeiro: LTC, 2015.

CAPÍTULO 2

COMPARAÇÃO DOS MODELOS DE RECEPTORES GNSS DE CÓDIGO C/A PARA LEVANTAMENTOS GEODÉSICOS

Data de aceite: 01/09/2020

Data da submissão: 20/07/2020

Marco Ivan Rodrigues Sampaio

Universidade de Cruz Alta (UNICRUZ)
Cruz Alta-RS

<http://lattes.cnpq.br/0995585564710934>

Fernando Luis Hillebrand

Instituto Federal do Rio Grande do Sul (IFRS)
Rolante-RS

<http://lattes.cnpq.br/7463722965745775>

Alan Diniz Bernardi

Sociedade Educacional Três de Maio
(SETREM)

Três de Maio-RS
<https://orcid.org/0000-0003-0368-6856>

Aldemir Eduardo Martins Ulrich

Sociedade Educacional Três de Maio
(SETREM)

Três de Maio-RS
<https://orcid.org/0000-0001-9006-1971>

João Fernando Zamberlan

Universidade de Cruz Alta (UNICRUZ)
Cruz Alta-RS

<http://lattes.cnpq.br/1383156245860606>

Cristiano Niederauer da Rosa

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
(UFRGS)

Porto Alegre-RS
<http://lattes.cnpq.br/6771309461719180>

Janisson Batista de Jesus

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
(UFRGS)

Porto Alegre-RS
<http://lattes.cnpq.br/0477204865125542>

RESUMO: A qualidade dos pontos coletados pelos equipamentos de medição sejam eles receptores de sinal *Global Navigation Satellite System* (GNSS) ou estação total deverão ser compatíveis com a precisão requerida do projeto. A presente pesquisa teve como objetivo a comparação das coordenadas, áreas e perímetros entre diferentes receptores de sinal GNSS de código *Coarse Acquisition* (C/A) em relação aos dados topográficos levantados por meio da estação total. As análises comparativas aplicadas foram em função do resíduo, da média, do erro linear absoluto e do desvio-padrão. Observou-se que existe uma diferença nas coordenadas obtidas pelos diferentes receptores GNSS e, conseqüentemente na área e perímetro calculados considerando o levantamento topográfico realizado por meio da estação total como medida padrão. Podemos destacar que o receptor GNSS Garmin modelo 12CX apresentou a menor discrepância no cálculo da área resultando em 0,15% e o modelo eTrex 10 a menor discrepância no cálculo do perímetro resultando em -0,33%.

PALAVRAS-CHAVE: Levantamento topográfico, precisão planimétrica, topografia.

COMPARISON OF CODE C/A GNSS RECEIVERS MODELS FOR GEODESIC SURVEYS

ABSTRACT: The points quality collected by the measurement equipment, whether they are Global Navigation Satellite System (GNSS) or total station signal receivers, must be compatible with project required accuracy. This research aimed to compare coordinates, areas and perimeters between different GNSS signal receivers of Coarse Acquisition code (C/A) in relation to topographic data collected through total station. The comparative analyzes applied were based on the residue, mean, absolute linear error and standard deviation. It was observed that there is a difference in coordinates obtained by different GNSS receivers and, consequently, in calculated area and perimeter considering topographic research carried out by means of total station as a standard measure. We can highlight that Garmin GNSS receiver model 12CX showed smallest discrepancy in area calculation resulting in 0.15% and eTrex 10 model smallest discrepancy in perimeter calculation resulting in -0.33%.

KEYWORDS: Topographic survey, planimetric precision, survey.

1 | INTRODUÇÃO

O *Navigation Satellite with Time And Ranging* (NAVSTAR-GPS) foi originado na década de 1970 com fins militares, cuja primeira constelação de satélites capaz de determinar a posição de objetos em terra foi à americana, denominada *Global Positioning System* (GPS). Neste sistema de posicionamento, as coordenadas são obtidas por meio das pseudodistâncias derivada do código C/A presente na onda portadora L1, emitida pelos satélites da referida constelação (Monico, 2007). Com a popularização dos aparelhos NAVSTAR-GPS muitas outras constelações surgiram, dentre elas pode-se citar o *Global Navigational Satellite System* (GLONASS), Galileo e o *Complex Orbital Magneto-Plasma Autonomous Small Satellite* (COMPASS) com abrangência global e, outros com abrangência regional como o *Indian Regional Navigation Satellite System* (IRNSS) e *Quasi-Zenith Satellite System* (QZSS) (Perez-Ruiz e Upadhyaya, 2012).

O sistema GPS é o mais utilizado nas Américas e tem como sistema de referência a superfície elipsoidal *World Geodetic System 1984* (WGS 84) para a determinação das coordenadas dos pontos sobre a superfície terrestre com precisões na ordem de metros a milímetros dependendo do equipamento. Esta precisão depende também do método de levantamento e processamento empregado na medição dos pontos de interesse, pois estes devem garantir a repetição das medições exatamente nos mesmos locais, a fim de atender a precisão específica de cada demanda posicional (Borgelt *et al.*, 1996; Segantine, 2005). Devido a isto, WU *et al.* (2006) ressaltam que a facilidade com que se tem acesso as informações advindas dos receptores GNSS contrasta com a dificuldade de garantir medidas robustas e confiáveis para algumas aplicações, entre as quais podemos citar o georreferenciamento de imóveis rurais, obras de engenharia e levantamentos aerofotogramétricos.

Neste contexto, muitos pesquisadores (Camargo *et al.*, 2004; Santos *et al.*, 2011; Mendonça e Santos, 2017; Araújo *et al.*, 2018; Santana *et al.*, 2019; Pedrozo *et al.*, 2019) vem investigando a precisão e acurácia dos receptores GNSS de fácil acesso e manipulação como os de navegação e até mesmo os disponíveis em smartphones para a obtenção de coordenadas. Portanto, segundo esta ótica, o presente trabalho tem como objetivo verificar as diferenças entre as coordenadas geodésicas, área e perímetro obtidas por receptores de sinal GNSS de navegação frente às obtidas por métodos clássicos de topografia com o emprego de estação total.

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

Antes de iniciar a coleta de dados a campo para a pesquisa, realizou-se uma análise prévia da área proposta para identificar a intervisibilidade entre os vértices que compusessem a área de estudo e as possíveis estações de apoio topográfico, além da ausência de obstáculos físicos na recepção dos sinais GNSS pelos receptores. O local escolhido é composto por uma área de 75.000 m², localizado no *Campus* da Sociedade Educacional Três de Maio (SETREM), município de Três de Maio/RS. Nesta área foram demarcados oito vértices e materializados com piquetes de madeira para definir a delimitação da área de estudo, possibilitando que todas as coletas sejam realizadas no mesmo ponto (Figura 1). Além da implantação dos vértices também foram implantados quatro estações de apoio topográfico para instalação e orientação azimutal da estação total durante a execução do levantamento topográfico.



Figura 1 – Localização dos oito vértices que compõem a configuração da área de estudo proposta pela pesquisa.

O levantamento topográfico dos oito vértices que compõem a área de estudo foi realizado por meio da estação total marca Sanding, modelo STS-752RL, com precisão angular horizontal de $\pm 2''$ e linear em $\pm 2 \text{ mm} + 2 \text{ ppm}$. Antes de efetuar o levantamento topográfico dos vértices que compõem a área por meio da irradiação topográfica, foi realizado o ajustamento por poligonal fechada das quatro estações de apoio topográfico, seguindo as orientações estabelecidas pela NBR 13.133 (ABNT, 1994). Partindo das coordenadas topográficas ajustadas, foi efetuada a irradiação topográfica nos vértices com três séries de leitura direta e inversa para a obtenção das coordenadas cartesianas no plano topográfico local (Miranda *et al.*, 2009).

A avaliação proposta pela pesquisa será realizada com dois modelos de receptores GNSS de código C/A da marca Garmin amplamente utilizados pela comunidade civil, o modelo 12CX e o eTrex 10. O modelo 12CX possui recepção somente para os sinais dos satélites da constelação GPS, utilizando de 12 canais paralelos continuamente no rastreo para calcular e atualizar a sua posição. Já o modelo eTrex 10 apresenta somente 10 canais paralelos contínuos para o rastreo, porém possui recepção simultânea dos sinais das constelações de satélites GPS e GLONASS. Em cada receptor foi realizada a coleta de coordenadas geodésicas durante três dias consecutivos no mesmo horário e sem nebulosidade, sendo que em cada dia foram coletadas três observações a cada ponto. Esta repetitividade visou obter um comportamento médio das fontes de erro como propagação do sinal (ionosfera, troposfera), erro dos relógios e efemérides, e erros do receptor (Monico, 2007), encontrando a média destes efeitos nas coordenadas finais. Após os três dias de coleta foram realizados os processamentos nos *softwares* que acompanham cada equipamento, obtendo ao final as coordenadas geodésicas médias de cada ponto.

Para a transformação das coordenadas geodésicas no plano topográfico local que permitirão comparar os dados provenientes dos receptores GNSS de código C/A em relação às obtidas por meio de técnicas topográficas, foi aplicado o método translações e rotações ao sistema cartesiano ortogonal tridimensional para o sistema de coordenadas terrestre geodésico local (Dalforno *et al.*, 2009). Para a aplicação deste método é necessário realizar o levantamento geodésico de no mínimo dois vértices com receptores GNSS de ondas portadoras L1/L2 que servirão como ponto de origem (vértice V2) e orientação (vértice V1) do sistema de coordenadas terrestre local. Para isto, foi empregado o método de posicionamento relativo estático, pós-processado, utilizando o receptor da marca Leica Viva GNSS, modelo GS15, com precisão horizontal em $3 \text{ mm} + 0,5 \text{ ppm}$ e vertical em $5 \text{ mm} + 0,5 \text{ ppm}$.

Com o auxílio do *software* Transgeolocal, as coordenadas geodésicas obtidas no levantamento com os receptores GNSS de código C/A foram transformadas para o plano topográfico local (sistema geodésico local), e as coordenadas topográficas obtidas pelo levantamento com estação total foram reorientadas de maneira a assumirem os mesmos azimutes geodésicos obtidos na transformação anterior (Dalforno *et al.*, 2010), possibilitando

o cálculo do resíduo (Equações 1 e 2), média, erro linear absoluto (Equação 3) e desvio-padrão das coordenadas. A Tabela 1 apresenta as coordenadas cartesianas (X, Y) no plano topográfico local e a Figura 2 apresenta o fluxograma metodológico da pesquisa.

$$e_X = x_{ET} - x_{GNSS} \tag{1}$$

$$e_Y = y_{ET} - y_{GNSS} \tag{1}$$

$$El_{abs} = \sqrt{(x_{ET} - x_{GNSS})^2 + (y_{ET} - y_{GNSS})^2} \tag{3}$$

Sendo El_{abs} o erro linear absoluto, o resíduo para a coordenada do eixo X, o resíduo para a coordenada do eixo Y, x_{et} a coordenada cartesiana do eixo X no plano topográfico local obtido por estação total, x_{GNSS} a coordenada cartesiana do eixo X no plano topográfico local obtido pelo receptor GNSS de código C/A, y_{ET} a coordenada cartesiana do eixo Y no plano topográfico local obtido por estação total, e y_{GNSS} a coordenada cartesiana do eixo Y no plano topográfico local obtido pelo receptor GNSS de código C/A.

Vértice	Estação total		Receptor Garmin 12CX		Receptor Garmin eTrex 10	
	Coord. X (m)	Coord. Y (m)	Coord. X (m)	Coord. Y (m)	Coord. X (m)	Coord. Y (m)
V1	955,589	894,086	954,000	895,368	954,366	895,115
V2	1000,000	1000,000	1000,000	1000,000	1000,000	1000,000
V3	1035,922	1003,406	1035,954	1004,162	1033,907	1003,819
V4	1113,720	986,193	1111,035	984,543	1112,167	986,128
V5	1156,360	893,006	1155,448	892,989	1154,646	892,845
V6	1185,481	812,714	1183,999	811,543	1184,313	813,494
V7	1170,380	554,512	1169,191	554,127	1169,623	554,418
V8	1016,863	596,533	1014,804	598,121	954,366	595,460

Tabela 1 – Coordenadas cartesianas finais no plano topográfico local proveniente da estação total e dos receptores GNSS de código C/A.

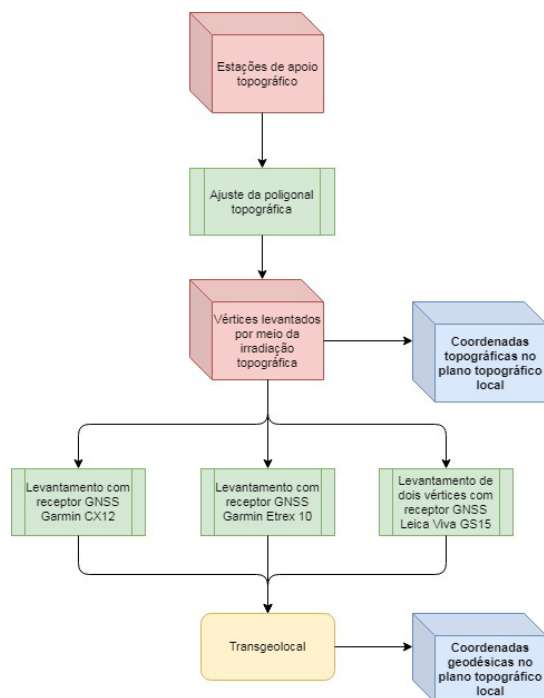


Figura 2 – Fluxograma metodológico da pesquisa para a obtenção das coordenadas cartesianas no plano topográfico local.

3 I RESULTADOS E DISCUSSÃO

A primeira análise consistiu em observar a diferença no cálculo da área e perímetro da área pesquisada entre os dois modelos de receptores GNSS de código C/A em relação ao calculado por meio do levantamento topográfico. Podemos observar na Tabela 2 que o receptor modelo 12CX apresentou a menor discrepância no cálculo da área resultando em 0,15% e o modelo eTrex 10 a menor discrepância no cálculo do perímetro resultando em -0,33%.

Equipamento	Área(m²)	Diferença (m²)	Perímetro (m)	Diferença (m)
Estação total	75.992,550	---	1.140,103	---
Garmin 12CX	76.103,853	111,303	1.138,733	1,370
Garmin eTrex 10	76.242,200	138,346	1.138,597	0,136

Tabela 2 – Resultados comparativos de área e perímetro entre os levantamentos realizados com estação total e os receptores GNSS de código C/A.

Na determinação das coordenadas cartesianas no plano topográfico local (X, Y) os dois receptores obtiveram um desempenho satisfatório (Tabela 3), sendo que o receptor

modelo 12CX obteve erro linear absoluto inferior a 3,151 m (vértice V4) e com uma media no erro linear absoluto em 1,575 m no conjunto amostral. Já o receptor modelo eTrex 10 obteve um erro linear absoluto inferior a 2,056 m (vértice V3) e com uma media no erro linear absoluto de 1,347 m nas amostras levantadas.

Vértice	Receptor Garmin 12CX			Receptor Garmin eTrex 10		
	e_x (m)	e_y (m)	$E _{abs}$ (m)	e_x (m)	e_y (m)	$E _{abs}$ (m)
V1	1,589	-1,282	2,042	1,223	1,029	1,598
V2	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
V3	-0,032	-0,756	0,757	2,015	0,413	2,056
V4	2,685	1,650	3,151	1,553	-0,065	1,554
V5	0,912	0,017	0,912	1,714	-0,161	1,722
V6	1,482	1,171	1,889	1,168	0,780	1,405
V7	1,189	0,385	1,250	0,757	-0,094	0,763
V8	2,059	-1,588	2,600	1,290	-1,073	1,678
Média	1,236	-0,050	1,575	1,215	0,104	1,347
Desvio-padrão	0,941	1,131	---	0,621	0,648	---

Tabela 3 – Apresentação dos resíduos, erro linear absoluto, média e desvio-padrão entre as coordenadas cartesianas no plano topográfico local obtidas pelo levantamento com estação total e os dois modelos de receptores GNSS de código C/A.

A média dos valores de erro lineares absolutos observados, em ambos modelos de receptores GNSS, ficaram inferiores a 2,00 m constatado também por Franco (2009) para o receptor Garmin GPSmap 60CSx. Além disso, Silva Júnior *et al.* (2009) também não detectaram pelo teste de Tukey diferenças estatisticamente significativas entre os receptores GNSS de código C/A modelos 76Csx, eTrex Vista e GPS 315 no levantamento planimétrico.

4 | CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Os resultados encontrados para o receptor GNSS de código C/A Garmin modelo eTrex 10 apresentaram um erro médio linear absoluto na posição do ponto (1,347 m) inferior em relação ao modelo 12CX (1,575 m). Na área (75.992,550 m²) encontrada através do levantamento topográfico com estação total, os receptores GNSS também apresentaram uma diferença de área, sendo que o modelo 12CX apresentou uma superestimativa 111,303 m² e o modelo eTrex 10 também uma superestimativa de 138,346 m². Já no cálculo do perímetro (1.140,103 m), o modelo 12CX apresentou uma subestimativa de 1,370 m e o modelo eTrex 10 também uma subestimativa de 0,136 m.

Diante disto, dependendo da finalidade e da precisão requerida das coordenadas geodésicas ou no cálculo de área e/ou perímetro, ambos os modelos de receptores GNSS de código C/A apresentam desempenho similares. Importante ressaltar que a pesquisa foi realizada em uma área que não havia obstáculos físicos que pudessem provocar o multicaminhamento dos sinais de satélite. Situações não enquadradas na metodologia exposta por esta pesquisa requerem trabalhos complementares.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul (IFRS), a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior–Brasil (CAPES) e a Sociedade Educacional Três de Maio (SETREM) pela disponibilidade da área e dos equipamentos utilizados na elaboração deste trabalho.

REFERÊNCIAS

ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS). **NBR 13.133–Normas Técnicas para a Execução de Levantamentos topográficos**. Rio de Janeiro, 1994.

ARAÚJO, G. M.; SANTOS, F. F. L.; MARTINS, R. N.; TAVARES, L. C. M.; VIANA, L. A.; ALMEIDA, S. L. H. Avaliação da Precisão de Diferentes Dispositivos GNSS. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, v. 12, n. 2, p. 212-222, 2018.

BORGELT, S. C.; HARRISON J. D.; SUDDUTH, K. A.; BIRRELL, S. J. Evaluation of GPS for applications in precision agriculture. **Applied engineering in agriculture (USA)**, v. 12, n. 6, p. 633-638, 1996.

CAMARGO, P. DE O.; FLORENTINO, C.; REDIVO, I. A. C. **Posicionamento Relativo Cinemático com Receptor de Navegação Garmin GPS 12XL**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITÁRIO. Florianópolis/SC, 2004.

DALFORNO, G. L.; AGUIRRE, A. J.; HILLEBRAND, F. L.; GREGORIO, F. V. **Transformação de coordenadas geodésicas em coordenadas no plano topográfico local pelos métodos da Norma NBR 14166:1998 e o de rotações e translações**. In: III SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS E TECNOLÓGICAS DA GEOINFORMAÇÃO, Recife/PE, 2010.

DALFORNO, G. L.; SAMPAIO, M. I. R.; AGUIRRE, A. J.; HILLEBRAND, F. L. Levantamento planialtimétrico no plano topográfico local: estudo comparativo dos resultados obtidos a partir de métodos geodésicos e topográficos. **Gaea (São Leopoldo. Online)**, v. 5, p. 51-60, 2009.

FRANCO, T. C. R. Análise da precisão no posicionamento com um receptor GPS de navegação. **Revista Agrogeoambiental**, v.1, n. 3, p. 79-86.

MENDONÇA, C. H. C. DE O.; SANTOS, R. F. DOS. Análise Comparativa entre Poligonais Obtidas Pelo Google Earth Pro, Receptor GNSS de Precisão e Receptor GNSS de Navegação. **Revista Científica Semana Acadêmica**, n. 111, p. 1-15, 2017.

MIRANDA, F. A.; FAGGION P. L.; VEIGA, L. A. Método para o monitoramento de pontos em áreas instáveis. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 15, n. 4, p. 498-513, 2009.

MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo GNSS: descrição, fundamentos e aplicações**. São Paulo: Editora Unesp, 2007.

PEDROZO, L. DOS S.; COSTA, W. S. DA; MATOS, C. H. L. DE. Teste de Eficiência no Uso de Aplicativos de Localização para Cálculo de Áreas de Propriedades Rurais. **Fórum de Integração Ensino, Pesquisa, Extensão e Inovação Tecnológica do IFRR - e-ISSN 2447-1208**, v. 6, n. 1, 2019.

PEREZ-RUIZ, M.; UPADHYAYA, S. K. GNSS in Precision Agricultural Operations. **New Approach of Indoor and Outdoor Localization Systems**. Intech, 2012.

SANTANA, J. K. R. De.; FARIAS, P. L. C.; XAVIER, J. P De S.; FIGUEIREDO, V. P. Precisão de GPS em Smartphones: Uma Ferramenta para Pesquisas Acadêmicas e Trabalhos de Campo. **Revista de Geografia - PPGeo - UFJF**, v. 9, n. 2, p. 255-267, 2019.

SANTOS, I. DE S.; DERBLAI, C.; FAGAN, E. B.; SILVA, J. O. Da.; SOUSA, M. C. Comparação entre Receptores GPS e o Nível Ótico. **CERRADO AGROCIÊNCIAS**, n. 2, p. 91-95, 2011.

SEGANTINE, P. C. L. **GPS: sistema de posicionamento global**. São Carlos: EESC/USP, 2005.

SILVA JUNIOR, C. A.; MEURER, I.; CARVALHO, L. A. DE. Análise da precisão de receptores GPS de navegação em planimetria territorial. **Agrarian**, v. 2, n. 5, 21-31, 2009.

WU, C.; AYERS, P. D.; ANDERSON, A. B. Influence of Travel Direction on GPS Accuracy for Vehicle Tracking. **Transactions of the ASABE**, v. 49, n. 3, p. 623-634, 2006.

CAPÍTULO 3

ESTUDO DOS PARÂMETROS NA SOLDAGEM POR RESISTÊNCIA ELÉTRICA DE COMPÓSITO PEI/FIBRA DE VIDRO POR PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL

Data de aceite: 01/09/2020

Data de Submissão: 08/06/2020

Ana Beatriz Ramos Moreira Abrahão

Faculdade de Tecnologia de
Pindamonhangaba-FATEC
Pindamonhangaba-SP
<http://lattes.cnpq.br/1352527728658742>

Edson Cocchieri Botelho

Universidade Estadual Paulista "Júlio de
Mesquita Filho"
Guaratinguetá-SP
<http://lattes.cnpq.br/4378078337343660>

Michelle Leali Costa

Universidade Estadual Paulista "Júlio de
Mesquita Filho"
Guaratinguetá-SP
<http://lattes.cnpq.br/1078989729628550>

Jonas Frank Reis

Universidade Estadual Paulista "Júlio de
Mesquita Filho"
Guaratinguetá-SP
<http://lattes.cnpq.br/7132339740843576>

Luis Felipe Barbosa Marques

Universidade Estadual Paulista "Júlio de
Mesquita Filho"
Guaratinguetá-SP
<http://lattes.cnpq.br/6513029654496572>

Tuane Stefania Reis dos Santos

Universidade Estadual Paulista "Júlio de
Mesquita Filho"
Guaratinguetá-SP
<http://lattes.cnpq.br/0488791939746292>

Rafael Rezende Lucas

Universidade Estadual Paulista "Júlio de
Mesquita Filho"
Guaratinguetá-SP
<http://lattes.cnpq.br/9728832316225233>

Marcos Paulo Souza Ribeiro

Universidade Estadual Paulista "Júlio de
Mesquita Filho"
Guaratinguetá-SP
<http://lattes.cnpq.br/3328650766338820>

Isabela Luiza Rodrigues Cintra

Universidade Estadual Paulista "Júlio de
Mesquita Filho"
Guaratinguetá-SP
<http://lattes.cnpq.br/8846085800335637>

Rodolfo de Oliveira Rodrigues

Faculdade de Tecnologia de
Pindamonhangaba-FATEC
Pindamonhangaba-SP
<http://lattes.cnpq.br/4099283587088186>

Joana Toledo Guimarães

Faculdade de Tecnologia de
Pindamonhangaba-FATEC
Pindamonhangaba-SP
<http://lattes.cnpq.br/0796143958387011>

Natali Oliveira Martins da Silva

Faculdade de Tecnologia de
Pindamonhangaba-FATEC
Pindamonhangaba-SP
<http://lattes.cnpq.br/9099824706024958>

Vinícius David Franco Barboza

Faculdade de Tecnologia de
Pindamonhangaba-FATEC
Pindamonhangaba-SP
<http://lattes.cnpq.br/8860820842846075>

RESUMO: Um dos problemas principais de utilização de compósitos poliméricos em aplicações estruturais consiste em sua união efetiva para a integração de componentes. Recentemente novas descobertas mostraram que técnicas de soldagem oferecem grandes vantagens com a eliminação de concentrações de tensões provocadas por orifícios na estrutura quando rebitadas ou na demora do processo de cura de sistemas adesivos constituídos de resinas termorrígidas. Neste sentido, entre os diversos métodos disponíveis destinados a soldagem de compósitos, a utilização de resistência elétrica vem sendo considerado como um dos mais promissores para união de compósitos. Isto porque, trata-se de um processo rápido (aproximadamente de 1 a 5 minutos), que necessita de pouca preparação da superfície a ser unida e pode ser utilizado em reparos devido à sua simplicidade e ao seu baixo custo. O objetivo deste trabalho foi realizar uma otimização do processo de soldagem por resistência elétrica do compósito polimérico de PEI/fibra de vidro, utilizando um planejamento experimental fatorial completo 2^3 onde foram avaliadas as melhores condições para a soldagem, analisando-se os parâmetros: pressão, corrente e tensão. As amostras foram soldadas em um total de 20 experimentos variando-se os parâmetros de operação do processo de soldagem, sendo que as melhores condições foram analisadas como resposta ao ensaio de *Lap Shear*, seguindo-se a norma ASTM D1002.

PALAVRAS-CHAVE: Compósitos Poliméricos, Soldagem por resistência elétrica, planejamento experimental.

STUDY OF PARAMETERS IN WELDING BY ELECTRIC RESISTANCE OF PEI/ FIBER GLASS COMPOSITE BY EXPERIMENTAL PLANNING

ABSTRACT: One of the main problems of using polymeric composites in structural applications is their effective union for the integration of components. Recently new discoveries have shown that welding techniques offer great advantages with the elimination of stress concentrations caused by holes in the structure when riveted or in the delay in the curing process of adhesive systems made of thermosetting resins. In this sense, among the various methods available for welding composites, the use of electrical resistance has been considered as one of the most promising for joining composites. This is because it is a quick process (approximately 1 to 5 minutes), which requires little preparation of the surface to be joined and can be used in repairs due to its simplicity and low cost. The objective of this work was to optimize the welding process by electrical resistance of the polymeric composite of PEI / fiberglass, using a complete factorial experimental design 2^3 where the best conditions for welding were evaluated, analyzing whether the parameters: pressure, current and tension. The samples were welded in a total of 20 experiments, varying the operating parameters of the welding process, and the best conditions were analyzed in response to the Lap Shear test, following the ASTM D1002 standard.

KEYWORDS: Polymeric Composites, Electrical resistance welding, experimental planning.

1 | INTRODUÇÃO

Os compósitos avançados são materiais de engenharia constituídos de fibras de reforço dispersas em uma matriz metálica, cerâmica ou polimérica. A combinação de

propriedades que os compósitos avançados apresentam é resultado da união da matriz e de reforços de fibras que os tornam atrativos para a aplicação na área aeroespacial. Sendo que, os compósitos termoplásticos reforçados com fibras contínuas vêm sendo estudados em uma ampla variedade de aplicações desde as comerciais, com baixo custo envolvido, até as de engenharia, com maior valor agregado (DECARLI, 2018).

Entre os polímeros termoplásticos utilizados como matriz para compósitos destaca-se o poli (éter imida) (PEI) pois apresenta características de elevados valores de resistência e rigidez em elevadas temperaturas, boas propriedades elétricas e resistência química. Este polímero ainda apresenta características como elevada resistência a ácidos e boa tolerância a bases, absorve pouca água e apresenta resistência a radiação ultravioleta e gama (REZENDE, COSTA, BOTELHO, 2011; FELTRAN, 2008; OLIVEIRA, GUIMARÃES, BOTELHO, 2009).

Especificamente para os compósitos termoplásticos, várias técnicas estão sendo estudadas e utilizadas para a união dos componentes como aplicação de adesivos ou uso de rebites. Dentre as técnicas disponíveis para a integração de compósitos, a união por fusão ou soldagem é o método que apresenta maior potencial para aplicação em montagem, união e reparo dos componentes destes materiais. As principais vantagens associadas ao processo por fusão ou soldagem em comparação às outras técnicas citadas anteriormente incluem o reduzido tempo de processamento, reduzida preparação de amostra e baixa irregularidade na interface do material. Adicionalmente, recentemente novas descobertas mostraram que técnicas de soldagem oferecem grandes vantagens como a eliminação de concentrações de tensões provocadas por orifícios na estrutura quando rebitadas ou na demora do processo de cura de sistemas adesivos constituídos de resinas termorrígidas (AGEORGES, YE E HOU, 2001; PANNEERSELVAM, 2012; AMANAT, JAMIES, MCKENZIE, 2010).

Entre os diversos métodos disponíveis destinados a soldagem de compósitos termoplásticos, algumas técnicas já se destacam, porém ainda faltam estudos mais profundos principalmente de viabilidade para aplicação industrial (AGEORGES; YE; HOU, 2000; BATES, 2005; DUBÉ et al., 2007; PANNEERSELVAM et al, 2012).

Todas as técnicas disponíveis para a soldagem de compósitos termoplásticos são adaptáveis para automação para inspeção online. Além disso, estas técnicas fornecem reprodutibilidade e necessitam de um mínimo de preparo de superfície diminuindo, desta forma, o custo do processo. Portanto, a soldagem é um processo muito atrativo para união de compósitos de matriz termoplástica, por ser um processo rápido e simples, em que a união das peças é adquirida pela fusão e consolidação na região interfacial das partes a serem soldadas (AGEORGES; YE; HOU, 2000; BATES; COUZENS; KEDAL, 2001; WISE, 1999).

A soldagem por resistência elétrica aplicada a compósitos termoplásticos tem um grande potencial para a integração de compósitos termoplásticos de alto desempenho,

especialmente quando se trata de aplicações aeroespaciais. Entretanto, parâmetros como isolamento térmico, entrada de energia, tempo de soldagem, orientação da fibra, e o tipo de elemento resistivo a ser utilizado vêm sendo estudados para melhoria da qualidade e desempenho das juntas soldadas (DA COSTA, 2012; DUBÉ et al, 2007, STAVROV; BERSEE, 2005).

Há diversos caminhos para se atingir o objetivo da otimização de um processo com a utilização da estatística, mais precisamente a resolução de um problema por meio de um planejamento estatístico, conhecido como o planejamento experimental fatorial que é utilizado para solução de um projeto experimental, usando de um número menor de medidas, mas que ao mesmo tempo consegue-se explorar todo o espaço experimental de interesse (DECARLI, 2018)

Neste sentido, este trabalho tem como objetivo fazer um estudo para determinação de valores otimizados das variáveis do processo de soldagem por resistência elétrica para compósito termoplástico constituído de PEI (poli(éter imida)) e fibra de vidro.

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Laminados Termoplásticos

Os laminados termoplásticos avaliados neste trabalho foram os compósitos PEI/ fibras de vidro fornecidos pela empresa holandesa TENCATE *Advanced Composites*. Os laminados de PEI/fibras de vidro foram confeccionados com tecidos na configuração 8 HS com espessuras nominais entre 2 a 3,5 mm e com configuração $(0/90)_{5s}$ contendo, aproximadamente, 50% em volume de matriz. Todos estes laminados termoplásticos foram processados a partir de sistemas semipregs moldados em autoclave.

As Figuras de 1 e 2 apresentam os laminados com os códigos correspondentes de identificação como fornecidos pela empresa TENCATE *Advanced Composites*, assim como, as amostras dimensionadas para o ensaio de *Lap Shear*.



Figura 1- Laminado PEI/ Fibra de vidro com código de identificação do fornecedor.



Figura 2- Amostras dos laminados PEI/fibra de vidro dimensionadas para o ensaio *Lap Shear*.

2.2 Malhas metálicas

Como elementos resistivos utilizados para os testes preliminares de soldagem com os compósitos foram utilizadas malhas metálicas de aço inox AI 304 de 400 e 500 mesh. As malhas, em forma de telas, foram produzidas pela empresa SOLOTEST, e adquiridas comercialmente da empresa TEGAPE. Para utilização destes elementos resistivos na soldagem dos laminados termoplásticos, as malhas foram cortadas nas dimensões de 40 cm de comprimento por 2,5 cm de largura, como ilustrado na Figura 3.



Figura 3- Malha metálica nas dimensões de corte para utilização como elemento resistivo para a soldagem dos laminados.

As características técnicas do fornecedor para as malhas de aço inox AI 304 são apresentadas na Tabela 1 e a composição química do material das malhas metálicas são apresentadas pela Tabela 2.

Material	Mesh	Diâmetro do fio (mm)	Abertura (mm)
AI 304	200	0,06	0,07
AI 304	400	0,06	0,07
AI 304	500	0,04	0,04

Tabela 1 - Dimensões da malha metálica fornecidas.
Fonte: (TEGAPE, 2013).

Composição química (%)	Carbono	Manganês	Silício	Fósforo	Enxofre	Cromo	Níquel
Aço AI 304	0,08	2,00	1,00	0,045	0,030	18,00	8,00

Tabela 2 - Composição química das malhas de aço **inox AI 304** utilizadas.
Fonte: (ABINOX, 2013).

2.3 Sistema de soldagem

2.3.1 Preparo das amostras dos laminados

Antes do início do processo de soldagem a superfície dos laminados foi limpa com álcool etílico e posteriormente as amostras foram cortadas nas dimensões de 100 mm de comprimento por 25 mm de largura, em seguida, as amostras soldadas foram submetidas ao ensaio de *Lap Shear*.

Para o estudo da soldagem dos materiais foi utilizada uma máquina de soldagem por resistência elétrica para compósitos confeccionada pela empresa AUMEK com base de dados obtidos por ABRAHÃO (2015), que consiste basicamente em uma máquina de prensagem com conectores elétricos integrados resistivos na forma de aproximadamente 0,05 mm de espessura, para garantir aquecimento e pressão local durante o processo de soldagem (Figura 4). As condições máximas e mínimas das variáveis da máquina são apresentadas pela Tabela 3.

Condições operacionais	Largura corpos de prova (cm)	Pressão (MPa)	Corrente (A)
	2 a 4	0,7 a 3	5 a 70

Tabela 3- Condições máximas e mínimas operacionais da máquina de soldagem utilizada.



Figura 4- Imagem do desenho da vista expandida da cabine de soldagem da máquina.

2.4 Planejamento experimental

Para determinação dos melhores parâmetros para o processo de soldagem envolvendo a malha de 400 *mesh* pelo processo de resistência elétrica foi utilizado o planejamento experimental: *Central Composite Design* (CCD) para k fatores ($k = 3 =$ pressão de consolidação, intensidade de corrente, tempo de soldagem) sendo uma matriz formada por três grupos distintos de elementos experimentais: um fatorial completo 2^3 (Tabela 4). Como foi verificado que a pressão não foi um parâmetro significativo influenciando nos processos, para o estudo da malha de 500 *mesh* foi utilizado um planejamento fatorial completo 2^2 (Tabela 5) sendo a pressão não considerada.

Variáveis		Níveis				
Reais	Cod. *	-α	-1	0	+1	+α
Tempo (s)	X ₁	10	20	35	50	60
Corrente (A)	X ₂	16,6	20	25	30	33
Pressão (MPa)	X ₃	0,7	0,7	1,85	3	3

*Codificado

Tabela 4 - Níveis reais e codificados para as variáveis tempo, corrente e pressão avaliados segundo planejamento experimental estrela rotacional para o laminado de PEI/fibra de vidro com malha de 400 mesh.

Variáveis		Níveis				
Reais	Cod. *	-α	-1	0	+1	+α
Tempo (s)	X ₁	13,79	20	35	50	56,21
Corrente (A)	X ₂	17,93	20	25	30	32,07

*Codificado

Tabela 5 - Níveis reais e codificados para as variáveis tempo, corrente e pressão avaliados segundo planejamento experimental estrela rotacional para o laminado de PEI/fibra de vidro com malha de 500 mesh.

2.5 Teste Lap Shear

Os ensaios foram realizados na máquina universal de ensaios da SHIMADZU, modelo AG-X, com uma célula de carga de 50 kN, baseando-se na norma ASTM D1002-10. As amostras foram posicionadas nas garras da máquina de ensaio universal e tracionadas a 1,5 mm/min (0,05 in/min) até a falha ocorrer. A tensão de ruptura da junta é calculada pela fórmula representada pela Equação 1 (STAVROV; BERSEE, 2005).

$$T = \frac{F_{\text{máx.}}}{L \times b} \left[\frac{N}{\text{mm}^2} \right] \quad (1)$$

Onde T = Tensão de ruptura (N/mm²), L = comprimento da sobreposição da solda (mm), b = largura da sobreposição (mm) e $F_{\text{máx}}$ = força máxima de tração (N).

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Estudo preliminar das condições e faixas de parâmetros de soldagem

Para este trabalho, inicialmente, foi realizado um estudo preliminar da soldagem dos laminados para a determinação das faixas mais apropriadas de corrente elétrica aplicada com o intuito de elevar a temperatura na região interfacial por efeito Joule, utilizando para isso as condições mínimas de pressão e do tempo de soldagem da máquina soldadora. A

temperatura é o fator referente ao aquecimento suficiente para que as peças formem juntas sem degradação do material e com valor máximo de resistência de união. Esta temperatura não deve exceder valores muito acima da temperatura de transição vítrea do polímero na superfície diretamente em contato com o eletrodo, caso contrário poderá ocorrer à degradação do material. O tempo de soldagem é o tempo necessário para a corrente fluir e desenvolver a junção das peças. O critério adotado para a obtenção do valor de corrente elétrica máxima foi a observação visual sobre se houve a degradação polimérica na junta soldada. A corrente elétrica, a pressão e o tempo de soldagem iniciais utilizados para estes testes preliminares foram: 20A, 0,7MPa e 50s, respectivamente.

3.2 Aplicação do Planejamento Experimental

A matriz experimental e os resultados obtidos dos experimentos realizados com os compósitos PEI/fibra de vidro, com as malhas de 400 e 500 mesh são apresentados pela Tabela 6. Os resultados foram avaliados utilizando-se o programa *Design-Expert 6.0* (Stat-Ease Corporation, USA). Os valores obtidos de *Lap Shear* na soldagem do compósito de PEI/fibra de vidro utilizando a malha de 400 mesh, situaram-se na faixa entre 1,01 e 14,6 MPa. Ainda, a partir dos resultados encontrados, foi observado que o maior valor de resistência *Lap Shear* foi encontrado para a combinação proveniente do teste 14 (Tabela 6).

	Tempo (s)	Corrente (A)	Pressão (MPa)	Lap Shear (MPa)
1	20,00	20,00	0,70	1,01
2	20,00	30,00	0,70	12,96
3	50,00	20,00	0,70	4,71
4	50,00	30,00	0,70	1,85
5	20,00	20,00	3,00	0,75
6	20,00	30,00	3,00	12,00
7	50,00	20,00	3,00	5,59
8	50,00	30,00	3,00	12,98
9	35,00	16,59	1,85	0,50
10	35,00	33,41	1,85	14,17
11	9,77	25,00	1,85	2,88
12	60,23	25,00	1,85	11,80
13	35,00	25,00	0,70	13,47
14	35,00	25,00	3,78	14,60
15	35,00	25,00	1,85	13,82
16	35,00	25,00	1,85	13,01

17	35,00	25,00	1,85	13,22
18	35,00	25,00	1,85	14,14
19	35,00	25,00	1,85	13,15

Tabela 6 - Matriz experimental e resultados de tensão de ruptura (*Lap Shear*) correspondentes aos experimentos conduzidos de acordo com o planejamento estatístico para o compósito PEI/ vidro (400 mesh).

Para o compósito PEI/fibra de vidro os parâmetros estudados utilizando-se malha de 500 mesh foram de 30s, 50A, sendo neste caso, obtido como valor de resistência ao Lap Shear 13,94MPa (experimento 7), conforme apresentado na Tabela 7.

Testes	Corrente (A)	Tempo (s)	<i>Lap Shear</i> (MPa)
1	25	13,79	0,25
2	25	35	9,47
3	25	35	11,89
4	20	20	1,92
5	30	20	3,21
6	25	56	13,85
7	30	50	13,94
8	25	35	12,46
9	17,93	35	1,99
10	25	35	11,30
11	32,07	35	11,97
12	20	50	11,67
13	25	35	13,80

Tabela 7- Matriz experimentais e resultados de tensão de ruptura (*Lap Shear*) correspondentes aos experimentos conduzidos de acordo com o planejamento estatístico para o compósito PEI/ vidro (500 mesh).

3.3 Análise de Variância ANOVA

Com o intuito de assegurar a confiabilidade na análise estatística realizada anteriormente, neste trabalho optou-se também pela realização da análise de variância.

Os modelos foram ajustados por meio do coeficiente de determinação (R^2), que representa o percentual de variação na resposta explicada pelo modelo construído. Os resultados da ANOVA para os estudos dos efeitos das variáveis de tempo, pressão e temperatura para a soldagem dos compósitos de PEI/fibra de vidro são apresentados na Tabela 8.

Fator	Soma Quadrática	F	p
Modelo	496,37	32,60	< 0,0001*
X ₁	288,05	170,25	< 0,0001*
X ₂	47,28	27,95	< 0,0004*
X ₃	0,19	0,060	0,8108
X ₁ ²	83,90	49,59	< 0,0001*
X ₂ ²	83,77	49,52	< 0,0001*
X ₃ ²	0,12	0,069	0,7981
X ₁ X ₂	5,56	3,29	0,0999
X ₁ X ₃	0,75	0,44	0,5205
X ₂ X ₃	0,19	0,11	0,7450
Falta de ajuste	15,47	10,65	0,0107
Erro residual	16,92	Erro Puro	1,45
R²	0,9670		

*p: Valores significativos para $p < 0,05$, X₁: corrente codificada; X₂: tempo codificado; X₃: pressão codificada.

Tabela 8 - Análise de variância (ANOVA) para o modelo quadrático da soldagem do compósito PEI/fibra de vidro nos experimentos conduzidos de acordo com o planejamento estatístico utilizando malha de 400 *mesh*.

Verificou-se que, na soldagem do compósito PEI/fibra de vidro utilizando a malha de 400 *mesh* as variáveis significativas foram a corrente elétrica e o tempo. Isto é constatado na Tabela 8 que mostra o teste de significância dos efeitos das variáveis independentes (tempo, corrente e pressão) sobre a variável resposta tensão de ruptura avaliada a partir do teste de *Lap Shear*.

Com esta análise verificou-se que a tensão de ruptura (variável resposta) das amostras soldadas foi dependente das variáveis independentes tempo e corrente elétrica, sendo que a corrente também foi significativa considerando o efeito quadrático. Entretanto, a pressão e as interações desta variável não foram significativas para variável resposta considerada.

Verifica-se, ainda, a partir do valor de R² que todas as equações ajustadas foram capazes de explicar mais de 96% da variabilidade dos valores experimentais. Desta forma, considerou-se que os modelos estatísticos obtidos foram adequados para descrever o processo de soldagem dos laminados em função do tempo, da corrente elétrica e pressão aplicada.

Verificou-se que na soldagem do compósito PEI/fibra de vidro utilizando a malha de 500 *mesh* as variáveis significativas foram a corrente elétrica e o tempo. Isto é constatado na Tabela 9, que mostra o teste de significância dos efeitos das variáveis independentes (tempo e corrente sobre a variável resposta a tensão de ruptura avaliada a partir do teste de *Lap Shear*. Verificou-se, ainda, a partir do valor de R² que todas as equações ajustadas foram capazes de explicar mais de 86% da variabilidade dos valores experimentais.

Fator	Soma Quadrática	F	P
Modelo	496,37	15,64	0,0009*
X_1	288,05	54,90	0,0001*
X_2	47,28	10,87	0,0132*
X_1^2	83,90	9,37	0,0183*
X_2^2	83,77	9,67	0,0171*
X_1X_2	5,56	0,067	0,8034
Falta de ajuste	15,02	1,98	0,2595
Erro Residual	25,14		
Erro Puro	10,12		
R^2	0,8662		

*p: Valores significativos para $p < 0,05$, X_1 : tempo codificado; X_2 : corrente codificada.

Tabela 9 - Análise de variância (ANOVA) para o modelo quadrático da soldagem do compósito PEI/fibra de vidro nos experimentos conduzidos de acordo com o planejamento estatístico.

3.4 Modelos empíricos para as respostas na soldagem dos compósitos

Os valores residuais de um experimento fatorial desempenham papel importante na garantia de adequação de modelo. Do ponto de vista matemático eles são a diferença entre as observações e as médias dos valores reais correspondentes (MONTGOMERY, 2004). Os gráficos de probabilidade normal podem auxiliar na análise do grau de ajuste do modelo relacionado ao planejamento fatorial.

A partir dos resultados das tabelas de ANOVA foi possível compor os modelos estatísticos incluindo os coeficientes correspondentes aos efeitos significativos para o processo de soldagem dos laminados estudados utilizando-se do elemento resistivo malha de aço inox de 400 e 500 *mesh*. Os coeficientes relativos aos efeitos não significativos foram excluídos dos modelos. Os modelos obtidos são apresentados pelas equações 1 a 2, correspondendo aos modelos da soldagem dos laminados PEI/fibra de vidro soldados utilizando as malhas metálicas de 400 e 500 *mesh*, respectivamente. Os modelos para os laminados estudados foram validados como sendo do tipo quadrático não apresentando falta de ajuste na ordem de 95%.

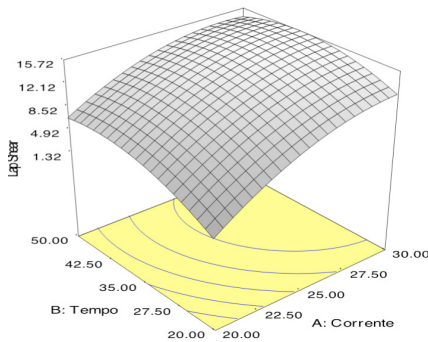
$$\text{Lap Shear (MPa)} = -99,10024 + 6,21157 \cdot X_1 + 1,1344 \cdot X_2 - 0,096109 \cdot X_1^2 - 0,010671 \cdot X_2^2 \quad (1)$$

$$\text{Lap Shear (MPa)} = +11,83 + 2,59 \cdot X_1 - 1,48 \cdot X_2 - 1,83 \cdot X_1^2 + 0,62 \cdot X_1 \cdot X_2 \quad (2)$$

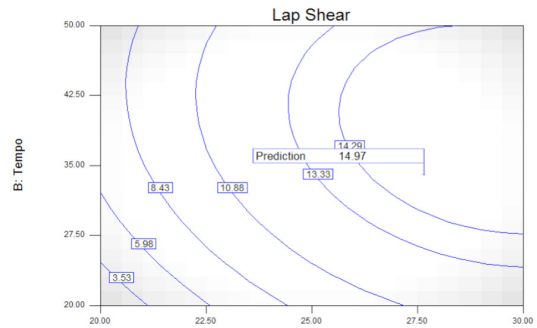
Em que: X_1 = Tempo de soldagem em segundos; X_2 = corrente aplicada em Amperes e X_3 = pressão aplicada nas peças na soldagem em MPa.

Desta forma, construiu-se uma função aproximada relacionando as respostas de interesse com as variáveis de processo. Empregando-se, ainda, o programa *Design-Expert*, para este trabalho procedeu-se à busca dos valores máximos de resistência obtidos por *Lap Shear* dentro dos valores para as variáveis estudadas. A partir das condições otimizadas foram construídos, utilizando-se o mesmo programa, gráficos de superfície de resposta referentes aos valores de variáveis buscando-se os maiores valores preditos

pelo modelo dos ensaios de *Lap Shear*. As superfícies de resposta com as regiões de otimização para o processo, utilizando a malha de 400 e 500 *mesh*, respectivamente, são apresentadas nas Figuras 5 (a) e (b) e 6 (a) e (b).

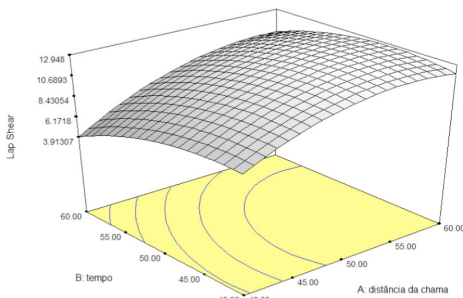


(a)

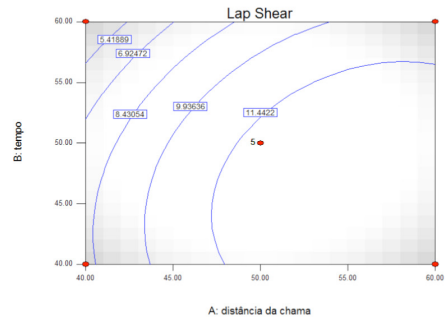


(b)

Figura 5- a) Superfície de resposta e b) curvas de nível para o laminado PEI/fibra de vidro soldado com malha de 400 *mesh* em função do tempo e da corrente elétrica aplicada.



(a)



(b)

Figura 6- a) Superfície de resposta e b) curvas de nível para o laminado PEI/fibra de vidro soldado com malha de 500 *mesh* em função do tempo e da corrente elétrica aplicada.

Empregando-se, ainda, o programa estatístico *Design- Expert 6.0*, procedeu-se com a busca da validação do modelo nas condições de tempo, corrente e pressão de soldagem em que se obteve valores máximos de *Lap Shear*. De acordo com os valores adquiridos e preditos pelo programa estatístico, apresentados nas Tabelas 10 e 11, para a utilização da malha de 400 e 500, respectivamente, verificou-se que os valores preditos pelo programa foram bem similares aos obtidos experimentalmente.

Condições experimentais		Valor predito pelo modelo (Mpa)
Pressão (MPa)	2,6	14,97
Corrente (A)	27,65	
Tempo (s)	33,99	

Tabela 10- Condições experimentais e valores de *Lap Shear* preditos pelo modelo utilizando a malha de 400 *mesh*.

Condições experimentais		Valor predito pelo modelo (Mpa)
Corrente (A)	26,42	14,7
Tempo (s)	48,86	

Tabela 11- Condições experimentais e valores de *Lap Shear* preditos pelo modelo utilizando a malha de 500 *mesh*.

Comparando-se os resultados com os obtidos experimentalmente pode-se observar que com a utilização da malha de 500 *mesh* houve aumento de corrente elétrica e também de tempo para atingir o mesmo valor do ensaio de *Lap Shear* em relação aos parâmetros utilizando a malha de 400 *mesh*. Em relação aos estudos anteriores deste grupo, verificou-se uma redução muito grande do tempo de soldagem comparado com a utilização de 200 *mesh*. Entretanto, nestes estudos comprovou-se que a eficiência maior para o processo e material em questão foi a da utilização da malha de 400 *mesh*. Adicionalmente o valor máximo da variável resposta predita pelo programa de acordo com os resultados experimentais foi de 14,97MPa, que indicou o emprego das variáveis independentes estudadas em valores aprimorados dentro das faixas pré-determinadas, sendo estas: 2,6MPa, 27,65A e 33,99s.

4 | CONCLUSÕES

Foi possível com este trabalho identificar o elemento resistivo e também os melhores parâmetros para a soldagem por resistência elétrica do compósito PEI/Fibra de vidro. Os resultados apontaram que a malha de 400 *mesh* consegue valores maiores de resistência mecânica com a utilização de faixas de valores de corrente elétrica e tempo menores que as malha até então estudadas. Foi ainda possível neste estudo utilizar, com base nos resultados experimentais obtidos, modelos estatísticos característicos da soldagem do compósito estudado, com a indicação de valores otimizados fornecidos pelo programa estatístico *Designer-Expert*.

AGRACECIMENTOS

Os autores agradecem o suporte financeiro recebido do CNPq (140852/2018-2 e 305492/2017-9) e da FAPESP. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

REFERÊNCIAS

ABRAHÃO, A.B.R.M. **Otimização do processo de soldagem por resistência elétrica em compósitos PEI/fibras contínuas para aplicações aeronáuticas**. 2015. 200 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2015.

AGEORGES, C.; YE, L. **Resistance Welding of Metal/Thermoplastic Composite Joints**. Journal of Thermoplastic Composite Materials, v. 14, n. 6, p. 449–475, 2001.

AGEORGES, C.; YE, L.; HOU, M. **Experimental investigation of the resistance welding for thermoplastic-matrix composites. Part I: heating element and heat transfer**. Composites Science and Technology, v. 60, n. 7, p. 1027–1039, 2000.

AMANAT, N. JAMIES, N. L. MCKENZIE, D.R. **Welding methods for joining thermoplastic polymers for the hermetic enclosure of medical devices**. Medical engineering e physics devices, v 32, p. 690-699, 2010.

DA COSTA, A. P. et al. A review of welding technologies for thermoplastic composites in aerospace applications. **Journal of Aerospace Technology and Management**, v. 4, n. 3, p. 255–265, 2012.

DECARLI, N. O. **Síntese e caracterização de derivados acilados do polímero poli (éter imida) (ultem 1000)**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 2018.

DUBÉ, M. **Static and Fatigue Behaviour Of Thermoplastic Composite Laminates Joined by Resistance Welding**. 2007. 162f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - McGill University, Montréal, 2007.

FELTRAN, M.B. **Compósitos de PVC reforçados com fibra de vidro: uso de técnicas de processamento convencionais da indústria brasileira**. São Paulo: Escola Politécnica do Estado de São Paulo, 2008.

OLIVEIRA, G. H.; GUIMARÃES, V. A.; BOTELHO, E. C. **Influência da temperatura no desempenho mecânico de compósitos PEI/fibras de vidro**. Polímeros, v. 19, n. 4, p. 305–312, 2009.

PANNEERSELVAM, K.; ARAVINDAN, S.; NOORUL HAQ, A. **Study on resistance welding of glass fiber reinforced thermoplastic composites**. Materials & Design, v. 41, p. 453–459, 2012.

REZENDE, M. C.; COSTA, M. L.; BOTELHO, C.B.; **Compósitos Estruturais: Teoria e Prática**. Editora ArtLiber, São Paulo 2011.

STAVROV, D.; BERSEE, H. E. N. Resistance welding of thermoplastic composites-an overview. **Composites Part A: Applied Science and Manufacturing**, v. 36, n. 1, p. 39–54, 2005.

WISE, R.J. **Thermal Welding of polymers**. Cambridge, Woodhead Publishing Limited, 1999.

REDESENHO/MELHORIA DE PROCESSOS: ANÁLISE E COMPARAÇÃO DE DUAS METODOLOGIAS

Data de aceite: 01/09/2020

Data de submissão: 19/07/2020

João Francisco da Fontoura Vieira

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
(UFRGS), Escola de Engenharia
Porto Alegre – Rio Grande do Sul
<http://lattes.cnpq.br/5833468383599187>

Danhuri Ritter Jelinek

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
(UFRGS), Instituto de Informática
Porto Alegre – Rio Grande do Sul

RESUMO: A gestão por processos é fundamental para que as empresas se mantenham competitivas e alinhadas aos seus objetivos estratégicos. A operacionalização da gestão por processos ocorre por meio da implementação das iniciativas de Business Processes Management (BPM). O presente artigo aborda uma das etapas mais importantes do BPM, o redesenho/melhoria de processos, que compreende o momento em que são identificadas oportunidades de melhorias bem como possíveis redesenhos no processo existente. Ao longo do estudo, são apresentadas duas metodologias de redesenho/melhoria de processos: “Redesenho do Processo Heurístico” e o “Projeto Baseado em Produto”. Ao final, é feita uma comparação de ambas as metodologias, identificando-se diferenças e semelhanças entre elas.

PALAVRAS-CHAVE: Redesenho de processos, Redesenho do Processo Heurístico, Projeto Baseado em Produto.

PROCESS REDESIGN/IMPROVEMENT: ANALYSIS AND COMPARISON OF TWO METHODOLOGIES

ABSTRACT: The process management is essential for companies to remain competitive and be aligned with their strategic objectives. The process management operationalization occurs through the implementation of Business Process Management (BPM) initiatives. This paper addresses one of the most important stages of BPM: the process redesign/improvement. Two methodologies of process redesign/improvement are presented: “Heuristic Process Redesign” and “Project-Based Product”. Finally, a comparison of both methodologies is made, identifying differences and similarities between them.

KEYWORDS: Process Redesign, Heuristic Process Redesign, Project-Based Product.

1 | INTRODUÇÃO

O cenário atual tem sido caracterizado por uma grande competitividade nos mais diversos setores econômicos. Nesse contexto, a gestão das empresas baseada em uma visão funcional, a qual está relacionada ao forte controle dos gerentes funcionais e na falta de visão holística por parte dos colaboradores, deve dar espaço para a gestão por processos. Esse novo tipo de gestão prevê que os colaboradores estejam comprometidos com o bom desempenho dos processos nos quais eles estão envolvidos, não gerando “ilhas” de conhecimento ao longo da empresa e permitindo o entendimento do

impacto de suas tarefas na empresa como um todo (DE SORDI, 2005; MÜLLER, 2003). Portanto, a visão funcional está baseada em controles hierárquicos verticais (foco do trabalho aos gerentes funcionais do setor em que o colaborador está atuando), enquanto a gestão por processos têm como foco uma visão horizontal da empresa (o foco do trabalho está na melhoria dos processos no qual o colaborador está envolvido, independentemente dos setores envolvidos nesses processos) (DE SORDI, 2005; MÜLLER, 2003).

A operacionalização da gestão por processos ocorre por meio da implementação das iniciativas de *Business Processos Management* (BPM). O BPM está baseado na modelagem dos processos existentes na empresa a fim de gerenciá-los. Pode-se dizer que o BPM possui dois focos (ENOKI, 2006): (i) foco no negócio e (ii) tecnológico. Para Krafzig *et al.* (2005), a abordagem do conceito no contexto de negócios está relacionada às iniciativas de gestão da qualidade e ao nível gerencial da gestão por processos, utilizando-se modelagens com alto nível, visando apenas o entendimento e o controle dos processos. Na abordagem tecnológica, o foco está na modelagem de processos de baixo nível a fim de permitir o desenvolvimento de sistemas Workflow. Ressalta-se que o foco do presente trabalho é o nível de negócios.

O BPM possui como etapas principais (DUMAS *et al.*, 2012): (i) a identificação do processo, no qual é construída uma arquitetura para o processo; (ii) a descoberta do processo, onde é realizada a modelagem do estado atual do processo (ou modelagem AS IS); (iii) análise do processo, onde são identificados os problemas e possíveis melhorias para o processo; (iv) redesenho do processo, onde é realizada a modelagem do estado futuro do processo (ou modelagem TO BE), introduzindo-se as melhorias identificadas na etapa anterior; (v) implantação do processo, onde o modelo de processo se torna executável; e (vi) monitoramento e controle do processo, onde são definidos e implantados os indicadores de desempenho do processos. É importante ressaltar que, caso os processos sejam automatizados, essa automação deve ocorrer apenas na etapa (v) implantação dos processos. Hammer (1990) e Burian *et al.* (2014) ressaltam que não se deve realizar a automação dos processos antes de ações de melhorias sobre eles, pois isso geraria a automação das ineficiências e dos problemas. Destaca-se que a modelagem dos processos em BPM utiliza uma notação específica, denominada *Business Process Management Notation* (BPMN).

O foco do presente trabalho está nas etapas (iii) análise do processo e (iv) redesenho do processo, sendo essas duas etapas denominadas por este estudo de redesenho/melhoria de processos (ou seja, sempre que for citada a expressão redesenho/melhoria de processos, está-se referindo às etapas (iii) análise do processo e (iv) redesenho do processo de forma conjunta). O presente artigo visa apresentar duas metodologias de redesenho/melhoria de processos e, logo após, compará-las. As metodologias apresentadas são o “Redesenho de Processo Heurístico” e o “Projeto Baseado em Produto”. A comparação das duas metodologias visa discutir vantagens e desvantagens, pontos em comuns e diferenças, entre outros.

A estrutura do artigo está conforme segue. Nas próximas seções são apresentadas as duas metodologias supracitadas, sendo que na seção 2 é apresentado o “Redesenho de Processo Heurístico” e, na seção 3, é apresentado o “Projeto Baseado em Produto”. Na seção 4, é apresentada uma comparação entre as duas metodologias, compilando as informações apresentadas nas seções anteriores. Por fim, na seção 5, são apresentadas conclusões para o trabalho.

2 | REDESENHO DE PROCESSO HEURÍSTICO

Nesta subseção, é apresentada a metodologia de redesenho/melhoria de processo denominado de “Redesenho de Processo Heurístico”. Dumas *et al.* (2012) afirma que o “Redesenho de Processo Heurístico” realiza a análise de um processo já existente e, partir disso, propõe melhorias graduais a fim de impactar no seu desempenho. As fases que compõem essa metodologia são (DUMAS *et al.*, 2012; REIJERS e MANSAR, 2004): (i) iniciação, que é o momento em que é entendida a situação atual do processo (AS IS) e definidos os objetivos de desempenho para o redesenho do processo; (ii) desenho, no qual o processo é redesenhado a partir de um conjunto de heurísticas que determinam ações de melhorias potenciais para um processo existente; e (iii) avaliação, que é o momento em que os diferentes cenários construídos a partir da aplicação das heurísticas em (ii) são avaliados. É importante ressaltar que, apesar das etapas estarem sendo apresentadas separadamente, a aplicação em um caso prático ocorre de maneira interativa e com sobreposição de atividades (DUMAS *et al.*, 2012). O foco dessa subseção é a fase (ii) desenho.

Como apresentado anteriormente, esta metodologia redesenha o processo a partir de um conjunto de heurísticas. Essas heurísticas devem ser vistas como regras para a derivação de novos processos. As heurísticas propostas pela metodologia focam nos elementos fundamentais de análise de um processo: (i) consumidores, tanto externos quanto internos; (ii) operação de processo de negócio, relacionado ao número de atividades e a natureza delas; (iii) comportamento do processo de negócio, relacionado a ordem das atividades executadas; (iv) a organização e os participantes do processo de negócio, os quais podem estar no nível de estrutura organizacional (papéis, departamentos, divisões, etc) ou população organizacional (agentes com atividades atribuídas para execução); (v) informação; (vi) tecnologia; e (vii) ambiente externo em que a empresa está situada (DUMAS *et al.*, 2012; REIJERS e MANSAR, 2004).

O “Redesenho do Processo Heurístico” propões diversas heurísticas que geram alterações em cada uma dos elementos supracitados a fim de melhorar o desempenho do processo atual. Cada uma das heurísticas possui impacto nas quatro dimensões de desempenho de um processo (também chamadas de *The Devil's Quadrangle*), as quais são (DUMAS *et al.*, 2012; REIJERS e MANSAR, 2004): (i) tempo; (ii) custo; (iii) qualidade;

e (iv) flexibilidade. É importante frisar que, em alguns casos, uma mesma heurística pode impactar positivamente em algumas dimensões e negativamente em outras. Para decidir sobre quais heurísticas escolher, deve-se mensurar o impacto que elas terão nas dimensões de desempenho de um processo.

3 | PROJETO BASEADO EM PRODUTO

A metodologia de “Processo Baseado em Produto” propõe uma abordagem diferente da apresentada na seção anterior. Diferentemente do “Redesenho de Processo Heurístico”, o “Processo Baseado em Produto” não tem como ponto de partida um processo já existe, sobre o qual são propostas melhorias incrementais, mas parte do princípio de que devemos repensar radicalmente como criar um produto ou serviço, de forma a levar em consideração as características que esse produto/serviço têm, determinando a partir destas considerações como o processo para a criação deste produto/serviço deve ser (DUMAS *et al.*, 2012). O princípio por trás desta ideia é de que, ao se ignorar um processo já existente (AS IS), é possível se contemplar um novo processo que poderá ser o mais enxuto e eficiente possível no seu propósito. Neste sentido, o “Projeto Baseado em Produto” é mais ambicioso que a metodologia de “Redesenho de Processo Heurístico”, já que ele se propõe a criar um novo processo, ignorando o já existente. Mas, ao mesmo tempo, essa metodologia tem um escopo mais limitado, visto que foi especialmente desenvolvida para fazer o desenho de processos que produzem produtos informacionais, por exemplo, uma decisão, uma proposta, ou uma permissão. No decorrer da aplicação da metodologia, esse produto informacional é que será analisado e representado em um *product data model*. Este modelo de dados de produto será usado pelo designer para determinar qual a melhor estrutura para o futuro processo de criação deste produto.

Assim como na metodologia anterior, o “Processo Baseado em Produto” pode ser visto como uma sequência de passos a serem seguidos para a correta aplicação da metodologia. Dentre os principais estágios dessa abordagem, estão (DUMAS *et al.*, 2012): (i) Definição do escopo, (ii) Análise, (iii) Design, e (iv) Avaliação. A (i) Definição do escopo é o momento em que o processo de negócio a ser sujeito ao redesenho é selecionado. Nesta fase, também são definidos os objetivos quanto ao desempenho do processo a ser projetado, bem como suas limitações. Na (ii) Análise, um estudo sobre as especificações do produto a ser gerado pelo processo é conduzido de forma a decompor suas características na forma de um modelo de dados de produto. O processo de negócio existente, caso haja algum, é avaliado de forma a se recuperarem dados relevantes para o design do novo processo. Na etapa (iii) Design, baseado nos objetivos do desempenho elencados na fase (i) e no modelo de dados de produto gerado na fase (ii), são criados um ou mais designs de processo. Na etapa (iv) Avaliação, os designs de processo criados são verificados, validados com os usuários finais, e seu desempenho é avaliado com mais detalhamento. O

design mais promissor é então avaliado junto aos setores de gerência pertinentes, de forma a avaliar sua adequação aos objetivos traçados e sua possível implementação.

4 | COMPARAÇÃO ENTRE AS METODOLOGIAS

Ambas as abordagens apresentadas no presente artigo têm diretrizes bem definidas, com metodologias bem estruturadas e estratégias de aplicação bem documentadas. Apesar de compartilharem essas qualidades, cada uma das metodologias apresentadas é bastante distinta no que diz respeito ao seu objetivo e, também, quanto aos cenários ideais de aplicação.

A metodologia de “Redesenho de Processo Heurístico” se insere em um contexto de aplicação mais amplo, abrangendo cenários mais diversos do que a metodologia de “Projeto Baseado em Produto”. Esta metodologia parece ser mais aplicável em situações onde já existe um processo de negócio, independentemente do tipo de produto ou serviço criado neste processo. Esse cenário se reflete já na primeira fase, onde a metodologia preconiza a análise de um projeto já existente, de forma a avaliar nas fases seguintes quais serão as mudanças incrementais a serem feitas neste processo já existente, com o intuito de se alcançarem os objetivos de desempenho traçados.

Já a abordagem de “Projeto Baseado em Produto” tem um escopo de aplicação mais restrito, de maneira que pode ser utilizada em contextos onde não existe um processo de negócio vigente, sendo adequada para processos onde o produto ou serviço gerado é dito informacional. Neste contexto, sua aplicabilidade como metodologia de melhoria de processo não pode ser vista como de propósito geral.

Conclui-se que as discrepâncias são verificadas, principalmente, nas etapas iniciais de ambas as abordagens. As etapas subsequentes compartilham alguns pontos em comum, já que tratam do design do processo sendo avaliado bem como de sua posterior avaliação e validação.

5 | CONCLUSÃO

A etapa de redesenho/melhoria de processos é de grande importância para a indústria, pois é o momento onde são definidas as ações a serem realizadas nos processos existentes. No presente trabalho, foram apresentadas duas metodologias para o redesenho/melhoria de processos: (i) “Redesenho de Processo Heurístico” e (ii) “Projeto Baseado em Produto”. Verificou-se que, apesar do redesenho do processo ser obtido de forma distinta entre as duas metodologias, ambas são relevantes. Enquanto o “Redesenho de Processo Heurístico” está focado em melhorias incrementais nos processos, o “Projeto Baseado em Produto” é mais adequado a melhorias radicais. Ressalta-se, portanto, que não existe uma abordagem que seja perfeita para todos os cenários, de forma que cada

uma das abordagens apresentadas tem sua importância e pode ser melhor aplicada quando levado em consideração as necessidades da empresa e as especificidades de cada uma das abordagens.

REFERÊNCIAS

BURIAN, Philip E. et al. Principles driven leadership: Thoughts, observations and conceptual model. *International Journal of Management & Information Systems (IJMIS)*, v. 18, n. 1, p. 1-10, 2014.

DE SORDI, José Osvaldo. **Gestão por processos: uma abordagem da moderna administração**. Saraiva Educação SA, 2005.

DUMAS, Marlon et al. **Fundamentals Business process management**. Berlin: Springer-Verlag, 2013.

ENOKI, Cesar Hidetoshi. **Gestão de processos de negócio: uma contribuição para a avaliação de soluções de business process management (BPM) sob a ótica da estratégia de operações**. 2006. 225 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

HAMMER, Michael. Reengineering work: don't automate, obliterate. *Harvard business review*, v. 68, n. 4, p. 104-112, 1990.

KRAFZIG, Dirk; BANKE, Karl; SLAMA, Dirk. **Enterprise SOA: service-oriented architecture best practices**. Prentice Hall Professional, 2005.

MULLER, Claudio Jose. **Modelo de gestão integrando planejamento estratégico, sistemas de avaliação de desempenho e gerenciamento de processos (MEIO-Modelo de Estratégia, Indicadores e Operações)**. 2003. 292 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção). Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2003

REIJERS, Hajo A.; MANSAR, S. Liman. Best practices in business process redesign: an overview and qualitative evaluation of successful redesign heuristics. *Omega*, v. 33, n. 4, p. 283-306, 2005.

ESTUDO DO NÍVEL DE CONTAMINAÇÃO DO ÓLEO LUBRIFICANTE COM ÁGUA EM BOMBAS CENTRÍFUGAS

Data de aceite: 01/09/2020

Data de submissão: 05/06/2020

Miriam Ribeiro Cabreira

Instituto Federal Sul Rio-grandense
Sapucaia do Sul – Rio Grande do Sul
<http://lattes.cnpq.br/1950260975690498>

Durval João de Barba Júnior

Instituto Federal Sul Rio-grandense
Sapucaia do Sul – Rio Grande do Sul
<http://lattes.cnpq.br/0024924230288390>

RESUMO: As bombas centrífugas são equipamentos essenciais para o funcionamento de determinadas indústrias. Para garantir a disponibilidade de operação, os setores de produção e de manutenção realizam o rodízio de operação. Nas bombas centrífugas, com a lubrificação dos mancais em banho de óleo e selagem da caixa feita por labirintos, o rodízio é praticado semanalmente, uma vez que os labirintos não vedam totalmente a caixa de mancal, permitindo a entrada de umidade quando as bombas estão paradas. Aumentar o período de rodízio é de interesse deste estudo. Para isto é necessário verificar a real contaminação do óleo com água, pois a contaminação com água pode, dependendo da concentração, reduzir drasticamente a vida útil do rolamento, ou ainda, causar falha abrupta deste, propagando falhas em outros componentes com consequências graves, como abertura do selo mecânico. O estudo foi realizado por amostragem, seguindo

critérios de seleção relacionados à construção da bomba centrífuga, disponibilidade operacional, dentre outros. O óleo lubrificante foi amostrado e encaminhado para análise quanto ao teor de umidade. Os resultados obtidos apresentaram diferenças bastante relevantes quanto ao tipo de bombas. As bombas com rotor em balanço, que possuem uma caixa de mancal, apresentaram um padrão de contaminação ficando abaixo do limite de 100 ppm, garantindo a durabilidade do rolamento. Já as bombas biapoiadas, que possuem duas caixas de mancal, apresentaram um padrão de contaminação aleatório que, em alguns casos, foi muito elevado. O estudo concluiu que é possível estender o rodízio para as bombas com apenas uma caixa de mancal, com a recomendação de, a longo prazo, efetuar a troca da vedação de labirintos por selos visando reduzir ainda mais a possibilidade de contaminação. Já para as bombas biapoiadas, a extensão do rodízio só poderá ocorrer após a troca da vedação das caixas seguida de avaliação para certificar que a contaminação foi reduzida.

PALAVRAS-CHAVE: Bombas Centrífugas, Lubrificação, Contaminação.

A STUDY OF THE CONTAMINATION LEVEL OF LUBRICANT OIL WITH WATER IN CENTRIFUGAL PUMPS

ABSTRACT: Centrifugal pumps are essential equipment for the operation of certain industries. In order to ensure the operation availability, production and maintenance sectors perform an operation rotation. On centrifugal pumps, by lubricating bearings in an oil bath and bearing house sealing by labyrinths, this rotation is

practiced weekly, once the labyrinths do not completely seal the housing bearings, allowing moisture entering when the pumps stop. Increasing the rotation period is this company's interest. In order to do this, it is necessary to check for actual contamination of water in oil, once contamination with water might, depending on its concentration, reduce the bearing life dramatically, or yet, cause an abrupt equipment failure, which would propagate failures in other components with serious consequences, such as the opening of the mechanical seal. The study was performed by sampling, following selection criteria related to the centrifugal pump construction, operational availability, among others. Lubricating oil was sampled and sent for analysis for moisture content. The results obtained showed a significant difference related to the type of the pump. Rocker-rotor pumps, with a single bearing housing, showed a contamination pattern below the 100-ppm limit, ensuring bearing durability. In the other way, double support pumps, with two bearing housings, presented a random pattern contamination that, in some cases, was very high. The study concluded that it is possible to extend the operation rotation for pumps with a single housing bearing, recommending a long-term changing of the seal labyrinth by seal in order to reduce the possibility of contamination. For double support pumps, this rotation could only occur after changing the carton seal, followed by an evaluation in order to certify the contamination reduction.

KEYWORDS: Centrifugal Pumps, Lubrication, Moisture.

1 | INTRODUÇÃO

A manutenção preditiva é uma área da manutenção que visa aumentar a disponibilidade dos equipamentos industriais e antecipar falhas que possam ter consequências catastróficas. Desta forma, além de reduzir custos com manutenção, aumenta o rendimento do parque industrial.

As bombas hidráulicas são equipamentos destinados à promover transferência de fluido, sendo muito utilizadas em diversas áreas. Em certas indústrias, quando o uso de bombas é fundamental para o setor de produção, utiliza-se esses equipamentos em redundância, onde mais de um equipamento executa a mesma função. Manter a disponibilidade máxima destes equipamentos é responsabilidade dos setores de manutenção e produção que, em conjunto, mantêm rotinas que visam reduzir incidência de falhas, bem como monitorar sintomas que possam identificar a possibilidade de falha. Uma das rotinas praticadas é o rodízio das bombas. O rodízio consiste em operar com as bombas alternadamente. O período de rodízio é determinado conforme algumas variáveis como regime de operação, características mecânicas do equipamento, dentre outras.

Nas bombas centrífugas, que possuem caixas de mancais com lubrificação por banho de óleo e selagem das caixas por labirintos, é praticado o rodízio semanal devido ao risco de contaminação do óleo com umidade do ar. Isto ocorre uma vez que a selagem por labirintos é bastante eficiente para evitar o vazamento de óleo das caixas quando o eixo está rodando. No entanto, quando as bombas estão paradas, permitem a entrada de ar e, em consequência, de umidade.

Sendo assim, o objetivo deste trabalho é determinar a possibilidade de extensão do período de rodízio de bombas centrífugas com lubrificação em banho de óleo.

As bombas hidráulicas são equipamentos destinados a transformar energia mecânica em energia hidráulica, visando transportar um fluido, conferindo-lhe energia cinética (velocidade) e potencial (pressão). (MACINTYRE, 2014)

O princípio de funcionamento das bombas centrífugas está fundamentado na transferência de energia cinética de rotação de um impelidor que, por meio da força centrífuga (força inercial), acelera o fluido conferindo-lhe velocidade. As principais partes de uma bomba centrífuga são: Rotor, impelidor ou impulsor, Carcaça, Eixo, Mancais, Caixas de Mancais e Selagem. (MACINTYRE, 2014; MATTOS e FALCO, 1998)

Os mancais de bombas têm a função de manter o conjunto rotativo em alinhamento com os componentes estacionários e suportar cargas que são compostas pelo peso do impelidor e do eixo, cargas hidráulicas provocadas pelo processo de bombeamento e as cargas derivadas do equipamento propulsor. Estas cargas podem ser decompostas em duas direções: axial (paralelo ao eixo) e radial (perpendicular ao eixo). Em bombas centrífugas, os mancais de rolamentos são os mais utilizados. (KARASSIK *et al*, 1986; SKF, 2012; MATTOS e FALCO, 1998)

As bombas multiestágios possuem os impelidores centralizados no eixo e este apoiado por dois mancais localizados um em cada lado da carcaça. Já as bombas de simples estágio possuem o impelidor em balanço, apoiado por dois mancais localizados do mesmo lado. Os mancais são montados em caixas que podem fazer parte da estrutura da bomba ou serem componentes anexos à essa estrutura. Elas também têm a função de armazenar o lubrificante garantindo aos mancais a correta lubrificação e refrigeração. (MACINTYRE, 2014)

As cargas a que os mancais estão submetidos são as radiais, axiais ou uma combinação destas. Nas bombas centrífugas, os esforços axiais devem-se à assimetria na construção do impelidor bem como à diferença de pressão entre o lado da sucção e o da descarga, provocando uma força resultante chamada de impulso axial. Lembrando que força é resultado da pressão exercida em uma determinada área, a força nas costas do impelidor será maior do que na frente, tendo como força axial resultante uma força que empurra o conjunto rotativo para a sucção. (MATTOS e FALCO, 1998)

Os rolamentos são componentes que têm a função de unir uma parte estacionária a uma parte rotativa de determinado equipamento, permitindo um movimento relativo entre componentes da máquina. Nas bombas, o rolamento fixa o eixo à parte estacionária, que é a caixa de mancal. Nos mancais de rolamentos, as cargas são transferidas por contato rolante. (BUDYNAS, 2008)

Os rolamentos possuem a vida útil calculada pela fadiga. A vida nominal do rolamento é calculada, conforme a ISO 281, pela Equação 1, cujos parâmetros são: L_{10h} – vida útil em horas, C – classificação da carga dinâmica básica, P – carga dinâmica equivalente do

rolamento, n – rotações por minuto (rpm) e p – expoente da equação de vida (3 para esferas e 10/3 para rolos). Se as cargas forem mantidas dentro dos limites, a vida útil poderá ser de cinquenta anos ou mais. No entanto, a maioria dos mancais falham muito antes e as principais causas são contaminações do lubrificante e calor em excesso. (MCNALLY, 2006; NSK, 2013)

$$L_{10h} = \frac{10^6}{60n} \left(\frac{C}{P} \right)^p \quad (1)$$

Os mancais de bombas são montados em caixas que contém o lubrificante. A lubrificação tem como objetivo reduzir o atrito, dissipar o calor, proteger os componentes contra corrosão e evitar a entrada de partículas. A lubrificação de rolamentos pode ser por óleo ou graxa. (MATTOS e FALCO, 1998)

Para mancais de rolamentos, as principais formas de lubrificação por óleo são: banho de óleo com anel pescador, névoa de óleo (*oil-mist*) e, para bombas de grande porte, óleo circulante usualmente refrigerado. (BLOCH, 2017)

Na unidade em estudo, a lubrificação dos rolamentos é feita por banho de óleo. Neste sistema, a caixa de mancais é preenchida com óleo até a altura da metade da esfera inferior do rolamento. Um copo de óleo, montado externamente à caixa, mantém a reposição automática do óleo quando o nível fica abaixo do nível desejado. A parte superior da caixa tem abertura para atmosfera para manter a caixa despressurizada. Desta forma, quando o copo de óleo é retirado não ocorre vazamento do conteúdo da caixa e permite a reposição automática de óleo do copo para a caixa. Estas caixas ainda possuem um anel pescador que, acionado pelo eixo, espalha o óleo por toda a caixa para garantir a lubrificação, dissipar o calor e formar uma película que evita a corrosão da caixa. (MATTOS e FALCO, 1998)

O sistema de banho de óleo, com a caixa de mancais equalizada com a atmosfera, permite a entrada de ar e, em consequência, de contaminantes. Outros sistemas foram desenvolvidos com o objetivo de evitar esse problema. Um destes sistemas é a caixa de mancal selada com equalização da caixa de mancais com o copo de óleo. Nesse sistema, a parte superior é selada para não ter contato com a atmosfera mas para garantir a reposição automática de óleo é montada uma tubulação de pequeno diâmetro e conecta a caixa com a base do copo. (BLOCH, 2017)

As bombas em estudo possuem o sistema de lubrificação com banho de óleo com caixa equalizada para a atmosfera. Para evitar o vazamento do óleo da caixa para a atmosfera é feita uma selagem entre o eixo e a caixa por labirintos. No entanto, é desejável que a umidade e contaminantes não entrem na caixa de mancal, uma vez que a durabilidade do rolamento depende de um lubrificante limpo e isento de umidade. (BLOCH, 2017)

Segundo Nobrega (2013) existem duas famílias de protetores de mancais:

- **Restritivo:** veda quanto à entrada de líquidos e saída do óleo, mas vapores circulam livremente.
- **Hermético:** veda completamente a caixa, quanto à líquidos e vapores

Os labirintos convencionais são do tipo restritivo. Quando em operação, as caixas de mancais possuem a tendência de aumentar a pressão interna e os labirintos convencionais acomodam esse aumento de pressão, permitindo a expulsão do ar quente entre os elementos rotativos e estacionários, conforme apresentado na Figura 1 (esquerda). No entanto, quando o equipamento para, a caixa esfria e o labirinto não evita a entrada do ar do ambiente para a caixa, conforme demonstrado na Figura 1 (direita). Esse fenômeno é denominado respiração da caixa de mancal. Outros fatores favorecem a entrada de umidade, como a variação da temperatura ambiente, dia e noite, ambiente muito úmido, ou se estiverem próximos a equipamentos que liberem vapor. Nestas situações as bombas no ciclo de reserva por períodos prolongados poderão ter a relação umidade-óleo muito prejudicada. (RODDIS, 2006; MCNALLY, 2006)

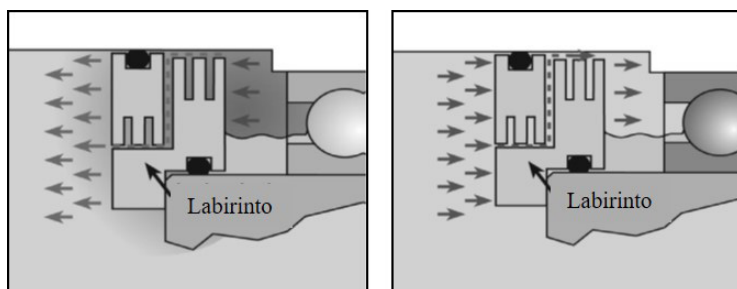


Figura 1: Labirinto convencional com eixo em rotação (esquerda) e estacionário (direita) (RODDIS, 2006).

A presença de água no óleo ocorre de três formas: livre, emulsionada e dissolvida. A forma livre ocorre quando a concentração de água é alta o suficiente para deslocar o equilíbrio da solução, fazendo com que a água se separe do óleo por decantação gravitacional. Esta é a forma mais prejudicial de contaminação. Na forma emulsionada, a água presente no óleo também está na forma livre, mas não em concentração suficiente para promover a separação natural, nesse caso, água e óleo formam uma solução onde a água fica em suspensão coloidal no óleo. A água emulsionada se comporta como água dissolvida, mas apresenta características da água livre e modifica a viscosidade aparente do lubrificante. A água dissolvida é a água em solução e sua presença não prejudica o óleo ou o mancal. (GEITNER e BLOCH, 2012)

A contaminação do óleo por água poderá reduzir a vida útil do rolamento conforme demonstrado na Figura 2. É possível perceber que, quando o óleo começar a apresentar

turbidez, com 0,1% de água, a vida útil do rolamento já poderá estar sendo reduzida em cerca de 75% do esperado.

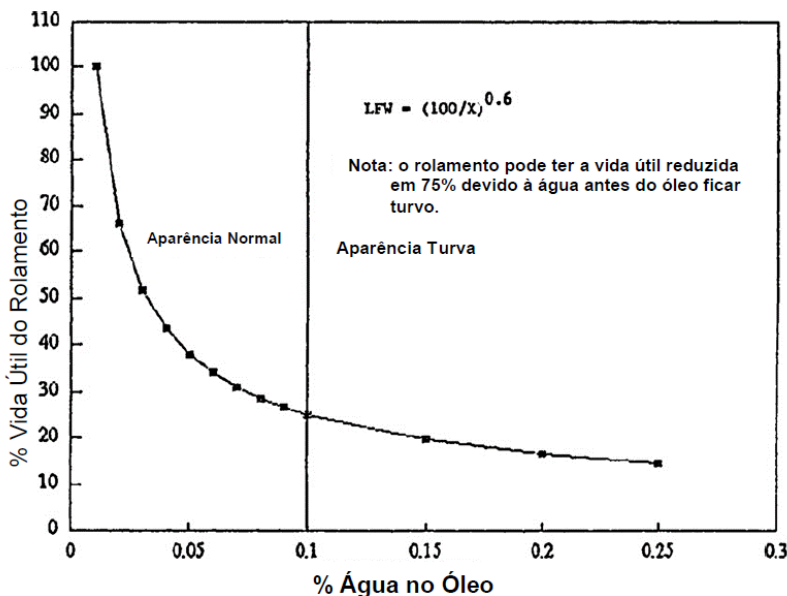


Figura 2: Efeito da água no óleo na vida de um rolamento. (GEITNER e BLOCH, 2012)

A determinação do teor água dissolvida no óleo é feita de modo bastante satisfatório com o analisador automático Karl Fisher. A inspeção visual também é utilizada, entretanto, quando houver percepção visual a vida útil já poderá estar bastante comprometida. (GEITNER e BLOCH, 2012)

A frequência de rodízio semanal tem como objetivo reduzir o tempo que a bomba fica parada, período favorável à entrada de umidade, além de promover a evaporação da água residual do óleo, uma vez que o lubrificante aquece durante a operação. Segundo os relatos da equipe de manutenção, a rotina semanal de troca de bombas foi implementada de forma paliativa, devido à dificuldade de efetuar a selagem das caixas de mancais, já que não existia um selo de caixa, de boa durabilidade, que evitasse o vazamento de óleo e a entrada de ar. Há cinquenta anos as vedações disponíveis eram os retentores, que vedam 100% no início, mas, apresentavam uma vida útil relativamente baixa. Os selos de mancal surgiram recentemente, sendo os primeiros limitados a velocidades periféricas baixas e pouco confiáveis (possibilidade de perder todo o conteúdo de lubrificação em caso de falha). Neste cenário, a vedação por labirintos mostrou-se a solução mais adequada, apesar das limitações quanto à contaminação do óleo lubrificante. Atualmente, existe um modelo de selo de mancal confiável, que veda totalmente, não causa o vazamento do lubrificante em

caso de falha e com durabilidade aceitável (não limita a vida útil do equipamento onde está instalado). Esta é a solução tecnológica aceitável pela equipe de manutenção e que, gradualmente, está substituindo os labirintos convencionais. (NOBREGA, 2013)

Nas bombas centrífugas, é necessário fazer a vedação da interface eixo-carcaça para que não ocorra o vazamento do produto que está sendo bombeado. Esta vedação pode ser feita por gaxetas ou por selo mecânico. As bombas em estudo, devido às características dos produtos bombeados, são utilizados selos mecânicos para vedação. (MATTOS e FALCO, 1998)

De acordo com os relatos da equipe de manutenção, os selos mecânicos são um dos componentes mais sensíveis das bombas centrífugas pois, para que eles funcionem corretamente, o eixo da bomba deve estar devidamente alinhado para que as faces mantenham o contato que garanta a vedação. Um dos modos de falha em rolamentos pode causar a abertura do selo mecânico. Os mancais de rolamento são os responsáveis por manter esse alinhamento e a falha no rolamento que suporta a carga axial pode levar ao deslocamento do conjunto rotativo e, em consequência, a abertura do selo mecânico, causando vazamentos de volumes consideráveis. A contaminação do óleo lubrificante com água na forma livre pode causar essa falha no rolamento e suas consequências, conforme o histórico de falhas da empresa.

2 | MATERIAL E MÉTODOS

O estudo de contaminação foi realizado com as bombas de uma unidade operacional, por amostragem. A unidade é separada em duas áreas principais, aqui denominadas área A e área B. Estas áreas possuem algumas características distintas em seu ambiente, bem como diferenças nos produtos bombeados.

Escolha das Bombas: A análise de umidade foi feita por amostragem de bombas utilizando os seguintes critérios para a escolha dos equipamentos estudados:

1. **Localização:** A área A possui particularidades em relação à área B, como por exemplo, maior quantidade de vapor no ambiente, proveniente das turbinas e dos esgotos.
2. **Produto Crítico:** o produto foi considerado devido aos riscos associados como incêndio, contaminação ambiental e contaminação pessoal.
3. **Critério Operacional:** alguns equipamentos apresentam características que são necessárias ou preferenciais para a operação da planta.
4. **Tipo de acionamento:** as bombas são acionadas por turbina a vapor ou por motor elétrico. As turbinas, quando paradas, vazam mais vapor do que quando estão operando, podendo facilitar a contaminação da caixa de mancal das bombas.
5. **Biapioadas:** a maior parte das bombas possui o impelidor em balanço, com

uma caixa de mancal que contém os dois mancais: Lado Acoplado – LA e Lado Oposto ao Acoplamento – LOA. Existem, entretanto, dois conjuntos de bombas biapoiadas que possuem duas caixas de mancais. Como estas caixas são menores, proporcionalmente podem acumular mais água. Por isso, as conclusões para bombas com impelidor em balanço podem não ser as mesmas para biapoiadas.

6. **Teste de automatismo:** existem bombas que são muito críticas para a continuidade operacional, pois a perda da função pode causar parada imediata da unidade ou danos à equipamentos. Os sistemas aos quais estas bombas pertencem possuem uma proteção, denominado automatismo. As bombas que estão na reserva podem ser ligadas automaticamente pela atuação de um pressostato, situado em algum ponto do sistema, que atuam caso a pressão fique abaixo de determinado valor. Devido à alta criticidade, a atuação do automatismo é testada com a mesma frequência do rodízio que também é desejado estender.

Ensaio das Bombas: Foi reservado um tambor de óleo exclusivo para esse teste. O ensaio foi dividido em três etapas. Na etapa 1, a bomba ficou na reserva por uma semana, na etapa 2 por duas semanas e na etapa 3 por três semanas. A cada início de etapa, foi efetuada uma amostra do tambor para ser usado como referência de comparação. As amostras foram armazenadas em garrafas de 1 litro com vedação.

Análise do Óleo: A análise do óleo foi executada de forma qualitativa por inspeção visual e de forma quantitativa no equipamento Karl Fisher 756 KF Coulometer pelo laboratório de análises. O Karl Fisher 756 KF é um equipamento com capacidade de detectar a presença de baixas concentrações de água no óleo.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Escolha das Bombas: Conforme os critérios estabelecidos na metodologia. As bombas B-A1 a B-A5 estão localizadas na área A, já as B-B1 a B-B3 estão localizadas na área B. A Tabela 1 apresenta um resumo do atendimento dos critérios de seleção dos equipamentos.

	Acionamento Turbina	Produto Crítico	Automatismo	Critério Operacional	Biapoiadas	Localização
B-A1(T)	X	X				
B-A2		X		X		X
B-A3(T)	X		X			X
B-A4			X			X
B-A5		X			X	
B-B1		X				
B-B2		X				X
B-B3		X			X	

Tabela 1: Escolha dos Equipamentos

Ensaio das Bombas: Reservou-se um tambor de óleo exclusivo para a finalidade deste estudo. A cada troca de óleo, foi coletada uma amostra do tambor para comparação.

- **Etapa 1:** A bomba teve o óleo substituído e ficou na reserva por **uma semana**. Ao final desta semana, o óleo foi amostrado em um recipiente de 1 litro vedado e identificado. Em seguida, todo o óleo foi substituído dando início a etapa 2.
- **Etapa 2:** Com o óleo totalmente substituído, a bomba ficou na reserva por **duas semanas**. Ao final deste período, o óleo foi amostrado em um recipiente de 1 litro vedado e identificado e, em seguida, todo o óleo foi substituído dando início a etapa 3.
- **Etapa 3:** Com o óleo totalmente substituído, a bomba ficou na reserva por **três semanas**. Ao final deste período, o óleo foi amostrado em um recipiente de 1 litro vedado identificado. O nível da caixa foi repostado e a bomba ficou disponível para operação.

As bombas foram ensaiadas conforme os cronogramas apresentados nas Tabelas 2 e 3.

Etapa	Data Início	Data Fim
Etapa 1	29/03/2017	05/04/2017
Etapa 2	05/04/2017	19/04/2017
Etapa 3	19/04/2017	10/05/2017

Tabela 2: Cronograma do Ciclo 1 de Ensaio

As bombas biapoiadas, B-A5 e B-B3, não participaram do primeiro ciclo de amostragem, então elas tiveram calendário próprio:

Etapa	Data Início	Data Fim
Etapa 1	23/05/2017	30/05/2017
Etapa 2	30/05/2017	13/06/2017
Etapa 3	13/06/2017	04/07/2017

Tabela 3: Cronograma Ciclo 2 de Ensaio para as Bombas Biapoiadas

Durante a execução de cada etapa, algumas bombas precisaram operar por necessidade da produção. Neste caso, o procedimento foi refeito a partir do início da etapa de onde ele parou. A B-B3 foi utilizada durante a terceira etapa do teste e teve esta etapa repetida. Já as B-A5 e B-B3 precisaram entrar em operação durante a terceira etapa e não tiveram mais possibilidade de continuar no teste, devido à manutenção de longa duração nos equipamentos “B” (que deveriam estar em operação). Outro fato importante, é que

várias amostras não puderam ser acondicionadas na garrafa com vedação, pois ocorreu uma demora na análise do óleo pelo laboratório, devido à falta de reagente específico para o ensaio no Karl Fisher.

Análise do Óleo: Os ensaios realizados no laboratório de análise, equipamento Karl Fisher, obtiveram os resultados conforme apresentado na Figura 4 e na Figura 5. O valor de referência, em partes por milhão (ppm), considerado aceitável no teste foi 100 ppm pois, conforme Geinter e Bloch (2012), até este valor a vida útil do rolamento está estimada em 100% do valor calculado. Os resultados obtidos foram separados em dois gráficos distintos pois as bombas do Ciclo 1 (Figura 4) tiveram um comportamento diferente das do Ciclo 2 (Figura 5).

No Ciclo 1, foram ensaiadas as bombas com rotor em balanço que possuem apenas uma caixa de mancal. A amostra do tambor mostra que o óleo utilizado nas bombas já apresenta um teor de água por volta de 45 ppm. Em cada etapa do teste, é possível perceber que a maior parte das bombas apresenta aumento na quantidade de água no óleo. As bombas acionadas por turbina, B-A1(T) e B-A3(T), apresentam uma maior quantidade de água em todas as etapas, quando comparadas com as demais que são acionadas por motor (na etapa 3 elas se destacam). É notável também que, as bombas da Área A (A1, A2, A3) apresentam maior contaminação que as da Área B, uma vez que a área A possui mais vapores de água no ambiente. Mesmo assim, nenhuma destas bombas atingiu o limite de contaminação de 100 ppm.

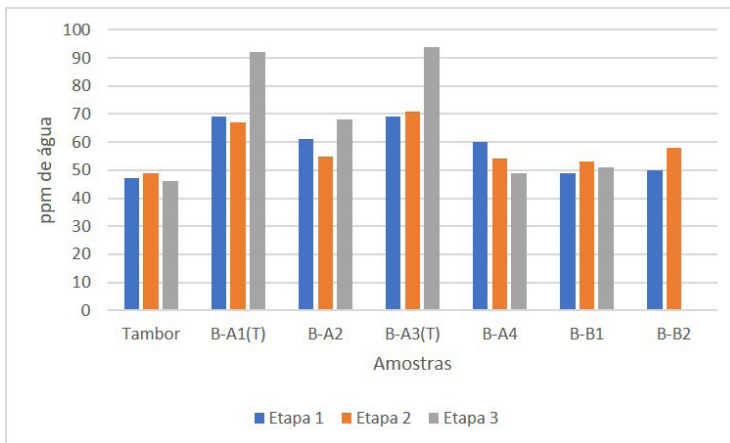


Figura 4: Índice ppm de Água no Óleo Ciclo 1.

Com base nos dados obtidos no Ciclo 2, verifica-se que as bombas biapoiadas não seguiram um padrão de contaminação, sendo que a maior parte delas ultrapassou o limite de 100 ppm, bem como o de 200 ppm que, segundo Geinter e Bloch (2012), reduz a

vida útil em 34%. Além disto, pelo menos duas amostras, a B-A5 (LA – etapa 1) e a B-B3 (LOA – etapa 3), apresentaram contaminação muito elevada demonstrada na presença de água livre no óleo, sendo esta situação a mais perigosa para o rolamento. Nesta situação, poderia ocorrer a falha catastrófica do rolamento e a consequente abertura abrupta do selo. Nestes equipamentos esta falha agravaria um cenário de emergência com vazamento de produto pois, como são biapoiadas, apresentam dois selos mecânicos com alto potencial de vazamento.

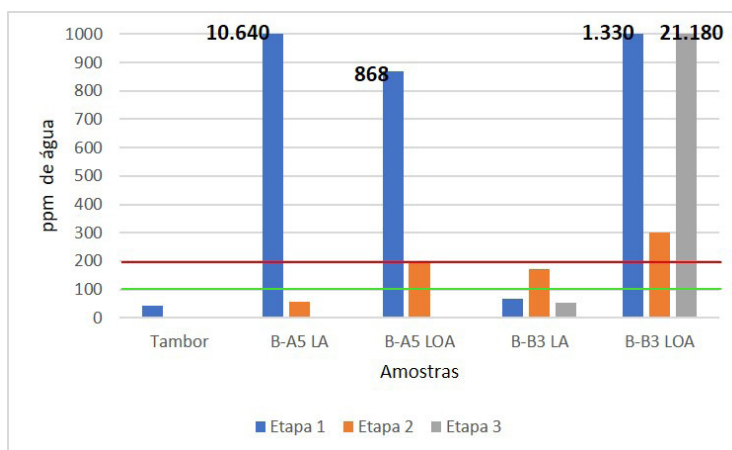


Figura 5: Índice ppm de Água no Óleo Ciclo 2 - Biapoiadas

Numa primeira avaliação, acreditou-se que as amostras haviam sido contaminadas com água no período de armazenamento, pois existiam garrafas sem vedação (comuns), enquanto aguardavam a disponibilidade do laboratório analisá-las. Porém, ao fazer a inspeção visual destas amostras, verificou-se que a contaminação estava presente tanto nas amostras das garrafas vedadas quanto das garrafas comuns. Uma das amostras, que apresentou 53 ppm, a B-B3 (LA – etapa 3), estava acondicionada na garrafa comum. Desta forma, a contaminação durante o período de armazenagem foi descartada. A Figura 6 também mostra que, visivelmente, a maior parte das amostras apresenta turbidez. Conforme Geinter e Bloch (2012), quando uma amostra de óleo apresenta turbidez, indica que a concentração de água ultrapassou 100 ppm, valor máximo aceitável nesse estudo, sendo assim foi desnecessária uma reanálise do óleo pelo laboratório.

Outra observação importante é que, cada mancal da mesma bomba apresentou uma contaminação muito divergente na mesma etapa do teste. A B-B3 (etapa 3), conforme observado na Figura 5, apresentou no mancal LA apenas 53 ppm de água, enquanto o mancal LOA apresentou 21.180 ppm, demonstrando que as bombas biapoiadas apresentaram um comportamento não esperado com essa diferença elevada de contaminação por mancal.

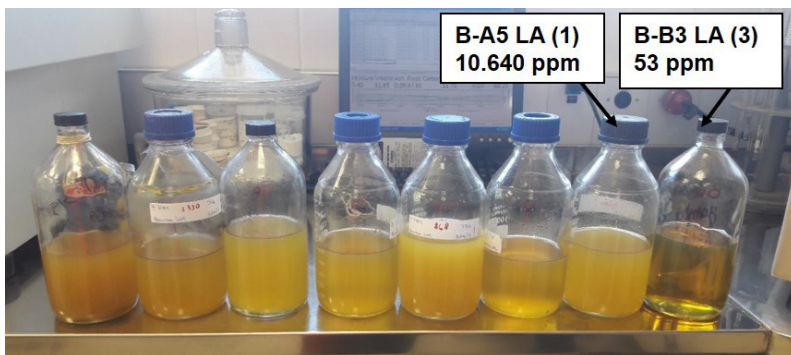


Figura 6: Amostras Ciclo 2 – Biapoiadas

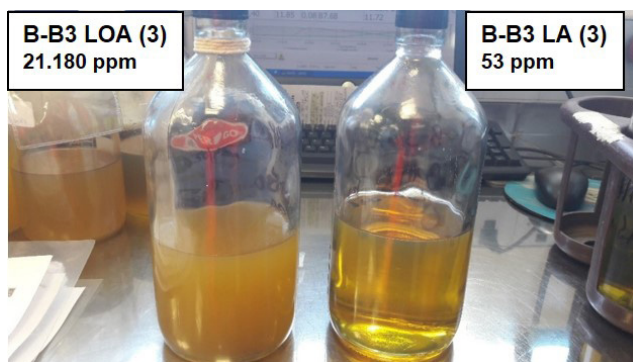


Figura 7: Bomba B-B3 Etapa 3 – Diferença de contaminação entre mancal LA e LOA

A partir dos resultados obtidos, conclui-se que é possível estender o rodízio das bombas com o impelidor em balanço, sem comprometer a segurança operacional e sem reduzir significativamente a vida útil do rolamento. As opções de rodízio são:

- 1x1: atualmente praticada, cada bomba opera por uma semana alternadamente
- 2x2: cada bomba opera por duas semanas
- 3x1: uma bomba é escolhida como a bomba base (ou titular) e opera por três semanas enquanto a outra fica na reserva. Numa determinada semana, as bombas são trocadas, condição que permanece apenas pelo período de uma semana. Desse modo, uma bomba vai operar por mais tempo que a outra, evitando que as duas cheguem juntas ao fim da vida útil.

Como o estudo demonstrou, num período de até três semanas, para as bombas que não alcançaram 100 ppm de contaminação de água no óleo, poderá ser recomendada a prática da rotina 3x1. No entanto, no que se refere a prevenir falha de rolamento, a atual prática de rodízio (1x1) tem se mostrado eficaz em manter a disponibilidade dos equipamentos. Assim sendo, a implementação da nova rotina (3x1) será feita com

acompanhamento da manutenção preditiva visando garantir que a disponibilidade será mantida.

Ainda que este estudo tenha sido realizado para atender uma solicitação da operação, a engenharia de manutenção tem como objetivo principal efetuar a substituição dos labirintos convencionais pelo selo de caixa de mancal, promovendo a vedação total destas caixas. Sendo assim, a segunda recomendação é de que, sempre que a bomba saia para manutenção, os labirintos sejam substituídos pelo selo. A vedação completa é feita fechando o respiro da caixa para atmosfera e fazendo a equalização com o copo de óleo. No entanto, esta adaptação pode ser feita no local onde a bomba está instalada, ao contrário do selo, que só poderá ser instalado na ocasião de remoção da bomba para a oficina. Dessa forma, o setor de manutenção mecânica deverá garantir que todas as bombas só possam ser instaladas na área com o selo.

As bombas biapoiadas apresentaram uma contaminação muito elevada com quantidades de água que não garantem a segurança operacional. Deste modo, estas bombas só poderão ter o rodízio estendido após a vedação das caixas. Para isto, já que elas são em menor quantidade, terão prioridade de instalação da vedação perante outros equipamentos.

4 | CONCLUSÃO

As bombas centrífugas são equipamentos essenciais para o funcionamento de determinadas indústrias. Garantir a sua disponibilidade de operação é uma tarefa conjunta que o setor de produção e de manutenção realizam por meio da aplicação de boas práticas. O rodízio de operação de bombas é uma destas boas práticas, cuja finalidade é verificar a situação do equipamento (identificação de falha oculta) por análise de vibração, inspeção visual, dentre outros métodos. Nas bombas centrífugas, com a lubrificação dos mancais por banho de óleo e selagem da caixa feita por labirintos, o rodízio atua como medida paliativa para um problema que até pouco tempo não possuía solução tecnológica satisfatória. A vedação das caixas de mancal lubrificadas por banho de óleo não era confiável com os produtos disponíveis no mercado. Assim sendo optou-se, durante longo período, por manter a selagem por labirintos, que são eficientes para evitar o vazamento de óleo, mas apresentam uma possibilidade de contaminação do óleo com água quando estão na reserva.

Estender o período do rodízio é de interesse do setor de produção e da manutenção. No entanto, embora exista um modelo de selo para caixa de mancais com desempenho bastante satisfatório, a substituição destas vedações ocorre por ocasião, quando a bomba vai para a manutenção, o que demanda um período de vários anos para que seja possível realizar em todas as bombas. Desta forma, decidiu-se fazer o presente estudo para avaliar o real nível de contaminação do óleo com água quando as bombas estão na reserva.

O estudo foi realizado por amostragem. As bombas foram escolhidas conforme critérios operacionais, ambientais, risco quanto ao produto, tipo de acionamento, dentre outros. O estudo foi realizado em dois ciclos. O ciclo 1 para as bombas com rotor em balanço, que possuem apenas uma caixa de mancal, e o ciclo 2 para as bombas biapoiadas, que possuem duas caixas de mancal. Algumas bombas, devido a condições operacionais, não concluíram as três etapas do teste. Os resultados encontrados para cada grupo de bombas foram diferentes.

As bombas do ciclo 1 apresentaram baixo nível de contaminação, não alcançando 100 ppm de água no óleo, o que garante a operação com segurança, além de não impactar na vida útil do rolamento. As bombas do ciclo 2 apresentaram um elevado nível de contaminação. Em algumas amostras ocorreu a presença de água livre, a situação de maior risco.

A partir dos resultados encontrados concluiu-se que, para as bombas do ciclo 1 é possível estender o rodízio para o período máximo praticado (3x1). Já as bombas biapoiadas, só poderão ter o período de rodízio alterado após aplicação da vedação da caixa de mancais. Ainda assim, para os dois conjuntos de bombas, será preciso manter o acompanhamento da manutenção, uma vez que, como uma rotina comprovadamente eficaz será substituída, é necessário que seja feita uma fase de testes. Outra recomendação é que seja implementada uma sistemática na manutenção que garanta a substituição dos labirintos pelo selo de caixa de mancal, pois mesmo que esse estudo tenha demonstrado que o nível de contaminação é baixo, ele continua existindo, e, para a lubrificação em banho de óleo, o selo é a solução tecnológica mais apropriada para garantir a vida útil do rolamento, segurança operacional e a maior disponibilidade do equipamento.

REFERÊNCIAS

BLOCH, H.P. **Petrochemical Machinery Insights**. Elsevier, 2017

BUDYNAS, R.G.; NISBETT, J.K.. **Elementos de Máquinas de Shigley – Projeto de Engenharia Mecânica**. USA, Bookman, 8ª Edição, 2008

GEITNER, F.K.; BLOCH, H. P. **Machinery Failure Analysis and Troubleshooting**. 4ª Edition, Elsevier, 2012

KARASSIK, I. J. *et al.* **Pump Handbook Second Edition**, USA, 1986.

MACINTYRE, A.J. **Bombas e instalações de bombeamento**. Rio de Janeiro, 2ª Edição revista, LTC, 2014

MATTOS, E. E.; FALCO, R. **Bombas Industriais**. Rio de Janeiro, Interciência, 1998

MC NALLY, W. **Troubleshooting the ball bearings in a centrifugal pump**. World Pumps, p 28-29, Elsevier, 2006

NOBREGA, P. R. L. **Aumento da TMEF em mancais de bombas centrífugas**. 9º Fórum de Turbomáquinas, 27 a 30 de agosto de 2013, Rio de Janeiro

NSK, **Rolamentos**. Catálogo, 2013

RODDIS, A. **Reducing moisture contamination in bearing lubrication**. Sealing Technology, p 6-9, Elsevier, 2006

SKF, **Bearings in Centrifugal Pumps – Application Handbook**. USA, Version 8, 2012

CAPÍTULO 6

MODELAGEM E SIMULAÇÃO DA EXTRAÇÃO DE ÓLEO ESSENCIAL DE CITRONELA UTILIZANDO CO₂ SUPERCRÍTICO E MODELO DE SOVOVÁ

Data de aceite: 01/09/2020

Data de submissão: 05/06/2020

Wesley de Souza Rodrigues

Universidade Federal do Espírito Santo
Departamento de Engenharias e Tecnologia
São Mateus-ES
<http://lattes.cnpq.br/1477854715722697>

Carlos Minoru Nascimento Yoshioka

Universidade Federal do Espírito Santo
Departamento de Engenharias e Tecnologia
São Mateus-ES
<http://lattes.cnpq.br/6948945548186089>

Ana Beatriz Neves Brito

Universidade Federal do Espírito Santo
Departamento de Engenharias e Tecnologia
São Mateus-ES
<http://lattes.cnpq.br/3606604113019271>

RESUMO: O óleo essencial de citronela (*Cymbopogon winterianus* Jowitt) é amplamente utilizado graças às suas propriedades, sendo diversamente utilizado nas indústrias para produção de cosméticos, medicamentos entre outros. A citronela, dentre todos os seus usos é largamente utilizada na produção de repelentes de insetos, graças a sua ação biopesticida. Tal extração se dá através de alguns métodos, sendo a destilação por arraste a vapor a mais utilizada, porém tal processo não é isento de impurezas e reações indesejáveis. Para contornar tal situação, a extração usando fluido supercrítico

(EFS) está crescendo cada vez mais no meio industrial. Tal processo é caracterizado como um que possui uma obtenção de produtos sem resíduos químicos e com um melhor rendimento se comparado aos demais. Este trabalho tem como objetivo, estudar o processo de extração de óleo essencial de citronela com CO₂ (dióxido de carbono), sendo este utilizado como o fluido supercrítico, visando obter uma comparação do mesmo com a extração por arraste a vapor. Tal escolha pelo CO₂ no estado supercrítico, se deve a suas características superiores em comparações aos demais solventes, e entre suas características, pode-se destacar o fato do seu ponto crítico estar em ótimas condições de trabalho, a atoxicidade e não-inflamabilidade do fluido. Para essa simulação do processo em estado supercrítico será utilizado o software MATLAB e o modelo de SOVOVÁ.

PALAVRAS CHAVES: Fluido Supercrítico, Óleo Essencial, Citronela, Simulação.

MODELING AND SIMULATION OF CITRONELLA ESSENTIAL OIL EXTRACTION USING SUPERCRITICAL CO₂ AND SOVOVÁ MODEL

ABSTRACT: The Citronella essential oil (*Cymbopogon winterianus* Jowitt) is widely used thanks to its properties, being used in various industries for the production of cosmetics, medicines and others. Citronella, among all its uses, is widely used in the production of insect repellents, thanks to its biopesticidal action. Such extraction takes place through some methods, steam distillation being the most used, however, this process is not exempt from impurities and

undesirable reactions. To overcome this situation, extraction using supercritical fluid (EFS) is growing more and more in the industrial environment. Such a process is characterized as one that obtains products without chemical residues and with a better yield compared to the others. This work aims to study the process of extracting essential oil of citronella with CO₂ (carbon dioxide), which is used as the supercritical fluid, aiming to obtain a comparison of it with the extraction by steam dragging. Such choice for CO₂ in the supercritical state, is due to its superior characteristics in comparison to the other solvents, and among its characteristics, it can be highlighted the fact that its critical point is in excellent working conditions, the atoxicity and non-flammability of the fluid. For this simulation of the process in a supercritical state, MATLAB software and SOVOVÁ Model will be used.

KEYWORDS: Supercritical Fluid, Essential Oil, Citronella, Simulation.

1 | INTRODUÇÃO

Os óleos essenciais possuem diversas utilizações no mercado mundial, e são principalmente utilizados em grande escala em indústrias de cosméticos, perfumarias, farmacêuticas e alimentícias. Tal fato se deve as suas propriedades aromáticas e terapêuticas, que agregam alto valor a esses produtos (SPRICIGO, 1998). A pesquisa sobre óleos essenciais no Brasil vem crescendo gradativamente nesses últimos anos, sendo o Brasil um dos quatro maiores produtores de óleos essenciais do mundo, ao lado de Indonésia, Índia e China.

O óleo extraído das folhas de citronela é em média composto principalmente de citrônol (40%) e geraniol (10%) no *Cymbopogon winterianus* e geraniol (20%) e limoneno (10%) no *Cymbopogon nardus*, tal composição diferente também distingue os principais usos de cada espécie (CASTRO *et al*, 2010).

Para a extração dos óleos essenciais, vários métodos são usados para a obtenção desse produto como a destilação a vapor ou arraste a vapor, prensagem a frio, hidrodestilação, cristalização, extração por solventes, enflourage e por fluidos supercríticos. Destes citados acima, o método mais utilizado para a extração de óleos essenciais é a destilação a vapor. Tal escolha se dá pela simplicidade do processo e baixo custo. Em contrapartida, tal método de extração, tem diversas desvantagem no seu uso como o baixo rendimento na extração, reações de esterificação e hidrólise e elevada temperatura de funcionamento, que podem alterar o produto final (CRAMPTON *et al*, 2012).

Uma alternativa que vem sendo utilizada para corrigir tais desvantagens no processo de extração é a utilização de fluidos supercríticos na extração de óleos essenciais. Além de suprir tais desvantagens, a extração supercrítica é um método seguro e rápido. Como desvantagem do processo, pode-se citar o seu alto custo de operação, fazendo assim com que não seja muito usada na indústria (SPRICIGO, 1998)

Este trabalho tem como objetivo aplicar todo o conceito de fluidos supercríticos e utilizá-lo na simulação da extração de óleo essencial de citronela usando CO₂ em estado supercrítico e com os dados obtidos, comparar com a extração de citronela por arraste a vapor. Podendo assim ver o comportamento e as diferenças entre os dois métodos.

2 | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Segundo SERAFINI e CASSEL (2001) óleos essenciais são definidos como o material volátil presente em frutos, folhas, flores entre outras partes das plantas. A citronela (Figura 1) é uma planta aromática muito utilizada no Brasil em outros países e é o nome popular dado a duas espécies: *Cymbopogon nardus* e *Cymbopogon Winterianus Jowitt* conhecidas como citronela de Ceilão.

Quanto as suas propriedades físico- químicas (Tabela 1), em comparação com a água tem-se que o óleo de citronela possui uma densidade menor que a da água ($1\text{g}/\text{cm}^3$), o índice de refração é maior que a da água (aproximadamente 1,33) e quanto sua viscosidade o óleo de citronela é mais viscoso que a água.



Figura 1 - *Cymbopogon winterianus* Jowitt. Fonte: AUTOR (2017)

Forma	Fluida
Cor	Amarelo claro
Odor	Característico
Ponto de fulgor	52°C
Densidade	0,875 a 0,895 g/cm ³
Solubilidade	Pouco solúvel em água
Índice de refração	1,4660 a 1,4800
Rotação angular	-10° a + 5°

Tabela 1 - Propriedades Físico – químicas do óleo essencial de citronela.

Adaptado de <http://www.riken.com.br/>

FURTADO *et al* (2005) testou o efeito do óleo de citronela no combate ao mosquito *Aedes Aegypti* causador da Dengue, obtendo um resultado satisfatório pois o mesmo foi

efetivo tanto na proteção contra o mosquito vetor da dengue quanto no combate de suas larvas, obtendo uma mortalidade de 90% num período de 24 horas de exposição.

O processo de extração de óleos essenciais por meio de fluidos supercríticos, vem ganhando um grande destaque nos últimos anos e o fato de ser um método que usa tecnologia limpa, atóxica e não residual, fez com que essa extração seja utilizada principalmente em indústrias alimentícias e farmacêuticas onde o produto deve ter uma qualidade ótima. Os solventes mais utilizados nessa extração são o propano, benzeno, etileno, nitrogênio, óxido nitroso, monoclorofluormetano e dióxido de carbono (RIVAROLA, 2009), esse último citado é o mais utilizado para tal processo.

O processo começa com a preparação do solvente para que assim chegue a fluido supercrítico por ajustes de pressão e temperatura, esse solvente flui para o extrator onde assim solubiliza a matriz sólida das plantas, após a passo solvente é recuperado mediante a variações de pressão separando assim do óleo extraído, o solvente assim pode ser reciclado e ser usado novamente para um novo ciclo de extração, por fim depois de passar pelos ciclos e ter sido totalmente extraído o produto de desejo é coletado no separador (Figura 2).

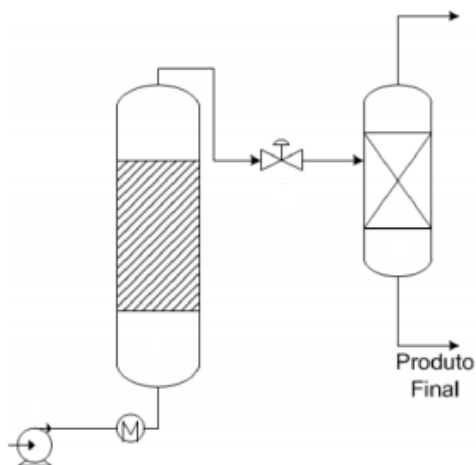


Figura 2 - Desenho esquemático de um processo de extração supercrítica. (Adaptado de DINIZ, 2013).

No processo de extração de óleos essenciais muitas vezes é necessário o acompanhamento minucioso de todo processo, para assim compreender melhor o processo e descobrir se o solvente escolhido consegue extrair boa parte do produto desejado ao final da extração ou se o processo possui um bom rendimento nas condições aplicadas (DINIZ, 2013). O acompanhamento é feito por uma curva de extração, plotada a partir da quantidade de extrato obtido por tempo de extração ou por quantidade de solvente utilizado

na extração. Tal curva é chamada de Curva de Extração Global (OEC, Overall Extraction Curve) e pode ser dividida em três regiões distintas (Figura 3): CER (Constant Extraction Rate), FER (Falling Extraction Rate) e DC (Diffusion Controlled).

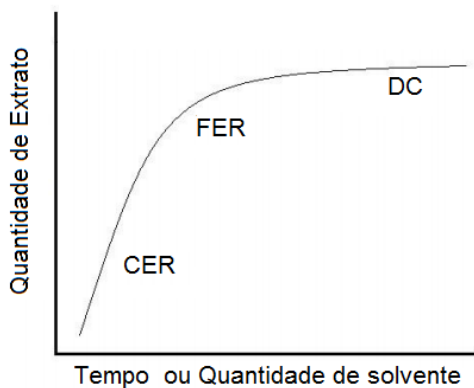


Figura 3 - Curva de extração supercrítica separada pelas suas etapas. Adaptado de BRUNNER (1994).

No início da curva de extração tem-se um período onde a taxa de extração é constante (CER), nessa etapa o soluto de fácil acesso é extraído e tem-se a convecção como o mecanismo de transferência de massa dominante. Ao longo da extração a curva chega em um ponto onde a taxa de extração é decrescente (FER), nessa etapa começa a aparecer falhas do soluto que envolvem superficialmente a matriz tem-se portanto o início do mecanismo de difusão que junto com a convecção atuam nessa etapa (DOGENSKI et al., 2013). Ao fim da curva ocorre o período de difusão controlada (DC) onde a taxa de extração é praticamente nula, nessa etapa a transferência de massa no processo ocorre difusão.

3 | DADOS EXPERIMENTAIS UTILIZADOS

Neste trabalho, serão utilizados os dados obtidos por CASSEL e VARGAS (2006), para analisar e comparar o rendimento da extração por fluido supercrítico com os dados da extração por arraste a vapor encontrados pelo autor. Para essa extração CASSEL e VARGAS (2006) extraiu o óleo de uma amostra de 0,040 Kg, que foi destilada durante 114 min obtendo-se os seguintes valores para essa extração:

Com os valores de volume extraído no processo durante esse tempo, CASSEL e VARGAS, foi possível determinar a massa do óleo extraído através da densidade do óleo que aproximadamente 0,85 g/mL.

No desenvolvimento desse modelo, CASSEL e VARGAS (2006) fizeram algumas considerações tais como: a etapa controladora no processo de transferência de massa era a difusão, a distribuição do óleo essencial era homogênea em toda a folha no início da extração, a lei da Fick da difusão modela o processo difusivo; após o início da extração não há resistência à transferência de massa da superfície da planta para o vapor e a concentração de óleo na fase vapor é muito baixa e, portanto será considerada nula. Obtendo-se então a seguinte equação para o grau de extração do óleo essencial, dado pela Equação 1:

$$e(t) = \frac{m(t)}{m(\infty)} = \frac{\sum_{m=0}^{\infty} \frac{1-e^{\left(-\frac{(2m+1)^2\pi^2Dt}{L^2}\right)}}{(2m+1)^2}}{\sum_{m=0}^{\infty} \frac{1}{(2m+1)^2}} \tag{1}$$

Sendo:

D = coeficiente de difusão do óleo na fase sólida

L = espessura da planta

t = tempo

A Tabela 2 apresenta os resultados para a extração do óleo essencial da citronela por arraste a vapor obtidos por CASSEL e VARGAS (2006) utilizando a Equação 1:

t (s)	m (g)	Rendimento
0	0	0
180	0,085	0,002125
360	0,170	0,004250
540	0,340	0,008500
720	0,425	0,010625
990	0,510	0,012750
1260	0,595	0,014875
1530	0,680	0,017000
2160	0,765	0,019125
3960	0,850	0,021250
5400	0,935	0,023375
6840	1,020	0,025500

Tabela 2 - Dados da extração por simulação matemática do óleo de citronela por arraste a vapor por CASSEL e VARGAS (2006)

Com a apresentação desses dados no trabalho então se utilizará a simulação da extração por fluido supercrítico para a comparação com os dados de extração por arraste a vapor encontrados por CASSEL e VARGAS (2006) tanto pelo modelo matemático quanto para a extração experimental.

4 | MODELAGEM MATEMÁTICA

Os modelos matemáticos permitem generalizar os resultados experimentais, logo com um modelo adequado pode-se descrever e analisar o processo de extração por fluido supercrítico com o auxílio de um software específico. Nesse trabalho utilizou o software MATLAB, para a simulação do processo de extração supercrítica da citronela usando o CO₂ utilizando o modelo matemático descrito a seguir.

O modelo de SOVOVÁ (1994) é caracterizado por mostrar o modelo de extração para cada etapa anteriormente mostrada:

$$y(t) = \begin{cases} \dot{Q}_{CO_2} y_r t [1 - \exp(-z)], & \text{para } t < t_{CER} \\ \dot{Q}_{CO_2} y_r [t - t_{CER} \exp(z_w - z)], & \text{para } t_{CER} \leq t < t_{FER} \\ N \left[x_o - \frac{y_r}{W} \ln \left\{ 1 + \left[\exp\left(\frac{W x_o}{y_r}\right) - 1 \right] \exp\left(\frac{W \dot{Q}_{CO_2} x_k}{N x_o} [t_{CER} - t]\right) \right\} \right], & \text{para } t_{FER} \leq t \end{cases} \quad (2)$$

Sendo a primeira equação referente à etapa de taxa de extração constante (CER), a segunda equação referente à etapa de taxa de extração decrescente (FER) e a última equação referente à etapa de difusão controlada (DC).

JOCHMANN (2000) observou a influência do tempo de extração, vazão de solvente, temperatura e pressão de operação na extração supercrítica de oleoresina de calêndula através do modelo de SOVOVÁ (1994).

O modelo é dado inicialmente pelo balanço de massa tanto na fase sólida quanto na fase fluída respectivamente:

$$\frac{dX}{dt} (1 - \varepsilon) = \frac{-J(X, Y)}{\rho_s} \quad (3)$$

$$\frac{\partial Y}{\partial h} = \frac{J(X, Y)}{\rho_f U} \quad (4)$$

Sendo:

ε = Porosidade do leito

$J(X, Y)$ = Taxa de transferência de massa interfacial

ρ_s = Densidade da fase sólida

t = Tempo

X = Razão mássicas de soluto na fase sólida

Y = Razão mássica de soluto na fase fluída

h = Comprimento do leito

ρ_f = Densidade da fase fluída

U = Velocidade superficial do solvente

Foram utilizadas as seguintes condições iniciais e de contornos para a resolução dessa equação diferencial:

$$X(h, t = 0) = X_0 \quad (5)$$

$$Y(h, t = 0) = 0 \quad (6)$$

$$Y(h = 0, t) = 0 \quad (7)$$

Temos portanto que x_0 é a razão mássica inicial do soluto na fase sólida, logo no início da extração todo o soluto encontra-se na fase sólida. Enquanto para a fase fluida não há nenhum soluto em momento algum na extração.

Tratando então cada etapa específica da extração ou seja, observando o comportamento da extração nas três regiões divididas mostradas anteriormente (CER, FER e DC) temos as seguintes equações para cada etapa:

$$\dot{Q}_{co_2} y_r t [1 - \exp(-z)], \text{ para } 0 \leq t < t_{CER} \quad (8)$$

$$\dot{Q}_{co_2} y_r [t - t_{CER} \exp(z_w - z)], \text{ para } t_{CER} \leq t < t_{FER} \quad (9)$$

$$N \left[X_0 - \frac{y_r}{W} \ln \left\{ 1 + \left[\exp\left(\frac{W X_0}{y_r}\right) - 1 \right] \exp\left(\frac{W \dot{Q}_{co_2} x_k}{N X_0}\right) [t_{CER} - t] \right\} \right] \quad (10)$$

Sendo:

$\dot{Q}_{CO_2}$ = Vazão do solvente.

y_r = Solubilidade.

t = Tempo.

z = Adimensional da superfície de contato do sólido .

t_{CER} = Tempo do período de taxa constante.

z_w = Porção da matéria prima que não contém mais soluto de fácil acesso.

t_{FER} = Tempo do período de taxa decrescente.

N = Massa de sólido inerte.

X_0 = Razão mássica inicial do soluto.

W = Adimensional da difusão.

X_k = Razão mássica do soluto dentro das células.

Para a simulação do modelo proposto por SOVOVÁ (1994) foi considerado que a extração aconteceria com os mesmos 0,040 Kg do experimento de CASSEL e VARGAS (2006) para a extração do óleo essencial de citronela. Para a extração foi considerado que a mesma ocorreu na temperatura de 313 K e pressão de 300 bar. Com isso usou-se os dados obtidos por GALVÃO (2004) mostrados na Tabela 3 a seguir:

Parâmetros	Simbologia	Valor
Solubilidade do óleo	Yr	0,013 g óleo/g CO ₂
Constante de transferência de massa da fase fluida	Z	0,046
Vazão média do solvente	QCO ₂	1,2 g CO ₂ /min
Tempo de extração	t	114 min
Constante de transferência de massa da fase sólida	W	0,0929
Razão Mássica de soluto e da fase inerte	Xo	0,1375 g soluto/ g solido inerte
Massa de Sólido livre	N	40 g
Razão Mássica de soluto dentro da célula e da fase sólida inerte	X _k	0,012 g soluto/ g solido inerte
Porosidade do Leito	□	0,4
Densidade real do CO ₂	□	0,55 g/ cm ³

Tabela 3 – Parâmetros do modelo de extração de SOVOVÁ (1994) usados para a simulação computacional.

5 I RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com os dados acima e as equações do modelo descritas anteriormente e com o auxílio do software de destaque foi possível prever a estrutura da curva de extração supercrítica e a sua comparação com as curva de extração por arraste a vapor, podendo ser vista na Figura 4.

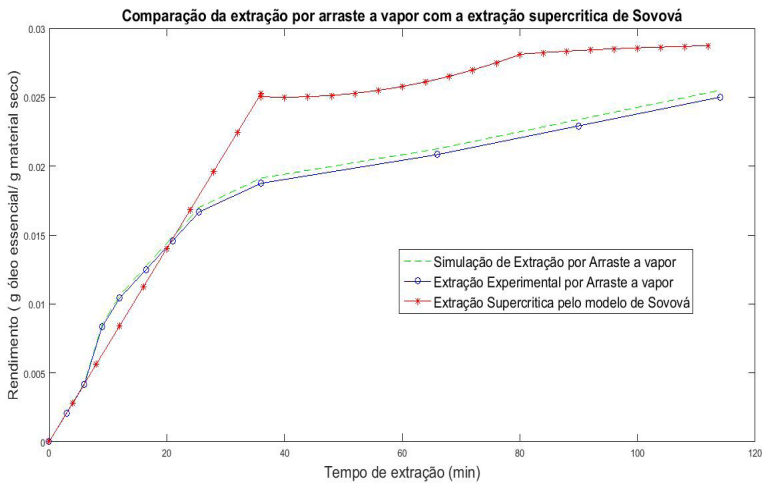


Figura 4 - Curva de rendimento da extração supercrítica de óleo essencial de citronela pelo método de SOVOVÁ (1994) e sua comparação com as extrações de Cassel.

A Figura 4 traz a extração de óleo essencial de citronela utilizando o modelo proposto por SOVOVÁ (1994). Nesse modelo pode-se observar que o rendimento da extração se comparada ao arraste a vapor é maior assim foi tratado, obteve-se um rendimento de aproximadamente 2,9% enquanto a de arraste a vapor que está a 2,5%.

Pela figura também consegue se observar claramente todas as 3 etapas de extração, sendo que no início da extração é uma reta constante e com isso pode-se observar que para esse modelo que o tempo de extração constante é aproximadamente 36 min. Após a extração constante a curva chega onde seu comportamento não é mais linear, tal etapa é denominada extração decrescente e assim como a etapa anterior também existe um tempo para essa etapa, que é aproximadamente 80 min. Ao final da curva o gráfico mostra uma região com acréscimo quase nulo de extração, mostrando assim que a etapa controlada por difusão atendeu sua característica.

6 | CONCLUSÕES

Neste trabalho foi proposto um modelo matemático para a representação do processo de extração supercrítica de óleo essencial de citronela. Sendo ainda possível analisar o rendimento da extração se comparado com a extração por arraste a vapor.

O modelo de SOVOVÁ (1994) obteve um valor acima da curva de extração a ser comparada, sendo portanto modelo promissor para a extração do óleo essencial de citronela, obtendo valores de 2,9% para SOVOVÁ (1994). Confirmando-se assim a superioridade do processo supercrítico. Vale relembra que o Modelo SOVOVÁ (1994) prediz o comportamento da curva de extração em cada etapa além de atribuir os balanços diferenciais de massa durante a extração.

Assim, a extração de óleo essencial de citronela com o uso de fluido supercrítico é um processo que apesar de possuir um custo operacional mais caro possui um maior rendimento se comparado com a extração por arraste a vapor. Com isso o uso de técnicas de extração supercrítica em escala industrial vem sendo muito estudado por diversos autores, mostrando assim a sua crescente pesquisa para o uso futuro.

REFERÊNCIAS

BRUNNER, G. **Stofftrennung mit überkritischen Gasen (Gasextraktion)**. Chemie-Ingenieur-Technik, 1987, 59, 12–22.

BRUNNER, G. **Gas extraction. An introduction to fundamentals of supercritical fluids and the application to separation processes**. New York, 1994.

CASSEL, E.; VARGAS, R.M.F. **Experiments and Modeling of the Cymbopogon Winteranius Essential Oil Extraction by Steam Distillation**, J. Mex. Chem. Soc, 50 (2), 57-60 (2006).

CASTRO, H.G; PERINI, V.G.B; SANTOS, G.R; LEAL, T.C.A.B. **Avaliação do teor e composição do óleo essencial de *Cymbopogon nardus* (L.) em diferentes épocas de colheita.** Rev. Ciênc. Agron. Fortaleza, v. 41, n. 2, p. 308-314, 2010.

CRAMPTON, C.; MOUAHID, A.; TOUDJ, S. A.; LÉPINE, O. BADENS, E. **Influence of pretreatment on supercritical CO₂ extraction from *Nannochloropsis oculata*.** J. of Supercritical Fluids. 2012.

DINIZ, T.T.G. Obtenção de Extratos de Folhas de Pitanga (*Eugenia uniflora* L.) e de Alecrim – Pimenta (*Lippia sidoides* Cham.) por Extração Sequencial em Leito Fixo usando CO₂ Supercrítico, Etanol e Água como Solventes. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2013.

DOGENSKI, M.; OLIVEIRA, A. L.; CONCEIÇÃO, G. J. A.; MORAES, L. A. B. **Extração do óleo essencial e oleoresina das folhas de *Corymbia citriodora* utilizando CO₂ em condições sub e supercríticas.** Universidade de São Paulo. 2013.

FURTADO, R. F.; LIMA, M. G. A.; ANDRADE NETO, M.; BEZERRA, J. N. S.; SILVA, M. G. V **Atividade larvívica de óleos essenciais contra *Aedes aegypti* L. (Diptera: Culicidae).** Neotropical Entomology, v. 34, n. 5, p. 843-847. 2005

JOCHMANN, A. **Extração Supercrítica de Oleoresina de Calêndula (*Calendula officinalis*).** Universidade Federal de Santa Catarina, 2000.

RIVAROLA, F.W.R. **Desenvolvimento de uma Planta Piloto de Desasfatação Supercrítica para Valoração de Petróleos Pesados e Estudo do Processo de Agregação dos Asfaltenos.** Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento de Processos Químicos) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Química, Universidade de Campinas, Campinas, 2009.

SERAFINI, L.A.; CASSEL, E. **Produção de Óleos Essenciais: Uma Alternativa para a Agroindústria Nacional** In: SERAFINI, L.A., BARROS, N. e AZEVEDO, J. (org.), Biotecnologia na Agricultura e na Agroindústria, Guaíba, Livraria e Editora Agropecuária, 2001.

SOVOVÁ, H. **Rate of the vegetable oil extraction with supercritical CO₂ – I. Modelling of extraction curves.** Chemical Engineering Science, v. 49, n. 3, p. 409–414, 1994.

SPRICIGO, C.B. **Extração de óleo essencial de noz moscada com dióxido de carbon a altas pressões,** Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Florianópolis, 1998.

CAPÍTULO 7

COMPARTILHANDO CONHECIMENTOS: A BIOCLIMATOLOGIA E A PRODUÇÃO ANIMAL

Data de aceite: 01/09/2020

Data de submissão: 04/06/2020

Diego Gomes de Sousa

Engenharia de Biossistemas
Universidade Federal de Campina Grande
Campus Sumé – Paraíba
Campina Grande - Paraíba
<http://lattes.cnpq.br/4771561392512643>

Tiago Gonçalves Pereira Araújo

Professor da UATEC/CDSA
Universidade Federal de Campina Grande
Campus Sumé – Paraíba
Boa Vista - Paraíba
<http://lattes.cnpq.br/3164960594435399>

Levi Wallace Sousa de Lima

Engenharia de Biossistemas
Universidade Federal de Campina Grande
Campus Sumé – Paraíba
Serra Branca - Paraíba
<http://lattes.cnpq.br/0571959579873962>

José Walber Farias Gouveia

Engenharia de Biotecnologia e Bioprocessos
Universidade Federal de Campina Grande
Campus Sumé – Paraíba
Serra Branca - Paraíba
<http://lattes.cnpq.br/1984830349119190>

Marthylna Diniz Arruda

Engenharia de Produção
Universidade Federal de Campina Grande
Campus Sumé – Paraíba
Serra Branca - Paraíba
<http://lattes.cnpq.br/7704653607344619>

Brendo Júnior Pereira Farias

Engenharia de Biossistemas
Universidade Federal de Campina Grande
Campus Sumé – Paraíba
Serra Branca - Paraíba
<http://lattes.cnpq.br/4233901573296170>

Agenor Correia de Lima Junior

Zootecnista da UATEC/CDSA
Universidade Federal de Campina Grande
Campus Sumé – Paraíba
São Sebastião do Umbuzeiro
<http://lattes.cnpq.br/3896976385623106>

Rômulo Augusto Ventura da Silva

Professor da UATEC/CDSA
Universidade Federal de Campina Grande
Campus Sumé – Paraíba
Monteiro - Paraíba
<http://lattes.cnpq.br/8582462480907852>

Ely Félix de Sá Carneiro

Engenharia Agrícola
Universidade Federal de Campina Grande
Campus de Campina Grande – Paraíba
Campina Grande - Paraíba
<http://lattes.cnpq.br/4910768481827603>

João Victor Inácio dos Santos

Tecnologia em Agroecologia
Universidade Federal de Campina Grande
Campus de Sumé – Paraíba
Monteiro – Paraíba
<http://lattes.cnpq.br/2377000357214047>

Ana Cristina Chacon Lisboa

Professora da UATEC/CDSA
Universidade Federal de Campina Grande
Campus Sumé – Paraíba
Campina Grande - Paraíba
<http://lattes.cnpq.br/8564038277168467>

RESUMO: Diante do crescente cenário agropecuário no Brasil e na região Nordeste, mais especificamente, no semiárido paraibano, percebe-se uma grande tendência ao uso de tecnologias na produção animal, no sentido de buscar índices mais satisfatórios e, conseqüentemente, melhorias nos resultados produtivos, visando a maximização dos lucros. Partindo desse pressuposto, este artigo objetiva apresentar resultados parciais do projeto de extensão “Compartilhando Conhecimentos com a Escola Agrotécnica de Sumé-PB”, desenvolvido com o intuito de ampliar os saberes dos alunos e de seus familiares acerca da produção animal e dos manejos adequados para um maior e melhor rendimento produtivo. Para tanto, através da oficina “A Bioclimatologia e a Produção Animal”, foram realizadas aulas de campo nas quais os participantes puderam conhecer os equipamentos utilizados para monitoramento climático, observando a interferência do clima no desempenho animal. Os resultados dessa ação interventiva revelam a importância do aprofundamento dos debates sobre a Bioclimatologia, como forma de demonstrar a eficácia da utilização dessas técnicas e práticas na propriedade rural, pois, além de proporcionar o bem-estar animal, contribuem para que os animais consigam expressar ao máximo seu potencial genético e produtivo dentro de sua zona de conforto, evitando perdas na produção animal e gerando lucro por meio da atividade.

PALAVRAS-CHAVE: Climatologia, Fisiologia animal, Sustentabilidade.

SHARING KNOWLEDGE: BIOCLIMATOLOGY AND ANIMAL PRODUCTION

ABSTRACT: In the view of the growing agricultural scenario in Brazil and the Northeastern region, more specifically, the semiarid from Paraíba, we notice a great tendency to the use of technologies in animal production, in the sense of searching for more satisfactory rates and, consequently, improvement in the productive results, aiming at maximizing profits. Starting from this assumption, this paper aims to present partial results of the extension project named “Sharing Knowledge with the Agrotechnical School from Sumé – Paraíba”, developed with the purpose of widening the knowledge of students and their families about animal production and proper management for a higher and better productive yield. To do so, through the workshop “Bioclimatology and Animal production”, it were made field classes in which participants could get to know equipment used for climate monitoring, observing climate interference in animal performance. The results of this interventional action reveal the importance of the deepening of debates about bioclimatology as a means to demonstrate the efficacy of the use of such techniques and practices in the rural property, since, besides providing animal welfare, they contribute for the animals’ maximum genetics and productive performance demonstration within their comfort zone, avoiding losses in animal production and generating profit through the activity.

KEYWORDS: Climatology, Animal physiology, Sustainability.

1 | INTRODUÇÃO

A universidade é tida como um espaço de construção de saberes técnico-científicos, destinando-se à formação profissional de seus membros. Contudo, suas aplicações e contribuições não se limitam unicamente ao meio acadêmico, expandindo o conhecimento para além dos seus muros, disseminando saberes na sociedade a partir do trabalho que desempenha. É nesse contexto que a extensão universitária se destaca, por apresentar uma diversidade conceitual e prática que interfere significativamente no “pensar” e no “fazer” no âmbito da universidade (SERRANO, 2013). Desse modo, a extensão universitária permite estreitar os laços entre universidade e sociedade, visando o compartilhamento do conhecimento que atende a diferentes necessidades e atua na resolução de problemas diversos. Logo, a teoria aprendida em sala de aula age em benefício do coletivo por meio da prática.

O Plano Nacional de Extensão Universitária do Ministério da Educação (MEC) define extensão universitária como um processo educativo, cultural e científico que articula o ensino e a pesquisa de forma a viabilizar a relação transformadora entre universidade e sociedade (BRASIL, 2001). Isso implica dizer que desenvolver atividades de extensão a partir da interface entre ensino e pesquisa permite que as inovações tecnológicas adentrem às comunidades, estimulando e incentivando a participação de discentes na realidade local, além de favorecer a integração do ambiente acadêmico com o social.

Nesse sentido, dada a importância da extensão universitária para o público acadêmico, bem como para a sociedade, é objetivo deste trabalho apresentar resultados parciais do projeto de extensão “Compartilhando Conhecimentos com a Escola Agrotécnica de Sumé-PB”, desenvolvido com o intuito de ampliar os saberes dos alunos e de seus familiares acerca da produção animal e dos manejos adequados para um maior e melhor rendimento produtivo. Mais especificamente, o projeto buscou compartilhar com alunos do ensino técnico da escola Agrotécnica ferramentas de cunho tecnológico, conceitos e ideias sobre a relação da Bioclimatologia na produção animal e qual a importância de aplicá-la dentro da propriedade rural, para que, através disso, fosse possível analisar os resultados obtidos e verificar sua relevância.

Dessa forma, o projeto também teve o propósito de possibilitar a formação profissional cidadã e reconhecer a sociedade como espaço de produção do conhecimento para a superação das desigualdades sociais, ou seja, a construção e popularização dos conhecimentos científicos, tecnológicos e culturais.

Para a idealização do referido projeto, levou-se em consideração o crescente cenário agropecuário no país e na região Nordeste, mais precisamente, no semiárido paraibano. Percebe-se que, devido às variações climáticas existentes na região, que dificultam determinadas atividades, há uma tendência ao uso de tecnologias na produção pecuária, a fim de obter melhores índices de desempenho produtivo, buscando-se ainda o trabalho com

diferentes espécies e raças que não se adaptam às condições de temperatura e umidade próprias do semiárido paraibano. Diante disso, busca-se empregar recursos técnicos e científicos como forma de minimizar os impactos oriundos do clima. Logo, ciências como a Bioclimatologia tornam-se indispensáveis no processo de produção e geração de renda, contribuindo para o bem-estar animal.

Em síntese, o presente trabalho tem o intuito de compartilhar as experiências vivenciadas durante o projeto de extensão, cujas técnicas e ideias apresentadas aos alunos e produtores possibilitaram a visualização das várias interferências do ambiente na pecuária da região, indicando-lhes possíveis caminhos para lidar com essas interferências de modo a progredir e maximizar os lucros por meio de serviços de qualidade, além de agregar autonomia às suas atividades, tendo a garantia do bem-estar animal.

2 | FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA OU ESTADO DA ARTE

Com o atual momento econômico do Brasil e do mundo, as dificuldades de todos os setores da sociedade, inclusive do setor pecuário, têm aumentado significativamente. Houve aumento dos custos, mas o preço ao produtor não acompanhou a mesma proporção. Com isso, o empresário rural é obrigado a controlar todas as variáveis possíveis da propriedade, aumentando sua produtividade e visando compensar a queda da rentabilidade que ocorreu nos últimos anos, utilizando-se de informações disponibilizadas pela escrituração zootécnica, que permite ao produtor gerenciar seu rebanho e sua propriedade mais eficientemente.

O controle zootécnico é um mecanismo que se beneficia da Bioclimatologia para obter os dados necessário para um desempenho significativo a nível de propriedade, pois, a partir dos índices climáticos, pode-se determinar um controle específico e assim inibir as deficiências existentes. A engenharia entra nesse ramo como recurso principal para intensificar os mecanismos na atividade rural, aderindo qualidade e eficiência por meio de insumos tecnológicos e proporcionando maior produtividade e maximização dos serviços, já que o uso da tecnologia é uma realidade presente na vida no campo. Logo, quaisquer que forem as informações e as práticas que vinculem esses métodos à vida no campo são de extrema importância para se manter na competitividade dos mercados consumidores.

O uso de determinada metodologia, como é o caso das anotações ou coleta de dados, permite que o produtor conheça a situação da propriedade e do rebanho para traçar metas a curto, médio e longo prazo (FERREIRA, 1991; 1993). O objetivo geral de uma produção racional, com relação à produtividade, é fazer com que os números dos índices de produção sejam, no mínimo, semelhantes ou superiores aos “alvos de produção” preconizados ou pré-estabelecidos (AZEVEDO, 1997). A informação organizada é outro fator a ser considerado na figura do triângulo zootécnico, que compreende o manejo, a nutrição e a genética.

Assim, o fator humano desempenha papel primordial na obtenção dos resultados e na elaboração dos registros, bem como em qualquer outra atividade do empreendimento rural. A disponibilidade de informações e a capacidade de utilizá-las adequadamente no processo de tomada de decisão determinará a eficiência do empreendimento (RIBEIRO *et al.*, 2003). Logo, constata-se a importância desse método para a atividade pecuária, por ser uma prática que favorece um melhor desempenho produtivo e reprodutivo dos rebanhos, permitindo ao produtor inovar-se tecnicamente, para que, assim, possa expandir, com qualidade e eficiência, toda a sua atividade pecuária, em termos de serviços prestados e produtos fornecidos.

A Bioclimatologia, como ciência multidisciplinar, busca vincular o clima e seus elementos físicos ao bem-estar animal, com a finalidade de oferecer condições ambientais capazes de permitir a expressão plena do genótipo e a obtenção do conforto fisiológico, fundamentando-se, para isso, no conhecimento do clima, seus efeitos e limitações sobre a exploração racional dos animais (PEREIRA, 2005). A interação entre o animal e o ambiente deve ser considerada quando se busca maior eficiência na exploração pecuária, pois as diferentes respostas dos animais às peculiaridades de cada região são determinantes no sucesso da atividade produtiva (NEIVA *et al.*, 2004).

Para a região do cariri paraibano, o conceito da Bioclimatologia é de suma importância no que diz respeito à pecuária, pois uma das variáveis que implicam diretamente no desempenho produtivo é a temperatura e os baixos índices de umidade ao longo do dia. Para entender qual a relação disso no comportamento dos animais, durante a execução do projeto, foi necessário trabalhar com parâmetros fisiológicos (frequência cardíaca, respiratória, temperatura retal e superficial) que, segundo Roberto *et al.* (2010), são importantes para avaliar tanto o estado de saúde do animal como o grau de estresse térmico ao qual ele está sendo submetido no ambiente.

Para a coleta desses parâmetros, foram utilizados aparelhos digitais que medem índices de temperatura, umidade e velocidade do ar, além de sensores que permitem fazer uma varredura da temperatura interna das instalações e do ambiente como um todo. Também foram usados globos negros para medir a radiação, assim como um termo higrômetro para medir umidade e temperatura do ar. Com isso, os alunos puderam acompanhar as mudanças comportamentais que os animais iam apresentando ao longo do dia, em razão do aumento da temperatura, sendo-lhes explicado como era essa relação e como refletia produtivamente dentro de uma dada propriedade.

O clima é uma combinação de elementos que incluem a temperatura, umidade, chuvas, ventos, radiação e pressão atmosférica. Ele possui interferência direta sobre a vida na terra, assim como sobre os processos fisiológicos que comandam a vida animal, tornando-se fundamental o reconhecimento e o entendimento de como o organismo animal reage frente às condições climáticas, em especial ao calor (ANTUNES *et al.* 2009).

Define-se por estresse calórico a força exercida pelos componentes do ambiente térmico sobre um organismo, causando nele uma reação fisiológica proporcional à intensidade da força aplicada e à capacidade do organismo em compensar os desvios causados por essa força (SILVA, 2000 *apud* COLUMBIANO, 2007). Dentre os fatores que afetam negativamente o desempenho de animais de alta produção e o bem-estar com consequentes perdas econômicas, o estresse por calor é tido como um dos principais agentes (KADZERE *et al.*, 2002; SOUZA *et al.*, 2007). Na Figura 1, é possível observar a relação entre o ambiente e o animal, assim como os efeitos ocasionados pelo estresse térmico.

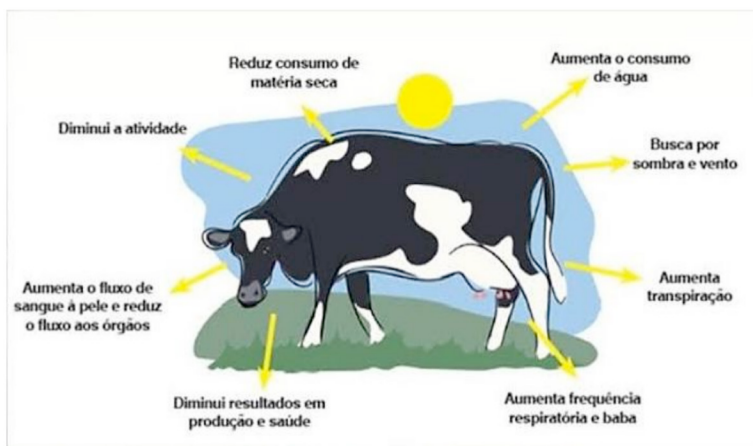


Figura 1 – Relação ambiente-animal e os efeitos ocasionados pelo estresse térmico

Fonte: <https://zootecniaativa.com/zootecnia/969>

Por outro lado, foi intensificado o aprendizado de técnicas básicas que pudessem minimizar esses danos, como sombreamento natural por meio da arborização, cortina de vento para impedir a passagem direta sobre a instalação ou os animais, bem como o uso de sombrites como cobertura artificial para inibir os efeitos da radiação sobre os animais e o dimensionamento das instalações, de modo que os sentidos leste e oeste fossem fatores para as construções, atitudes simples que geram resultados. Os alunos eram levados a observar o reflexo dessas medidas a nível econômico, sendo impulsionados a fazer cálculos dos ganhos e das perdas, caso os manejos não fossem feitos adequadamente.

Essa atividade foi bastante significativa para o andamento do projeto, pois quebrou aquela linha de pensamento arcaico de que o animal não necessita de cuidados maiores e que apenas a alimentação é necessária. A verdade é que a produção animal está alicerçada em fatores como Ambiência, Genética, Nutrição e Sanidade, sem os quais não existe produtividade e obtenção de renda.

3 | MATERIAL E MÉTODOS

O projeto de extensão “Compartilhando Conhecimentos com a Escola Agrotécnica de Sumé-PB”, desenvolvido por técnicos, professores e alunos do Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido (CDSA), em parceria com a escola Agrícola, teve como objetivo partilhar conhecimentos adquiridos nas áreas agrícola e pecuária com produtores rurais e alunos da escola Agrotécnica do município de Sumé e cidades vizinhas. Por meio de oficinas, palestras e aulas de campo foi possível atender a proposta do projeto e às expectativas dos produtores e alunos, de acordo com as necessidades de cada grupo. Para tanto, o Grupo de Estudo em Produção Animal e Alimentos (GEPAAL) realizou atividades sobre manejo animal frisando os parâmetros bioclimáticos e a sua relação com o bem-estar animal.

Foram realizadas oficinas na escola Agrotécnica, com destaque para a oficina “A Bioclimatologia e a Produção Animal”, e também nas propriedades rurais, tendo como referência o trabalho com ovinos mestiços da raça Santa Inês e com bovinos leiteiros característicos da região do cariri paraibano. Nesse contexto, a atribuição da Bioclimatologia foi proposital, tendo em vista o interesse em entender a dinâmica do comportamento animal nas mais variadas temperaturas e umidade, e por meio de equipamentos digitais e de precisão conseguir identificar as zonas de conforto e admitir um resultado na produção. Com o propósito de aferir esses dados, foram utilizados sensores termopares para medir a temperatura e umidade dentro das instalações, conforme se verifica nas Figuras 2 e 3.



Figura 2 – Sensores usados para medir temperatura e umidade dentro de um curral para bovinos

Fonte: Dados de pesquisa



Figura 3 – Sensores usados para medir temperatura e umidade dentro de um curral para ovinos

Fonte: Dados de pesquisa

Outro equipamento usado foi o anemômetro digital (Ver Figura 4), que permitiu verificar a velocidade do vento dentro e fora das instalações e qual sua interferência no comportamento dos animais. Em decorrência das variações existentes em diferentes períodos do dia, foram feitas algumas avaliações comportamentais em ovinos no turno da noite, por ser o período em que acontece a maior parte das atividades metabólicas dos pequenos ruminantes, sendo possível verificar a ocorrência de mudanças de comportamento, posto que os animais começaram a apresentar diversos estereótipos. Essa avaliação tornou-se relevante para a dinâmica da oficina.

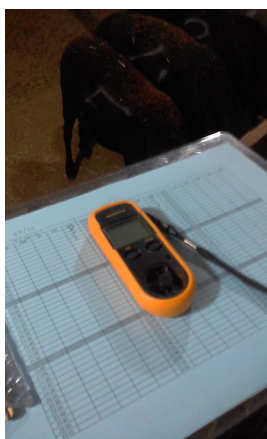


Figura 4 – Análise de parâmetros climáticos e a interferência no comportamento de ovinos

Fonte: Dados de pesquisa

Ambas as atividades tiveram o propósito de ampliar o conhecimento da população acerca das temáticas discutidas como forma de despertar o desejo de melhorar as condições de trabalho, os investimentos rurais, a produção animal e os potenciais agrícolas da propriedade rural e dos produtores, contribuindo para a autonomia dos mesmos. O que foi importante para os alunos, pois o que eles aprendiam em sala era colocado em prática com o auxílio de equipamentos e técnicas, ampliando suas visões e saberes sobre os assuntos. Dessa forma, foram sendo desenvolvidas dinâmicas e interações que possibilitaram a troca de conhecimentos e lições de vida, agregando qualidade às atividades propostas, tornando-se indispensável a difusão do saber, de técnicas e práticas relacionadas à agropecuária e ao meio ambiente.

4 | CONCLUSÕES

Tendo em vista as atividades propostas e realizadas ao longo do projeto, pode-se concluir que o objetivo designado pelos extensionistas foi alcançado, atendendo às expectativas e demandas ao longo do ano. Tal como sugere o próprio nome do projeto, conhecimentos foram compartilhados e também adquiridos, uma vez que os alunos se envolveram significativamente nas atividades, trocando experiências e aprendizados.

O projeto oportunizou o contato com pessoas de vários segmentos, de visões e conceitos diferentes, que tinham em comum a busca por soluções benéficas para melhorar as condições de vida dos produtores rurais do semiárido, levando até eles propostas e alternativas inovadoras que pudessem agregar qualidade e proporcionar resultados satisfatórios para suas atividades agrícolas e pecuárias.

Desse modo, por meio do projeto, foi possível disponibilizar informações técnicas para aperfeiçoar e melhorar as condições de trabalho no campo, gerando autonomia e oportunidades de tecnificar e potencializar os recursos existentes em cada propriedade, agregando qualidade e maximizando os investimentos que podem retornar em forma de lucro e renda.

REFERÊNCIAS

ANTUNES, M. M.; PAZINATO, P. G.; PEREIRA, R. A.; SCHNEIDER, A.; BIANCHI, I.; CORRÊA, M. N. **Efeitos do estresse calórico sobre a produção e reprodução do gado leiteiro**. Pelotas: NUPEEC – Núcleo de Pesquisa, Ensino e Extensão em Pecuária, 2009, p. 1-5. Disponível em: <https://www.grupocultivar.com.br/ativemanager/uploads/arquivos/artigos/estresse.pdf>. Acesso em: 21 mai. 2020

AZEVEDO, P. F. Comercialização de produtos agroindustriais. In: AZEVEDO, P. F. **Gestão agroindustrial**. v. 1. São Paulo: Atlas, 1997. p. 49-82.

BRASIL. Plano Nacional de Extensão Universitária. Edição atualizada. Fórum de Pró-Reitores de Extensão das Universidades Públicas Brasileiras e SESu/MEC, 2000/2001. Disponível em: http://www.prae.ufrpe.br/sites/prae.ufrpe.br/files/pnextensao_1.pdf. Acesso em: 27 out. 2014.

COLUMBIANO, V.S. **Identificação de QLT nos cromossomos 10, 11 e 12 associados ao estresse calórico em bovinos**. 2007. 60 f. Dissertação (Mestrado em Genética e melhoramento Animal) – Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 2007.

FERREIRA, A. M. **Manejo reprodutivo e sua importância na eficiência da atividade leiteira**. Coronel Pacheco, MG: EMBRAPA-CNPGL, 1991. (Série EMBRAPA-CNPGL. Documentos, 46). Disponível em: http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/recursos/Reprod_AnimID-ZXT4FtLDun.pdf. Acesso em: 21 mai. 2020

FERREIRA, A. M. **Fatores que influenciam a fertilidade do rebanho bovino**. Coronel Pacheco, MG: EMBRAPA-CNPGL, 1993. (Série EMBRAPA-CNPGL. Documentos, 53). Disponível em: http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/recursos/Reprod_AnimID-ZXT4FtLDun.pdf. Acesso em: 21 mai. 2020

KADZERE, C.T.; MURPHY, M.R.; SILANIKOVE, N.; MALTZ, E. Heat stress in lactating dairy cows: a review. **Livestock Production Science**, v. 77, p. 59-91, 2002.

NEIVA, J. N. M.; TEIXEIRA, M.; TURCO, S. H. N.; OLIVEIRA, S. M. P.; MOURA, A. A. A. N. Efeito do estresse climático sobre os parâmetros produtivos e fisiológicos de ovinos Santa Inês mantidos em confinamento na região litorânea do Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira Zootecnia**, v. 33, n. 3, p. 668- 678, 2004.

PEREIRA, C. C. J. **Fundamentos de Bioclimatologia Aplicados à Produção Animal**. Belo Horizonte: FEPMVZ, 2005. 195p.

RIBEIRO, A. R. P. I.; LOBATO, F. C. F.; ABREU, V. L. V.; FARIA, E. S.; FERREIRA, A. C. S. Aspecto da bovinocultura leiteira do município de Ilhéus-BA. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 55, n. 3, 2003.

ROBERTO, J. V. B.; SOUZA, B. B.; SILVA, A. L. N.; JUSTINIANO, S. V.; FREITAS, M. M. S. Parâmetros hematológicos de caprinos de corte submetidos a diferentes níveis de suplementação no semi-árido paraibano. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 23, n. 1, p. 127-132, jan./mar., 2010.

SERRANO, Rossana Maria Souto Maior. **Conceitos de extensão universitária: um diálogo com Paulo Freire**. 2013. Disponível em: https://www.ets.ufpb.br/pdf/2013/1%20Universidade%20e%20Sociedade/US%2013_Texto%201%20Serrano_Conceitos%20de%20extensao%20universitaria.pdf. Acesso em: 21 mai. 2020

SOUZA, B. B.; SILVA, R. M. N.; MARINHO, M. L.; SILVA, G. A.; SILVA, E. M. N.; SOUZA, A. P. Parâmetros fisiológicos e índice de tolerância ao calor de bovinos da raça Sindi no Semiárido paraibano. **Revista Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, n. 3, p. 883-888, mai./jun., 2007.

CAPÍTULO 8

TRANSFERÊNCIA DE CALOR ATRAVÉS DE PAINEIS AGLOMERADOS DE BAGAÇO DE CANA, PINUS E EUCALIPTO

Data de aceite: 01/09/2020

Data de submissão: 05/06/2020

Roberto Luiz de Azevedo

Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia do Sul de Minas
Machado – M.G
ID Lattes: 0756910079661724

Edson Rubens da Silva Leite

Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia do Sul de Minas
Machado – M.G
ID Lattes: 2080612471609042

Rafael Sidney Orfão

Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia do Sul de Minas
Machado – M.G
ID Lattes: 3727371325816784

Rafael Farinassi Mendes

Universidade Federal de Lavras
Lavras- M.G
ID Lattes: 2585255322006890

Renato Alexandre Oliveira Cândido

Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia do Sul de Minas
Machado – M.G
ID Lattes: 0330958697113153

RESUMO: O objetivo deste trabalho foi determinar a transferência de calor, a temperatura de combustão e o calor específico de painéis de aglomerado feitos de bagaço de cana, pinus e

eucalipto. Os painéis foram expostos a uma fonte de calor até a combustão e mantido por 30 minutos o fluxo de calor entre os materiais. Os resultados mostraram que a transferência de energia durante o aquecimento é maior para os painéis feitos de bagaço de cana-de-açúcar em comparação com os demais materiais.

PALAVRAS CHAVE: Painéis, combustão, fluxo de calor.

HEAT TRANSFER THROUGH AGAINST PANELS OF SUGAR CANE, PINUS AND EUCALYPTUS

ABSTRACT: The objective of this work was to determine the heat transfer, the combustion temperature and the specific heat of agglomerate panels made from sugarcane bagasse, pine and eucalyptus. The panels were exposed to a heat source until combustion and the heat flow between the materials was maintained for 30 minutes. The results showed that the energy transfer during heating is greater for panels made from sugarcane bagasse compared to the other materials.

KEYWORDS: Panels, combustion, heat flow.

1 | INTRODUÇÃO

A tecnologia de produção de painéis de partículas aglomeradas desenvolveu-se principalmente após a Segunda Guerra Mundial, em função da escassez da matéria-prima e, também, pela necessidade de reduzir perdas ocorridas tanto na indústria madeireira como na exploração florestal. No Brasil, a produção de

painéis de madeira aglomerada teve início em 1966 (MENDES et al., 2003).

Esses painéis são geralmente fabricados a partir de partículas de madeira aglutinadas por adesivo sintético ou outro aglomerante, sendo o conjunto prensado a quente, por tempo suficiente para que a cura da resina se efetue.

A princípio, esses painéis também podem ser fabricados a partir de qualquer outro material lignocelulósico que lhes confira alta resistência mecânica e peso específico pré-estabelecido, já que a composição química dos materiais lignocelulósicos é semelhante à da madeira (ROWELL et al., 2000).

A utilização de materiais alternativos, tais como bagaço de cana deve ser considerado, uma vez que o Brasil é o maior produtor de cana-de-açúcar. Na safra 2014/2015, produção de cana esta estimada em 39,46 milhões de toneladas (CONAB, 2014), cada tonelada de cana produz em média 259 kg de bagaço.

O desempenho térmico de painéis construtivos está vinculado ao estudo das propriedades térmicas e suas variáveis, as quais podem ser definidas pela condutividade térmica, massa aparente e pelo calor específico.

Segundo Costa (1974), em um espaço, sempre que houver uma diferença de temperatura entre duas regiões, esta tende a desaparecer devido ao fluxo de energia térmica. O primeiro a fazer um estudo detalhado da transmissão de calor por condução foi o físico e matemático francês Joseph Fourier (1768-1830).

O calor transferido de uma face a outra, em um certo intervalo de tempo, chama-se de fluxo de calor, esta propriedade pode ser útil ao estudo de acumulação térmica, isolamento térmico e incêndios. Quanto à pesquisa de painéis de madeira ou de materiais lignocelulósicos sobre o desempenho térmico e combustão destes materiais, pouco se conhece.

O objetivo deste estudo foi determinar a transferência de calor, a temperatura de combustão e o calor específico de painéis de aglomerado feito de bagaço de cana-de-açúcar, pinus e eucalipto.

2 | MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Material e a câmara com isolamento térmico

Para este estudo foram utilizados painéis aglomerados produzidos em escala industrial no Brasil com a madeira de pinus, a madeira de eucalipto e painéis aglomerados de bagaço de cana. Os três tipos de painéis foram produzidos com o adesivo ureia-formaldeído.

Os painéis foram cortados nas medidas de 22,2 x 19,7 x 1,5 cm (comprimento x largura x espessura, respectivamente). A umidade de cada peça foi determinada mediante o uso do medidor de umidade digital portátil de madeira da Instrutherm modelo MUMC-620 (Figura 1).



Figura 1. Medidor de umidade Instruthern Modelo MUMC- 620

2.2 Medidores de Temperatura

Os ensaios foram realizados com base em um projeto de uma câmara com isolamento térmico constituído para realizar o experimento com uma resistência de 1200 W e com pouca perda de calor para o ambiente externo.

Foram instalados sensores de ambiente do tipo K no centro do painel, um do lado interno e outro do lado externo a fonte de calor.

O termopar é constituído por um termoelemento positivo (KP): Ni 90% Cr 10% (Cromel) e um termoelemento negativo (KN): Ni 95%, Mn 2%, Si 1%, Al 12% (Alumel), o intervalo de medição da temperatura é de 0 e 1200 °C.

As temperaturas foram registradas no aquisitor de dados Modelo A 202 versão 1.04, log de dados para até 2 MB de registro e monitoramento das variáveis analógica, ligado ao conversor USB D 50, comunicação RS 485a ao computador (figura 2).

Estes sensores foram conectados a um registrador de dados que recebeu os sinais enviados, temperaturas registradas a cada 30 segundos e em °C. A duração do tempo de ensaio foi determinada em 30 minutos. Adotou-se como padrão interromper o fornecimento e energia logo que houvesse a ignição das chamas (combustão).



Figura 2. Conversor e aquisitor de dados A202

2.3 Determinação das Variáveis de Energia

Sendo Φ o fluxo de calor transmitido de uma face a outra, em um intervalo de tempo Δt , o fluxo de calor (Φ) é dado pela equação 1, onde os experimentos de Fourier mostram que :

$$\Phi = \frac{Q}{\Delta t} = k \frac{A (\theta_1 - \theta_2)}{L} \quad (1)$$

Onde: θ_1 e θ_2 são as temperaturas das faces opostas da placa em (K), A área (m^2), L é a largura da placa (m) e k é uma constante que depende do material e é denominada condutividade térmica do material, cuja a unidade de medida é:

$$k = \frac{J \cdot m}{s \cdot m^2 \cdot K} = \frac{J}{s \cdot m \cdot K} = \frac{J}{s} \cdot \frac{1}{m \cdot K} = W/m \cdot K \quad (2)$$

Fonte de calor é todo elemento capaz de produzir aumento na temperatura de um corpo, foi usado como fonte de calor um resistência retangular de 1200 W ligada à uma tensão de 220 V e para a determinação da quantidade de calor produzida pela fonte de calor (resistência), foi utilizada a equação 3.

$$P = \frac{Q \text{ (Joule)}}{\Delta t \text{ (segundos)}}, \text{ onde } Q = m \cdot c_{\text{esp}} \cdot \Delta t \quad (3)$$

O calor específico dos paineis foram calculados pela equação 4, considerando o tempo de ignição das placas.

$$c_{\text{esp.}} = \Delta Q / m \cdot \Delta T \text{ (KJ/m} \cdot \text{°C)} \quad (4)$$

Para razão de compactação, que é a densidade do painel pela densidade do material lignocelósico, utilizou-se valores descritos em Mendes et al.,(2010).

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Características dos Materiais

Placas	Densidade (g/cm³)	CV (%)	Ubu (%)	Perda de massa (%)	Razão de compactação
Pinus	0,6478	0,91	14	10,00	1,5
bagaço de cana	0,6519	1,95	14	11,00	6,7
Eucalipto	0,6554	0,93	14	6,86	1,2

Tabela 1. Valores médios de densidade, perda de massa e umidade.

A Tabela 1 apresenta a densidade aparente média e a perda de massa além de informar que a umidade foi igual em todos os tratamentos. Quanto a densidade aparente, os painéis de aglomerado apresentaram valores próximos, mas os aglomerado feitos de pinus mostrou-se numericamente menor que os demais.

Os valores médios da densidade aparente dos painéis variam na faixa de 0,6411 g/cm³ (bagaço de cana) a 0,6727 (bagaço de cana) g/cm³, desta forma todos os painéis podem ser considerados painéis de média densidade (MENDES et al.,2010).

A razão de compactação é uma propriedade a considerar na condução do calor, pois a relação entre a densidade do painel e a densidade do material lignocelulósico (MENDES et al. 2010), pode influenciar na porosidade e na condutividade térmica do material, interferindo assim na propagação de calor.

Na tabela 2 encontram-se as variáveis fundamentais para os objetivo deste estudo, como energia transferida de uma face a outra, o calor gerado pela fonte de calor, a temperatura e tempo de ignição, além do calor específico encontrados.

<i>Placas</i>	FLUXO	Calor gerado pela fonte	$\Delta t/W$	Temperatura de Ignição	Tempo Ignição	c_{esp.}
	(J/s)	(KJ/s)	(%)	(°C)	(min)	KJ/Kg.°C
Pinus	21616	954	0,1969	325	13	5,259
bagaço de cana	22625	1251	0,0206	345	17	5,723
Eucalipto	18231	814	0,017	295	11	5,051

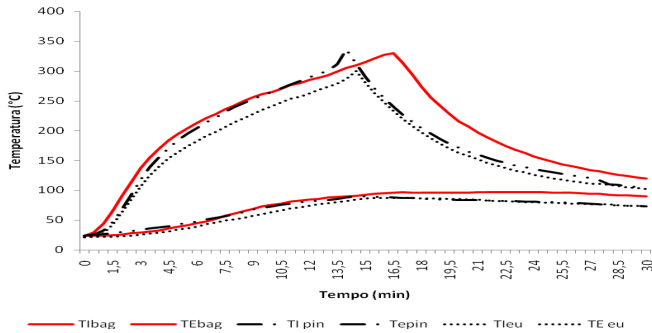
c_{esp.} = Calor específico em KJ/Kg.°C.

Tabela 2. Valores médios da transferência de calor, temperatura e tempo de ignição.

O fator de compactação (Tabela 1) pode explicar a transferência de calor (Tabela 2) de uma face do painel a outra, quando submetida a uma fonte de calor. Observa-se que os painéis de bagaço de cana apresentaram a maior quantidade de energia fluindo entre as faces em 30 min, considerando que esta placa apresenta o maior fator de compactação e, por consequência, a menor porosidade, seguida pela placa de pinus com a segunda maior razão de compactação (1,5).

A capacidade de propagação de calor dependerá de sua estrutura porosa, pois, em estruturas porosas possibilita a formação de bolsões de ar em seu interior, este com baixa condutividade térmica, o que interfere na condução de calor.

3.2 Comportamento da temperatura em função do tempo



Tibag=Temperatura interna bagaço de cana, TEbag= Temperatura externa bagaço de cana, Tlpin=temperatura interna pinus, temperatura externa pinus, Tleu=temperatura interna eucalipto, TEeu= temperatura externa eucalipto

Figura 3. O comportamento da temperatura em função do tempo.

O gráfico da Figura 3 mostra que o painel de bagaço de cana tem maior temperatura de ignição e calor específico.

A capacidade de aquecimento de um material representa a quantidade de energia térmica necessária para causar a troca de uma unidade de temperatura em uma unidade de massa deste material, fato de maior ocorrência com o painel de bagaço de cana, ou seja, a que teve maior calor específico (5,723 KJ/Kg.°C).

Gráfico da variação da temperatura em função do tempo

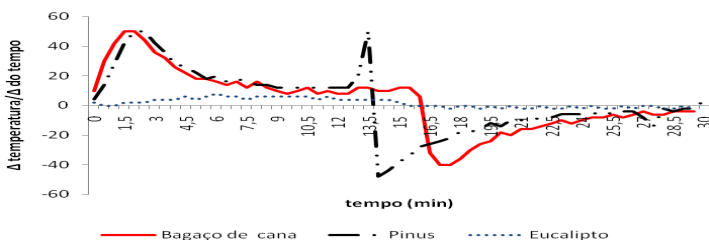


Figura 4. Comportamento da temperatura com o tempo

Na figura 4, vê-se que o painel de bagaço de cana de açúcar e de pinus, apresentaram maiores taxa de aquecimento, necessitando de mais energia para elevação de temperatura em um intervalo de tempo maior e, em contrapartida, um maior período para seu resfriamento. No caso do bagaço isso pode ser evidenciado pelo seu maior calor específico (5,723 KJ/Kg.°C).

4 | CONCLUSÃO

O painel de bagaço de cana de açúcar quando comparado aos painéis de pinus e eucalipto, possui a menor isolamento térmica devido, entre outros fatores, a sua menor porosidade, mas necessita de maior tempo e quantidade de energia para entrar em combustão, por este motivo apresenta um calor específico mais elevado entre os demais painéis, podendo ser utilizado como isolante térmico em foros e paredes internas de casas.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos o apoio irrestrito da FAPEMIG, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais, na concessão de bolsas aos alunos do Ensino Médio participantes da pesquisa.

REFERÊNCIAS

CONAB- **Acomp. safra Bras. cana-de-açúcar**, v. 1 – Safra 2014/15, n.1 - Primeiro Levantamento, Brasília, p. 1-20, abr. 2014

COSTA, E.C.D. **Física aplicada à construção: conforto térmico**. 2. ed. São Paulo: Blucher, 1974. 259 p.

MENDES, R.F.; MENDES, L.M.; GUIMARAES JUNIOR, J.B.; ABRANCHES, R.A.S. ; SANTOS, R.C. Painéis aglomerados produzidos com bagaço de cana em associação com madeira de eucalipto. **Scientia Forestalis**, Piracicaba.v.38, n.86, p.285-295, jun. 2010

MENDES, L. M.; ALBUQUERQUE, C. E. C.; IWAKIRI, S. A indústria brasileira de painéis de madeira. **Revista da Madeira**, v. 1, n. 71, p. 12-12, 2003.

ROWELL, R.M.; HAN, J.S.; ROWELL, J.S. **Characterization and factors affecting fiber properties**. In: FROLLINI, E.; LEÃO, A.L.; MATTOSO, L.H.C.

CAPÍTULO 9

FLUIDOS DE PERFURAÇÃO A BASE DE RESÍDUO DE AÇAÍ E GOMA XANTANA

Data de aceite: 01/09/2020

Alex da Silva Sirqueira

Centro Universitário Estadual da Zona Oeste,
Escola de Engenharias, Rio de Janeiro, RJ.
Universidade do Estado do Rio de Janeiro,
Programa de Pós graduação em Química, RJ

Mônica Cristina Celestino dos Santos

Centro Universitário Estadual da Zona Oeste,
Escola de Engenharia, Rio de Janeiro, RJ.

Aline Muniz Lima

Centro Universitário Estadual da Zona Oeste,
Escola de Engenharia, Rio de Janeiro, RJ.

Patricia Reis Pinto

Centro Universitário Estadual da Zona Oeste,
Escola de Engenharia, Rio de Janeiro, RJ.

Hugo Cavalcante Peixoto

Centro Universitário Estadual da Zona Oeste,
Escola de Engenharia, Rio de Janeiro, RJ.

RESUMO: Os fluidos de perfuração são utilizados durante a perfuração de poços para extração de petróleo, auxiliando em diversos aspectos, como por exemplo, no carreamento dos cascalhos e lubrificação da broca. A utilização de resíduos agrícolas para este fim tem despertado grande interesse dos pesquisadores. O entendimento do comportamento reológico deste tipo de fluido é essencial para aplicação final. Neste trabalho foram preparadas soluções de Goma Xantana (GX) com diferentes teores de resíduo do caroço

do açaí (1%, 3%, 5%, 7,5%, 10% e 15%). O modelo reológico utilizado para determinar as propriedades reológicas foi de Herschel-Bulkley

PALAVRAS-CHAVE: Reologia, curva de fluo, goma xantana, resíduo açaí.

DRILLING FLUIDS BASED ON XANTHAN GUM AND AÇAÍ BAGASSE.

ABSTRACT: Drilling wells is a very old practice and drilling fluids are needed to assist in carrying of cuttings, preventing them from being trapped in the well, thus aiding in their cleaning and also in the lubrication of the drill. The fluids can be the base of water, oil or air; however, the most used is the water base because it does not bring environmental risks. The evaluation of rheological behavior is fundamental for the end applications. In this work, xanthan gum and acai bagasse (1%, 3%, 5%, 10% and 20%) were prepared. The Herschel-Bulkley model was used to obtain the rheological behavior of xanthan gum/acai bagasse dispersions.

KEYWORDS: Rheology, flow curve, xanthan gum, açai bagasse.

1 | INTRODUÇÃO

Os biopolímeros são polissacarídeos de origem microbiana que têm a capacidade de formar géis e dispersões viscosas em meio aquoso. Os biopolímeros são interessantes do ponto de vista industrial por serem amplamente utilizados como espessantes, gelificantes, agentes de suspensão, colóides protetores, entre outras aplicações (CHENG et al., 2014).

Nas últimas décadas observam-se progressos significativos em relação à identificação, caracterização e utilização de polissacarídeos sintetizados por microrganismos. Dextrana, xantana e gelana são praticamente ainda, os únicos polissacarídeos microbianos comercializados em larga escala, tendo importância relevante no mercado de gomas (CHENG et al., 2014; MARTÍN-ALFONSO et al., 2018)

A Goma Xantana (polissacarídeo proveniente de bactérias do gênero *Xanthomonas*, normalmente *Xanthomonas campestris*) tem sido muito utilizada como viscosificante em fluidos de perfuração de poços de petróleo.

Inicialmente, polímeros sintéticos foram utilizados como fluidos de perfuração. Porém, apresentaram alta sensibilidade a salinidade e instabilidade a altas temperaturas, prejudicando a sua eficiência. Entretanto, a goma xantana, apresenta dispersões estáveis as variações de pH, troca iônica e temperatura.

Outra característica da goma xantana é a estabilidade na presença de dispersões contendo elevado teor de amido (ABSON et al., 2014; REINOSO et al., 2019).

A açaí é uma espécie de planta tuberosa que é cultivada amplamente em áreas tropicais e subtropicais do mundo. A excelente habilidade de adaptação em diferentes climas e condições de solo e a sua produção de altos rendimentos de amido (CHEL-GUERRERO et al., 2015). O bagaço de açaí é considerado um resíduo fibroso sólido, com aproximadamente 17% da raiz tuberosa. O resíduo é obtido depois da extração da polpa. O caroço é disperso em lixões e aterros sanitários dos estados do Norte do Brasil. Algumas aplicações visam a fabricação de tijolos e materiais artesanais com pouca característica de reforço.

Neste estudo foi avaliado o comportamento reológico de fluidos com goma xantana e resíduo de açaí como fluido de perfuração.

Os fluidos de perfuração são utilizados na perfuração de poços de petróleo para arrastar cascalhos, auxiliando na limpeza e manutenção dos poços, além de favorecer o resfriamento e a lubrificação da broca. Durante a perfuração pode haver perdas por meio de fraturas da rocha ou da invasão do fluido nos poros da rocha, gerando custos adicionais com o uso de aditivos bloqueadores e comprometendo a eficiência da perfuração, por isso tem-se estudado e desenvolvido fluidos de perfuração com essa capacidade bloqueadora evitando o vazamento por meio das fraturas (VIJAYAKUMAR; PRASAD, 2015; WERNER; MYRSETH; SAASEN, 2017).

Os fluidos a base de água são os mais indicados por serem ambientalmente favoráveis e terem o seu descarte melhor aceito. A maioria das pesquisas tem avaliado o potencial do uso de resíduos agrícolas com polímeros na preparação desses fluidos de perfuração. Algumas propriedades reológicas como força gel, tensão limite e viscosidade são importantes para fluidos de perfuração, pois quando a circulação de fluido é interrompida, os cascalhos podem se depositar no fundo do poço obstruindo a broca, dessa forma é necessário que o fluido seja tixotrópico, ou seja, semirrígido em repouso. A viscosidade

aumenta em repouso, logo haverá formação de gel espesso para mantêm os cascalhos da rocha em suspensão e evitar a sedimentação. Quando o fluido voltar a circular se torna menos viscoso, voltando à viscosidade anterior.

A tensão limite (*Yield stress ou tensão de escoamento*) é definida como a tensão máxima para ocorrer a transição sólido-líquido de um fluido visco-elástico. Os primeiros trabalhos foram realizados por Bingham em suspensões, no século passado (COUSSOT, 2018). Entretanto, alguns materiais não apresentavam linearidade após a tensão limite, como as suspensões poliméricas, alimentos e fluidos viscoelásticos. Atualmente, é aceito que a tensão limite de fluidos de materiais que não obedecem a lei de Bingham pode apresentar viscoelasticidade antes e após a tensão limite, estes materiais são descritos como elasto-viscoplásticos. Vários modelos matemáticos foram propostos por pesquisadores da área de reologia (LARSON; WEI, 2019).

Neste estudo, dispersões de goma xantana e resíduo da casca da açaí foram testados para produção de fluido de perfuração base água. A determinação das características reológicas foi realizada pelo método da extrapolação da curva de fluxo e do modelo reológico de Herschell-Bulkley.

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Materiais

O experimento foi dividido em duas partes: preparação e análise do fluido de perfuração. A preparação do fluido foi realizada com a adição da goma xanta e do resíduo de açaí. Os testes reológicos foram executados em viscosímetro rotacional em condições isotérmicas. Os ensaios foram realizados no Laboratório de Engenharia de Polímeros da UEZO.

O resíduo fibroso sólido utilizado neste estudo era proveniente do caroço do açaí, descartado por produtores do estado de Manaus. O resíduo de açaí (RA) foi submetido à secagem em estufa de secagem por 30 h a 60 °C. A remoção da umidade foi confirmada após massa constante, em seguida foram triturados em moinho de facas. O diâmetro médio de partículas utilizadas neste estudo foi de 95,12 µm.

2.1.1 Preparação do fluido de perfuração

Inicialmente foram preparadas 7 amostras do fluido de perfuração, as quantidades utilizadas foram 0,6 g de goma xantana em 100 ml de água destilada. A solubilização da goma foi realizada em placa de agitação por 24 h.

Após o intervalo de tempo estipulado para a solubilização, diferentes concentrações de resíduo de açaí na solução de goma xantana foram elaboradas. As proporções utilizadas foram 1%, 3%, 5%, 7,5%, 10% e 20%, a Tabela 1 apresenta a formulação estudada. Em todas as composições foi adicionada 0,5% de bactericida, para evitar a proliferação de

bactérias, na dispersão goma xantana/resíduo de açaí. A dispersão ficou em agitação por mais 1 hora a temperatura de 50 °C.

Amostras	Goma Xantana, %	Resíduo de açaí, %	Bactericida, %
0	0,6	0	0,5
1	0,6	1	0,5
3	0,6	3	0,5
5	0,6	5	0,5
7,5	0,6	7,5	0,5
10	0,6	10	0,5
20	0,6	20	

Tabela 1. Formulação

2.1.2 Caracterização reológica

Após a preparação das dispersões, as amostras foram analisadas em reômetro rotacional. A caracterização reológica utilizou a geometria do tipo “Couette” (cilindros concêntricos). A correta caracterização reológica foi realizada, foram inseridas quantidades de fluido, tal que, este estivesse em contato com toda a geometria cisalhante. Os ensaios foram realizados a 25 °C, a variação na temperatura permitida no reômetro foi de 0,1°C.

O ensaio reológico de varredura de deformação foi realizado de 1 a 100 s⁻¹. O ensaio de creep foi realizando mantendo-se tensões constantes na amostra durante 2.000 segundos.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

A curva de viscosidade (tensão x taxa de cisalhamento) é a forma mais tradicional de determinar o comportamento dos materiais, e a tensão limite, de fluidos de perfuração, dispersões poliméricas, suspensões e outros. A estimativa do valor da tensão limite pode ser obtida por meio da extrapolação dos valores da curva de fluxo, para o limite inicial da taxa de cisalhamento. Em outras palavras extrapolar a curva para zero de cisalhamento.

A Figura 1 apresenta o comportamento da adição do resíduo de açaí nas dispersões de polissacarídeo. A curva de viscosidade foi obtida com 100 pontos, de 1 a 1000 s⁻¹. As curvas apresentam comportamento de fluidos não-Newtonianos, pois a tensão não apresenta relação linear com a taxa de cisalhamento. O comportamento observado, para todas as amostras, obedece a lei das potências. Ao utilizar o modelo HB para determinar os parâmetros reológicos não foi possível uma boa adequação, pois o valor da tensão limite para concentrações inferiores a 7,5 foram negativos. Porém ao considerar o índice das potências, utilizando o modelo da lei das potências, o valor de n é maior que 1. Este

resultado é característico um fluido dilatante. A linha contínua em vermelho representa o ajuste do modelo HB para as dispersões estudadas.

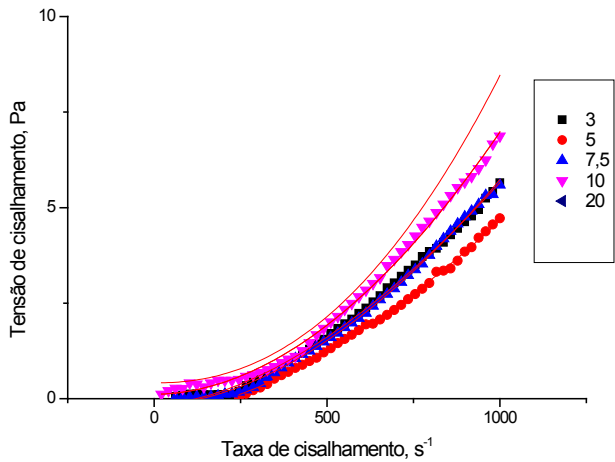


Figura 1. Curva de fluxo para as amostras de dispersões de goma xanta com resíduo de açaí.

A curva de viscosidade em função da taxa de cisalhamento comprova o comportamento dilatante das amostras, Figura 2. Pois, a viscosidade aumenta com a taxa de cisalhamento.

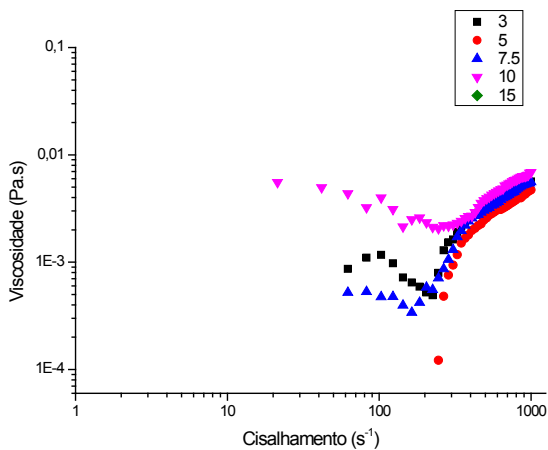


Figura 2. Curva de viscosidade das amostras de dispersões de goma xanta com resíduo de açaí.

Para descrever o comportamento das curvas de fluxo, foi utilizado o modelo reológico baseado na lei das potencia, denominado de modelo de Herschel-Bulkley (HB), Eq. 1.

$$\tau = \tau_0 + K\dot{\gamma}^n \qquad (1)$$

Onde: τ_0 = tensão limite; K = índice de consistência, $\dot{\gamma}$ = taxa de cisalhamento e n = lei das potências.

A Tabela 2 apresenta os resultados dos parâmetros reológicos obtidos neste estudo. Nota-se que a adição do resíduo de açaí aumenta o valor da tensão limite do material. Este comportamento pode ser explicado pela estruturação do fluido original, dificultando o movimento inicial das cadeias poliméricas. O valor do erro padrão para a amostra de concentração de 10 % é maior que o valor da tensão limite, o que não permite validar o resultado para esta concentração.

O valor do índice das potências aumenta com a concentração do resíduo do caroço de açaí. Todos os valores validados neste estudo ($R^2 > 0,9$), foram superiores a unidade. Ou seja, o comportamento dos fluidos produzidos é do tipo dilatante. Este resultado é muito importante para aplicação em poços de perfuração, pois ao aumentar o cisalhamento no poço, a solução resultante é viscosa, mantendo as partículas em suspensão. Com isto facilitará o processo de perfuração.

Amostras	τ_0 (Pa)		K (Pa.s ⁿ)		n		R ²
	Valor	Erro padrão	Valor	Erro padrão	Valor	Erro padrão	
3	-0,40	0,06	4,29E-5	0,000018	1,64	0,04	0,998
5	-0,16	0,03	5,96E-5	0,000005	1,81	0,03	0,998
7,5	0,12	0,04	2,16E-5	0,000003	1,92	0,04	0,996
10	0,34	354662	1,15E-5	354659	0,00	0,08	0,663
20	0,41	0,12	4334,5	0,000002	2,21	0,12	0,975

Tabela 2. Parâmetros do modelo reológico de Herschel-Bulkley.

4 | CONCLUSÕES

Fluidos de perfuração base água contendo resíduo do caroço do açaí e goma xantana foram produzidos neste trabalho. As curvas de fluxo das dispersões foram avaliadas pelo modelo reológico de Herschell-Bulkley. O comportamento observado das dispersões é de fluido dilatante. O modelo HB não foi adequado para a concentração de 10 % de resíduo de açaí. Neste trabalho foi possível caracterizar um novo fluido para utilização em poços de perfuração com características dilatantes.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a FAPERJ (E-026/200.019/2019 e E-026/200.025/2019) e ao CNPq (118668/2017-0) pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS

- ABSON, R. et al. **Food Hydrocolloids A comparison of the sensory and rheological properties of molecular and particulate forms of xanthan gum.** Food hydrocolloids, v. 35, p. 85–90, 2014.
- CHEL-GUERRERO, L. et al. **Chemical, rheological and mechanical evaluation of maize dough and tortillas in blends with cassava and malanga flour.** Journal of Food Science and Technology, v. 52, n. July, p. 4387–4395, 2015.
- CHENG, L. et al. **Production and Isolation of Chitosan from Aspergillus terreus and Application in Tin (II) Adsorption.** Journal of Applied Polymer Science, v. 40436, n. li, p. 1–8, 2014.
- COUSSOT, P. **Slow flows of yield stress fluids : yielding liquids or flowing solids ?** Rheological acta, p. 1–14, 2018.
- LARSON, R. G.; WEI, Y. **A review of thixotropy and its rheological modeling.** J. Rheology, v. 477, 2019.
- MARTÍN-ALFONSO, J. E. et al. **Relation between concentration and shear-extensional rheology properties of xanthan and guar gum solutions.** Carbohydrate Polymers, v. 181, n. August 2017, p. 63–70, 2018.
- REINOSO, D. et al. **Rheological characterisation of xanthan gum in brine solutions at high temperature.** Carbohydrate Polymers, v. 203, n. June 2018, p. 103–109, 2019.
- VIJAYAKUMAR, S.; PRASAD, N. K. **Drilling Analysis on Basalt / Sisal Reinforced Polymer Composites Using ANOVA and Regression Model.** physics, n4. January, 2015.
- WERNER, B.; MYRSETH, V.; SAASEN, A. **Viscoelastic properties of drilling fluids and their influence on cuttings transport.** Journal of Petroleum Science and Engineering, v. 156, n. June, p. 845–851, 2017.

CAPÍTULO 10

LICOR PIROLENHOSO DE EUCALIPTO NA PRODUÇÃO DE RÚCULA

Data de aceite: 01/09/2020

Data de submissão: 12/06/2020

Diana de Oliveira Simionato

Discente do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade do Oeste Paulista.
Presidente Prudente – São Paulo
<http://lattes.cnpq.br/3414678028305331>

Josi Carla Martins Fernandes

Discente do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade do Oeste Paulista.
Presidente Prudente – São Paulo
<http://lattes.cnpq.br/7176977673888826>

Ana Luisa Granado Potinatti Alves

Discente do Curso de Gastronomia, Universidade do Oeste Paulista.
Presidente Prudente – São Paulo
<http://lattes.cnpq.br/7171037631795056>

Marcelo Rodrigo Alves

Docente do Curso de Agronomia, Universidade do Oeste Paulista.
Presidente Prudente – São Paulo
<http://lattes.cnpq.br/8257691552745291>

Janardelly Gomes De Souza

Mestranda em Meio Ambiente e Desenvolvimento Regional, Universidade do Oeste Paulista.
Presidente Prudente – São Paulo
<http://lattes.cnpq.br/2592601997198581>

RESUMO: O extrato pirolenhoso é o subproduto resultante da condensação da fumaça proveniente da carbonização da madeira, durante a produção de carvão vegetal. Esse processo garante a produção de carvões com menos emissões de gases que contribuem para o efeito estufa e ainda pode ser uma fonte de renda alternativa para o fabricante, uma vez que pode ser utilizado, por exemplo, para fins agrônômicos. Desta forma, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a influência do extrato pirolenhoso resultante da fabricação de carvão de eucalipto na produção de rúcula (*Eruca vesicaria ssp. Sativa*). O delineamento experimental utilizado foi em blocos inteiramente casualizados), com seis tratamentos dispostos em esquema fatorial 2x3 e cinco repetições, sendo cada parcela representada por um vaso com 12 dm³ de solo e cinco plantas/vaso. O esquema fatorial refere-se a dois tipos de tratamento do substrato (com e sem aplicação do EPDec) e três tipos de tratamento foliar (sem aplicação de produto, aplicação semanal do EPDest e aplicação quinzenal do EPDest. De forma geral, o extrato pirolenhoso contribuiu para um melhor desempenho da hortaliça rúcula e outras pesquisas devem ser realizadas, pois se trata de uma forma ecologicamente correta de produção, sustentável e que pode gerar novas fontes de renda, principalmente para pequenos produtores agrícolas.

PALAVRAS-CHAVES: Carvão vegetal, *Eruca vesicaria*, Eucalyptus, decantação de fumaça.

PIROLENOUS LIQUOR OF EUCALYPTUS IN RUCULA PRODUCTION

ABSTRACT: The pyroligneous extract is the by-product resulting from the condensation of smoke from the carbonization of wood, during the production of charcoal. This process guarantees the production of coals with less gas emissions that contribute to the greenhouse effect and can still be an alternative source of income for the manufacturer, since it can be used, for example, for agronomic purposes. Thus, the present work aimed to evaluate the influence of the pyroligneous extract resulting from the manufacture of eucalyptus charcoal in the production of arugula (*Eruca vesicaria* ssp. *Sativa*). The experimental design used was in completely randomized blocks, with six treatments arranged in a 2x3 factorial scheme and five replications, with each plot represented by a pot with 12 dm³ of soil and five plants / pot. The factorial scheme refers to two types of substrate treatment (with and without application of EPDec) and three types of leaf treatment (without product application, weekly application of EPDest and biweekly application of EPDest. In general, the pyroligneous extract it contributed to a better performance of the arugula vegetable and other researches must be carried out, because it is an ecologically correct form of production, sustainable and that can generate new sources of income, mainly for small agricultural producers.

KEYWORDS: Charcoal, *Eruca vesicaria*, *Eucalyptus*, smoke settling.

1 | INTRODUÇÃO

A queima do eucalipto visando a produção de carvão vegetal é uma técnica bem antiga no Brasil. Neste processo podem ser gerados alguns subprodutos como os finos de carvão e o extrato pirolenhoso que é obtido através da condensação da fumaça proveniente da carbonização da madeira, durante a produção de carvão vegetal (CAMPOS, 2007).

O licor pirolenhoso é obtido através da pirólise lenta em fornos de alvenaria, podendo atingir em seu interior temperaturas de até 500°C, sendo a biomassa da madeira constituída principalmente por celulose, hemicelulose e lignina que são degradadas com o aumento da temperatura dos fornos, o primeiro componente a ser degradado são as hemiceluloses nas temperaturas de 200°C a 260°C, em seguidas são as da celulose entre 240°C a 350°C e por último a da lignina que tem a degradação iniciada a 150°C e se mantém até 500°C. Durante a pirólise ocorre diversas reações químicas e físicas que com o aumento da temperatura deriva a liberação de vapor de água, líquidos orgânicos, gases condensáveis e não condensáveis resultando como produto final o carvão vegetal. (SANTOS; COLODETTE; QUEIROZ, 2013).

De acordo com Campos (2007), para adquirir um licor pirolenhoso de boa qualidade, a temperatura na hora da coleta é de grande importância. Ela deve ser iniciada quando a temperatura estiver entre 80°C a 85°C e a fumaça apresentando cor amarela acinzentada clara e ser interrompida quando atingir temperaturas entre 120 a 150°C, devido que o licor ao ser coletado acima dessas temperaturas possuirá a presença de alcatrão, que é um poluente contendo componentes cancerígenos se tornando um produto tóxico para uso na agricultura.

Para Silveira (2010), o uso de produtos que contenham substâncias capazes de exercer efeitos na germinação e no vigor de sementes, e consequentemente, no estabelecimento das plantas em campo, pode ser uma alternativa para potencializar as suas respectivas produções.

Esse aspecto se sucede devido às características físico-químicas do licor pirolenhoso que possibilita seu uso como condicionador do solo (MENEGALE, 2013), proporcionando efeitos benéficos na retenção de água e nutrientes. Como exemplo, em trabalhos realizados com a cultura do quiabo, quando utilizado licor pirolenhoso junto ao solo foi possível observar aumento da produtividade e qualidade dos frutos (MASCARENHAS *et al.*, 2006; BENITES *et al.*, 2009).

Assim, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a influência do extrato pirolenhoso resultante da fabricação de carvão de eucalipto na produção de rúcula (*Eruca vesicaria ssp. Sativa*), espécie esta que vem sendo consumida cada vez mais pelos brasileiros e de fácil produção.

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

Para o desenvolvimento do presente trabalho foi utilizado o EP (extrato pirolenhoso) em duas formas: material decantando (EPDec) e material destilado (EPDest). Esses produtos foram fornecidos por um produtor rural da região de Martinópolis – SP que possui uma carvoaria.

O EP foi obtido a partir da condensação da fumaça emitida durante o processo de carbonização da madeira do eucalipto, quando a fumaça estava com temperatura entre 80 e 120 ° C. O líquido recolhido foi deixado em local protegido da luz por um período mínimo de 6 meses para que ocorresse o processo de decantação do alcatrão. Posteriormente o EPDec foi recolhido a uma altura de cerca de 30% acima do fundo do recipiente em relação à sua altura total. Já o EPDest foi obtido a partir da destilação do EPDec, a uma temperatura entre 110 e 120 ° C, com o objetivo de eliminar o alcatrão ainda presente.

O experimento foi instalado entre os meses de março e abril de 2019, na casa de vegetação, no Campus II da Unoeste – Presidente Prudente. O delineamento experimental utilizado foi em blocos inteiramente casualizados, com seis tratamentos dispostos em esquema fatorial 2x3 e cinco repetições, sendo cada parcela representada por um vaso com 12 dm³ de solo e cinco plantas/vaso. O esquema fatorial refere-se a dois tipos de tratamento do substrato (com e sem aplicação do EPDec) e três tipos de tratamento foliar (sem aplicação de produto, aplicação semanal do EPDest e aplicação quinzenal do EPDest).

O EP decantado foi aplicado no solo nos tratamentos T2, T3 e T4. E nos tratamentos T1, T5 e T6 foi aplicado somente água para o plantio. Após 7 dias da aplicação do EP as mudas foram transplantadas para os vasos, e passados 10 dias do transplante se iniciou a aplicação foliar conforme os tratamentos abaixo.

Tratamentos	Aplicações
T1	Adubação química (AQ) recomendada para a cultura + Regas semanais com água deionizada.
T2	AQ recomendada para a cultura + EPDec aplicado diretamente ao solo do vaso uma semana antes do transplante com solução de 4%
T3	AQ recomendada para a cultura + EPDest aplicado diretamente ao solo do vaso uma semana antes do transplante com solução de 4% + EPDest em regas em 5 dias com solução de 0,4% com início após transplante das mudas
T4	AQ recomendada para a cultura + EPDest aplicado diretamente ao solo do vaso uma semana antes do transplante com solução de 4% + EPDest em regas em 10 dias com solução de 0,4% com início após transplante das mudas
T5	AQ recomendada para a cultura + EPDest em regas em 5 dias com solução de 0,4% com início após transplante das mudas
T6	AQ recomendada para a cultura + EPDest em regas em 10 dias com solução de 0,4% com início após transplante das mudas

Quadro 1. Tipos de tratamentos

Fonte: Os autores (2020).

As irrigações das mudas eram feitas em dias alternados com 510 ml de água para manter o solo sempre úmido. As análises biométricas foram realizadas a partir do dia do plantio, onde semanalmente foram avaliadas com uma régua graduada a altura máxima das rúculas.

Após o corte que se deu após 41 dias foi realizado com uma balança de precisão o peso da massa verde da rúcula, e posteriormente foi realizada a secagem das folhas em uma estufa de circulação forçada por 72h, a 65°C, após esse período as folhas foram pesadas novamente.

Também foi determinada a massa verde das raízes com o auxílio de uma balança, a secagem do material ocorreu em estufa de circulação forçada por 72h, a 65°C, após esse período as raízes foram novamente pesadas e posteriormente com o auxílio de uma régua graduada foi verificado o comprimento das raízes.

Foram realizadas coletas de solos de cada vaso (0-10 e 10-20cm), para análise química de determinação dos teores de pH (H_2O e $CaCl_2$), e condutividade elétrica do solo.

Nas Figuras 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7 podemos avaliar o crescimento das mudas de rúculas ao decorrer das semanas, até chegar ao quadragésimo primeiro dia onde foi realizado o corte das mesmas.



Figura 1. Preparo dos vasos e aplicação do licor pirolenhoso decantado no solo

Fonte: Os autores (2020).



Figura 2. Mudanças de rúculas transplantadas nos vasos

Fonte: Os autores (2020).



Figura 3. Mudanças de rúculas com dez dias após o plantio

Fonte: Os autores (2020).



Figura 4. Mudanças de rúculas com duas semanas de plantio

Fonte: Os autores (2020).



Figura 5. Mudanças de rúculas com três semanas de plantio

Fonte: Os autores (2020).



Figura 6. Mudanças de rúculas com quatro semanas de plantio

Fonte: Os autores (2020).



Figura 7. Mudas de rúculas no dia da colheita

Fonte: Os autores (2020).

3 | RESULTADOS

3.1 Análise de massa das rúculas

Observando os gráficos abaixo nota-se que o T5 apresentou os melhores resultados em relação a massa verde e massa seca da parte aérea da rúcula, onde houve aplicação do EPDest em regas em 5 dias com solução de 0,4%. Assim como Mascarenhas (2006), em seu estudo constatou que o uso do extrato pirolenhoso na produtividade de alface, nas doses testadas não causou sintomas de fitotoxicidade à cultura e, a utilização do extrato em rega no plantio juntamente com composto orgânico, aumentou a produtividade em 35% em relação aos outros tratamentos. Verificou-se no presente estudo que a produtividade de rúcula foi maior após receber tratamento de regas no plantio.

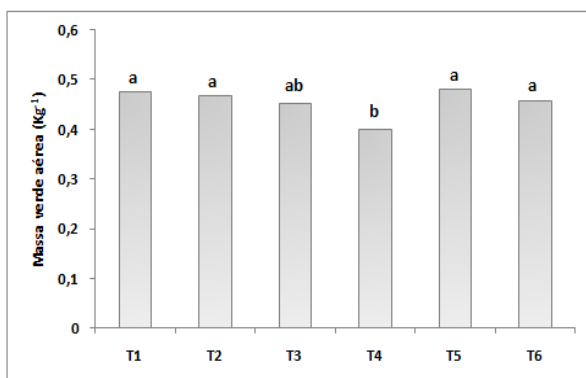


Figura 8. Média da massa verde da parte aérea

Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si ($p < 0,05$).

Fonte: Os autores (2020).

Apesar do T5 apresentar os maiores valores de produtividade (Figura 8) não houve significância estatística entre o T5, T1, T2, T3 e T6. Já com relação a massa seca aérea da rúcula (Figura 9) não houve significância estatística entre os tratamentos.

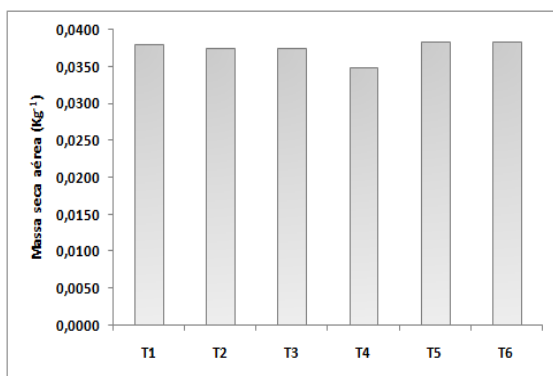


Figura 9. Média da massa seca da parte aérea

Fonte: Os autores (2020).

3.2 Análise de massa e comprimento das raízes de rúculas

Nota-se que os maiores valores com relação a massa verde de raízes foram obtidos no T2 (AQ recomendada para a cultura + EPDec aplicado diretamente ao solo do vaso uma semana antes do transplante com solução de 4%), porém houve diferença estatística somente do T2 em relação ao T4 (Figura 10).

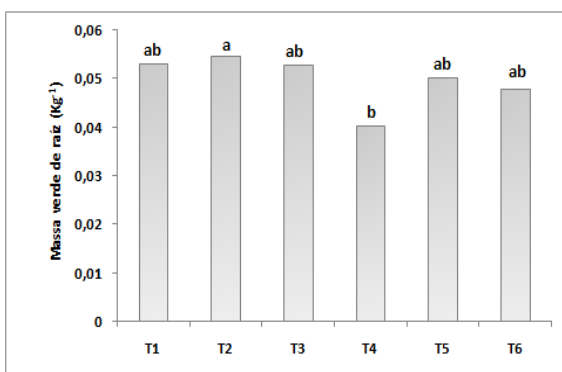


Figura 10. Média da massa verde de raízes

Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si ($p < 0,05$).

Fonte: Os autores (2020).

Já na Figura 11 observa-se que para a massa seca de raiz o T1 (Adubação química - AQ recomendada para a cultura + Regas semanais com água deionizada) apresentou os maiores resultados, diferindo estatisticamente dos demais tratamentos.

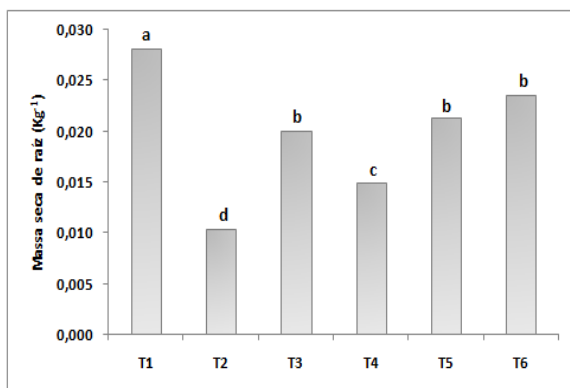


Figura 11. Média da massa seca de raízes

Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si ($p < 0,05$).

Fonte: Os autores (2020).

Com relação ao comprimento de raízes, nota-se na Figura 12 que o T5 obteve o melhor resultado. Havendo diferença estatística do T5 com referência aos T1, T2, T3 e T4.

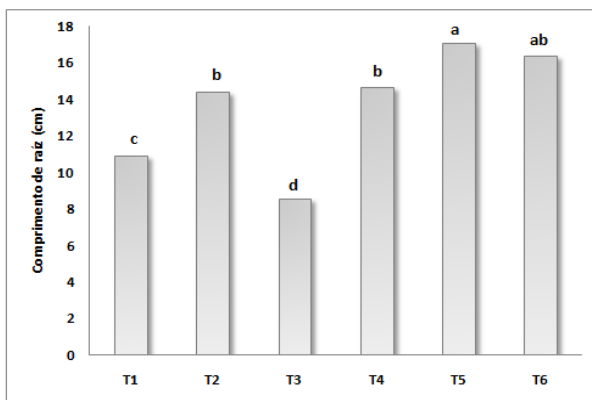


Figura 12. Média do comprimento de raízes

Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si ($p < 0,05$).

Fonte: Os autores (2019).

3.3 Análise química do solo

Na Figura 13 observa-se que o T5 (AQ recomendada para a cultura + EPDest em regas em 5 dias com solução de 0,4% com início após transplante das mudas) e o T2 (AQ recomendada para a cultura + EPDec aplicado diretamente ao solo do vaso uma semana antes do transplante com solução de 4%) apresentaram os valores medianos mais altos, podendo significar que o solo nesses tratamentos possuem maior condutividade elétrica.

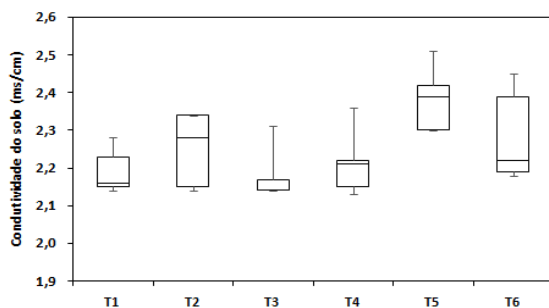


Figura 13. Análise de condutividade do solo (ms/cm)

Fonte: Os autores (2020).

Com relação ao pH do solo nota-se que o T6 (AQ recomendada para a cultura + EPDest em regas em 10 dias com solução de 0,4% com início após transplante das mudas) apresentou maior valor. Porém deve-se tomar cuidado com valores de pH alto, pois nem sempre pH alto é bom para um bom desenvolvimento de plantas. Segundo Moraes (1997), de modo geral, valores de pH considerados como ideais para o cultivo de hortaliças estão dentro da faixa de 5,5 a 7.

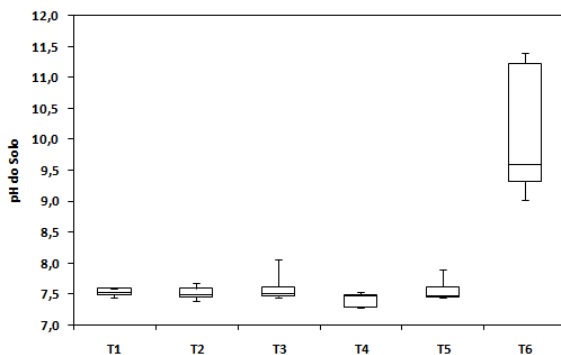


Figura 14. Análise do pH do solo

Fonte: Os autores (2020).

4 | CONCLUSÕES

O estudo demonstrou que o uso de extrato pirolenhoso foi eficaz na produção de rúcula, o T5 apresentou resultados satisfatórios quanto ao maior peso verde e seco da parte aérea das rúculas, e crescimento de raízes. Quanto ao peso verde os melhores resultados foram encontrados nos T1, T2, T3, T5 e T6 e, para o peso seco foi no T1.

Ao que diz respeito ao solo o T2 e T5, obtiveram melhor desempenho quanto à condutividade do solo. Já quanto ao pH o T6 obteve o maior valor, porém os demais tratamentos encontravam-se dentro de uma faixa ideal para a hortaliça.

O extrato pirolenhoso contribuiu para um melhor desempenho da hortaliça rúcula e outras pesquisas devem ser realizadas, pois se trata de uma forma ecologicamente correta de produção, sustentável e que pode gerar novas fontes de renda, principalmente para pequenos produtores agrícolas.

REFERÊNCIAS

BENITES, V. M *et al.* **Utilização do carvão e subprodutos da carbonização vegetal na agricultura: Aprendendo com as terras pretas de índio.** In: TEIXEIRA, W.G. et al. (Ed). As terras pretas de índio da Amazônia: sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas. Manaus: EDUA/EMBRAPA Amazônia ocidental, 2009. p. 286-297.

CAMPOS, A. D. **Técnicas para produção de extrato pirolenhoso para uso agrícola.** Embrapa Clima Temperado, Pelotas, Dezembro. 2007.

MASCARENHAS, M. H. T.; LARA, J. F. R.; PURCINO, H. M. A.; SIMÕES, J. C.; MOREIRA, D. C.; FACION, C. E. **Efeito da utilização do extrato pirolenhoso na produtividade do quiabeiro.** Revista Brasileira de Horticultura, v. 24, n. 1, p. 3126-3128, 2006b.

MORAES, C. A. G. de **Hidroponia: Como cultivar tomates em sistema NFT.** 1. Ed. Jundiaí: DISQ Editora, 1997. 143 p.

SILVEIRA, C. M. **Influência do Extrato Pirolenhoso no desenvolvimento e crescimento de plantas de milho.** Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2010.

SANTOS, F.; COLODETTE, J.; QUEIROZ, J. H. **Bioenergia & Biorrefinaria: cana-de-açúcar e espécies florestais.** 2013. cap.16: Pirólise Lenta da Madeira para Produção de Carvão Vegetal, p.430-435.

CAPÍTULO 11

CLIMATIZADORES EVAPORATIVOS INDIRETOS ECOLÓGICOS E POPULARES PARA REDUÇÃO DO ESTRESSE TÉRMICO EM ORDENHADEIRAS PARA HUMANOS E ANIMAIS

Data de aceite: 01/09/2020

Alexandre Fernandes Santos

Universidade Beira Interior, Rua Marquês
d'Ávila e Bolama, 6201-001, Covilhã, Portugal.
<https://orcid.org/0000-0001-5306-6968>

Marcelo Luiz Hoffmann

Programa de Pós-Graduação Engenharia de
refrigeração alimentar-SENAI

Heraldo José Lopes de Souza

Fapro – Faculdade Profissional. Curitiba -
Paraná
<https://orcid.org/0000-0002-8471-7804>

Pedro Dinis Gaspar

University of Beira Interior, Rua Marquês
d'Ávila e Bolama, 6201-001, Covilhã, Portugal
C-MAST - Centre for Mechanical and
Aerospace Science and Technologies,
University of Beira Interior, Covilhã, Portugal
<https://orcid.org/0000-0003-1691-1709>

RESUMO: É extremamente importante o resfriamento de ambientes para os seres humanos como para todos os animais, como vivemos num país tropical, mas com uma extensão enorme, encontramos diferenças de temperaturas nos diversos Estados da União, e o estudo das zonas de conforto térmico, proporciona um aumento na condição de vida do humano e um aumento na produção, pela diminuição do estresse causado pelas alterações de temperaturas brutas. Este artigo apresenta um sistema evaporativo indireto

em locais abertos, onde se necessita uma diminuição de temperatura, para a redução do estresse térmico causado em animais e pessoas que trabalham voltadas a produção leiteira. Utilizando, materiais recicláveis e de baixo custo, aproveitando também a água da chuva para o processo da retirada de calor pela evaporação.

PALAVRAS-CHAVE: Evaporativo Indireto, Resfriamento, Ambientes.

INDIRECT ECOLOGICAL AND POPULAR EVAPORATIVE CLIMATIZERS TO REDUCE THERMAL STRESS IN MILK AND ANIMALS

ABSTRACT: It is extremely important to cool environments for human beings as well as for all animals, as we live in a tropical country, but with a huge extent, we find differences in temperatures in the different States of the Union, and the study of thermal comfort zones, it provides an increase in the human condition of life and an increase in production, by decreasing the stress caused by changes in gross temperatures. This article presents an indirect evaporative system in open places, where a decrease in temperature is needed, to reduce the thermal stress caused in animals and people working in dairy production. Using recyclable and low-cost materials, also taking advantage of rainwater for the process of removing heat by evaporation.

KEYWORDS: Indirect Evaporative, Cooling, Environments.

1 | INTRODUÇÃO

Com o aumento do preço da energia elétrica e a tendência nacional de aderir a equipamentos energeticamente mais eficientes e ambientalmente corretos, a ideia de resfriadores evaporativos vem como uma opção amigável aos olhos de quem deseja uma diminuição de temperatura junto a um baixo consumo de energia elétrica.

O resfriamento de ambientes se torna muito importante para pessoas e animais que se encontram em locais de temperatura acima da zona de conforto térmico, proporcionando um aumento na produção pela diminuição do estresse causado pelas altas temperaturas.

Este artigo apresenta a utilização do sistema evaporativo indireto que pode vir a ser fabricado pelo próprio produtor rural a partir de materiais recicláveis mesmo para climatização em locais abertos, onde se necessita uma modesta diminuição de temperatura, para a redução do estresse térmico causado em animais e pessoas voltadas a produção leiteira. Isto utilizando, em sua maior parte, materiais recicláveis e de baixo custo, aproveitando também a água da chuva para o processo da retirada de calor pela evaporação (CAMARGO, 2009).

1.1 Sistemas de Climatização

Atualmente o sistema de refrigeração mais utilizado é o de compressão mecânica. O sistema básico consiste em um compressor, seguido de um condensador, um dispositivo de expansão e uma unidade evaporadora, conforme Figura 1.

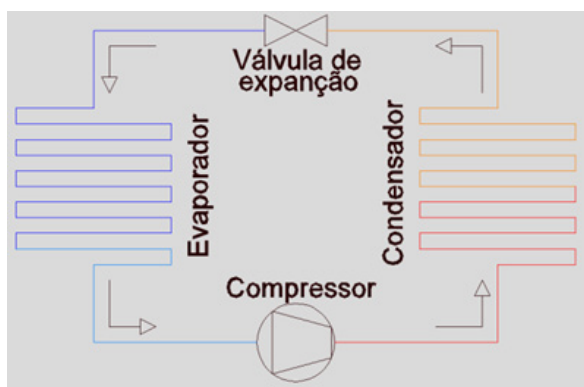


Figura 1: Esquema básico de refrigeração por compressão mecânica

Este sistema tem como vantagem o grande range de temperaturas que podem serem utilizadas para climatizar um ambiente, podendo até chegar a temperaturas negativas, dependendo dos equipamentos utilizados. Como desvantagens se tem o alto custo de instalação, manutenção e operação do equipamento, além de utilizar fluidos refrigerantes e óleos lubrificantes que agredem o meio ambiente.

O resfriamento do ar através do sistema evaporativo (direto e indireto) utiliza apenas a água e o ar como fluidos de trabalho.

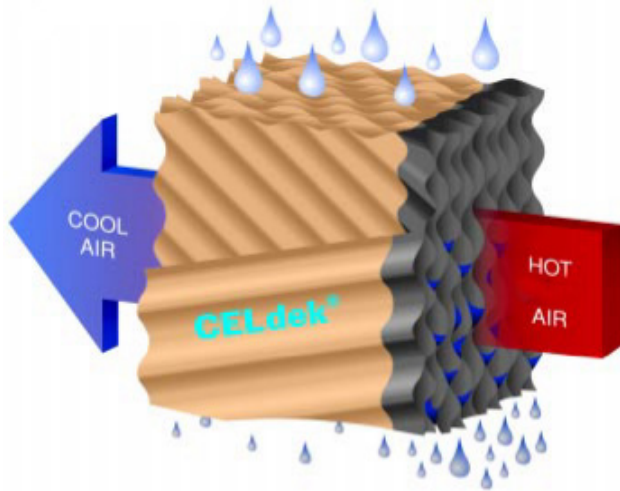


Figura 2 - Painel CELdek de auto eficiência para evaporativo direto (Munters, 2020).

Mas o evaporativo direto tem a premissa de aumento da umidade, ou seja, redução de temperatura com aumento da umidade absoluta (gramas de vapor/kg de ar seco), conforme descrito no diagrama psicrométrico abaixo:

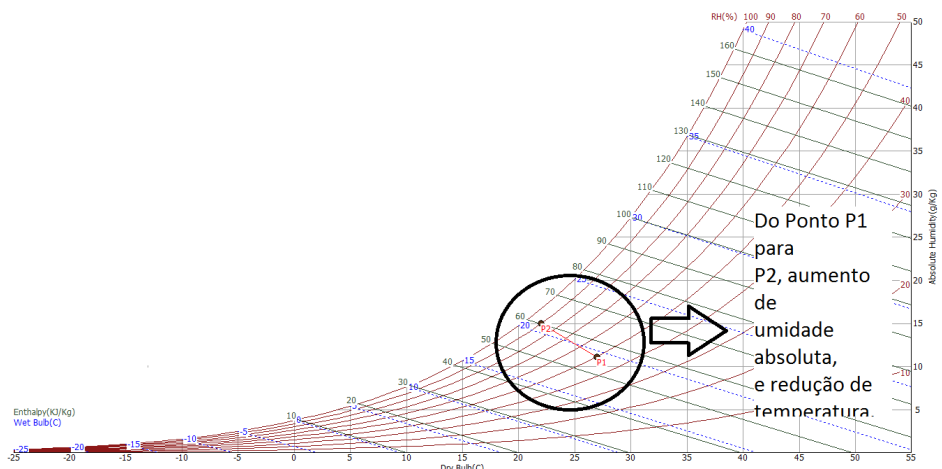


Gráfico 1 – Carta psicrométrica (Moreira, 1999).

Esse incremento de umidade absoluta pode ser causador de aumento de proliferação de fungos, algas e bactérias no ambiente de produção animal. Segundo a ASHRAE existe relação entre crescimento de umidade e fungos, conforme gráfico abaixo da ASHRAE, 2020:

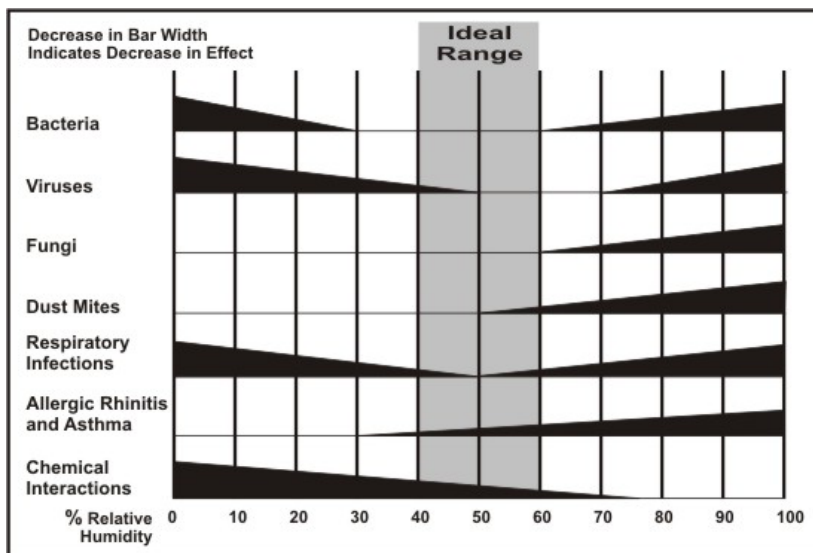


Gráfico 2 – Relação umidade e bactéria.

O processo do sistema evaporativo indireto consiste na passagem do ar através de dutos feitos de materiais que sejam bons condutores de calor, como cobre ou alumínio. Estes dutos possuem em suas paredes externas um fluxo de água e ar, sendo que a retirada de calor está na evaporação da água que se encontra em contato com o tubo. O tubo esfria e retira o calor do ar que passa em seu interior, deixando-o a uma temperatura mais baixa. Este sistema mostra-se vantajoso em locais com grande índice de renovação de ar e onde não se deseja uma mudança na umidade absoluta do ar interno, conforme esquema psicrométrico abaixo (redução de temperatura, mantendo-se a umidade absoluta) (Moreira, 1999),(COSTA, 2011):

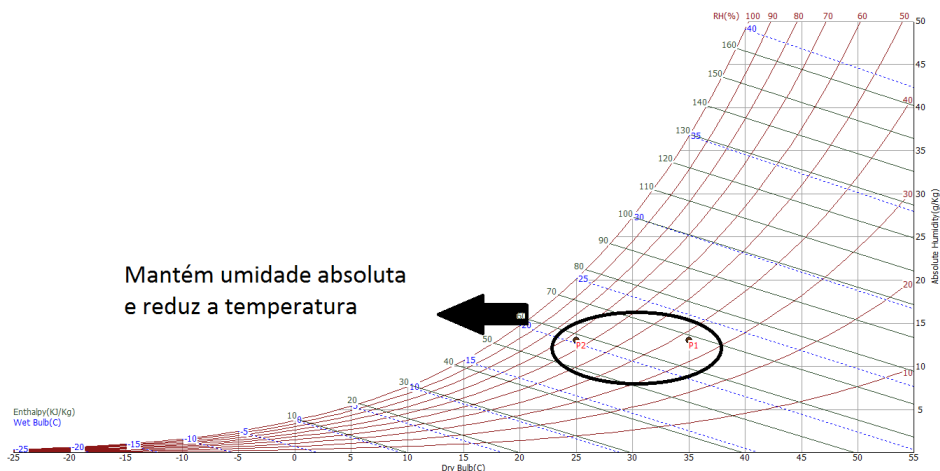


Gráfico 3 – carta psicrométrica demonstrando redução temperatura, mantendo a umidade absoluta (Moreira, 1999).

O esquema de funcionamento do climatizador evaporativo indireto está ilustrado nas figuras 3 e 4.

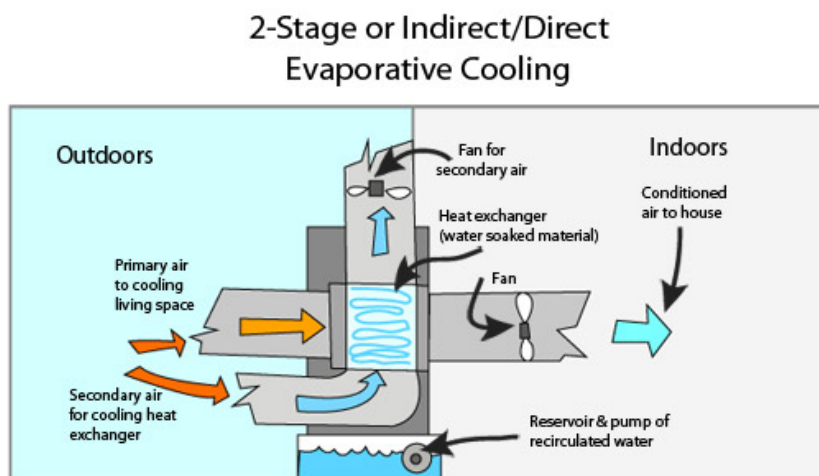


Figura 3 – Dois estágios ou evaporativo indireto/direto (DRENERGYSAVER, 2020).

Especificamente já existem evaporativos indiretos para Datacenters, empresas como a Munters do Brasil desenvolve resfriadores evaporativos indiretos que podem reduzir significativamente a capacidade de refrigeração em praticamente todos os tipos de climas, o que não ocorre com os economizadores ar-ar convencionais ou economizadores

de bulbo úmido, uma das metodologias conhecidas para calcular eficiência em datacenters EUED (Energy Usage Effectiveness Design) já usa em suas metodologias de cálculo o sistema evaporativo para reduzir o consumo de energia em datacenters (Santos et al., 2019).

Esta tecnologia de refrigeração promete se desenvolver em um futuro próximo, devido ao seu baixíssimo consumo de energia e alta eficiência em sua gama de aplicações (Porumb et al., 2016).

A diferença é que o evaporativo indireto vai além do bulbo úmido, podendo chegar no ponto de orvalho se gerado em cascata (HASAN, 2012).

2 | CLIMATIZADOR EVAPORATIVO INDIRETO POPULAR

Visando um equipamento de baixo custo e que possa ser fabricado em casa, o climatizador apresentado neste artigo é feito quase todo de materiais reciclados. A água para o processo de evaporação é proveniente da chuva, que é armazenada em uma caixa d'água e bombeada para o climatizador quando em funcionamento.

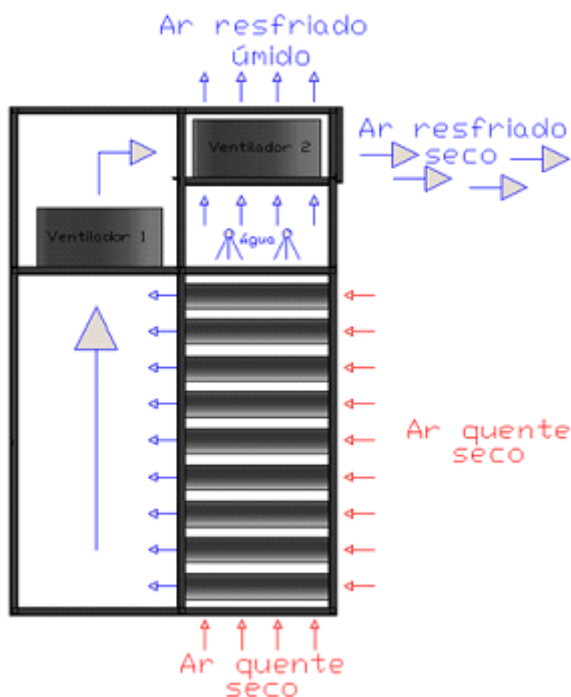


Figura 4: Funcionamento do climatizador evaporativo indireto.

Os materiais utilizados na fabricação foram os seguintes:

- 20 metros de fio flexível 1 mm² (sobras de construção);
- 1 contatora Siemens 3RT10 15-1AN21 7 A;
- 1 interruptor simples (para iluminação);
- 40 metros de ferro cantoneira 5/8" x 1/8";
- 8 m² de forro de PVC (sobras de construção);
- 2 ventiladores axiais de 300 mm;
- 297 latas de cerveja do tipo "palito";
- 4 m² de tecido de algodão (lençol velho);
- 16 parafusos auto brocantes 4,2 x 13 mm;
- 1 rolo de fita de alumínio;
- 2 tubos de silicone acético incolor;
- 1 Reservatório de água (já existente no local);
- 2 metros de cano de PVC (sobra de construção);
- Bomba de água (máquina de lavar roupa);
- 6 folhas de isopor 100 x 50 x 2 centímetros;
- 8 m² de lona preta.

A montagem teve início com a solda das cantoneiras para formar uma estrutura de 120 x 120 x 78 cm. Algumas junções foram parafusadas para facilitar futuras manutenções.

O suporte das latas foi feito com folhas de PVC 8 mm (forro) furadas a distâncias pré-determinadas de modo que uma carreira de latas fique no mesmo distanciamento que as outras. Fazendo com que o ar externo passe igualmente por entre elas.

As latas de alumínio foram furadas ao fundo com uma serra copo 22 mm e unidas de três em três através de um pedaço de fita alumínio, sendo que esta oferece bastante firmeza na ligação e ajuda na condução térmica da evaporação da água para as latas. As latas foram envoltas por uma tira de pano de algodão para melhorar o contato da água na superfície.

A fixação das latas no suporte foi feita através do tensionamentos de arrames entre a furação de algumas das latas, que acabou ficando bastante resistente.

Após a montagem da "unidade evaporativa" (Foto 1), ela foi fixada na estrutura, juntamente com os dois ventiladores e parte das divisórias com forro de PVC. Em seguida foi colocado o cano de PVC em que a água irá passar e molhar as latas através de gotejamento (Foto 4).

Essa água cai em uma calha e é direcionada a um recipiente onde se encontra uma bomba d'água que faz o processo de recirculação. Como a água cai do distribuidor em forma de gotas e a vazão do ar não é forte o suficiente para gerar arraste, não foi necessária a instalação de um “eliminador de gotas”. Observa-se também que, não havendo a dispersão de partículas de água para fora do climatizador, não existe a possibilidade de contaminação do ambiente através da bactérias como a *Legionella pneumophila*.



Foto 1 – Unidade evaporativa.



Foto 2 - Vista interna do climatizador.



Foto3 – Captação de água de chuva



Foto 4: Distribuidor com PVC em que a água irá passar e molhar as latas através de gotejamento.

2.1 Instalação no local de trabalho

O climatizador foi instalado em uma sala de ordenha de ambiente semiaberto, fixado a uma altura de 2,4 metros, sendo que o duto fica a uma altura de 2,6 metros, apontado para o centro do ambiente de trabalho.

A ligação elétrica do equipamento foi feita através de uma contatora 3RT10 15-1AN21 da SIEMENS com uma capacidade de corrente de sete ampères, acionada por um

interruptor simples de sobrepor (aqueles usados em iluminação residencial). Devido à baixa corrente elétrica necessária para o funcionamento do climatizador (2,3A) e a proximidade do ramal (1,5 metros), foram utilizados fios flexíveis de 1mm² de secção transversal. Dois termômetros digitais foram instalados, um na entrada de ar e o outro na saída do duto, apenas para mostrar a diferença de temperatura do ar que passa pelo sistema.

O circuito hidráulico acontece da seguinte forma: uma bomba de água faz com que o líquido passe por uma mangueira e seja enviado até os canos de PVC, que fazem com que essa água seja distribuída igualmente por todas as latas. A água que vai passando pelas latas cai em uma calha e é transporta até um recipiente, onde é novamente succionada pela bomba, fechando assim o circuito. A adição de água para compensar a que se perde no processo de evaporação é feita manualmente, caso haja necessidade, levando em consideração que a cada vez que o climatizador é utilizado, a água que sobra no final é descartada, para evitar a criação de fungos e bactérias e não permitir um ambiente favorável para a reprodução de insetos, como o mosquito da dengue. Portanto, quando necessário o uso do climatizador, a água no recipiente deve ser reposta. A água utilizada no processo é captada da chuva e armazenada em tambores fechados.

2.2 Escolha dos materiais e princípios de funcionamento

A utilização de latas de alumínio foi escolhida por ser um material reciclável, leve, e com excelente condutibilidade térmica, além de proporcionar um fluxo de ar turbulento em seu interior, o que melhora a troca térmica entre o ar e a lata e aumenta o rendimento do equipamento.

O tecido colocado ao redor das latas serve para melhorar a área de contato da água com as mesmas. A ausência do tecido faz com que a água fique escorrendo em forma de trilhos, reduzindo drasticamente a área de contato entre a água e as latas e o rendimento do equipamento.

O forro de PVC foi utilizado visando um isolamento térmico do ar que passa pela parte interna do climatizador com o meio externo, além de ser um material leve e de fácil manuseio. O isopor entrou como um auxílio no isolamento térmico.

Foram utilizados dois ventiladores axiais, um com vazão de ar de 1800 m³/h para retirar o ar que passa por fora das latas e promover a entrada de ar seco no sistema para que a água evapore e retire o calor dos dutos, e outro com vazão de 2050 m³/h pra forçar o ar a passar por dentro das latas, resfriando-o, e sair pela extremidade do duto, que possui diâmetro de 350 mm.



Figura 5: Velocidades do ar

3 | RESULTADOS E CONCLUSÕES

Em testes realizados no local foi observado o seguinte:

Sem climatização, a temperatura do local estava a 33,6°C e U.R. (umidade relativa) em 70% sendo que o índice de calor, que é a temperatura sentida com a combinação da temperatura do ar e a umidade do ar, era de 44°C. Após ligar os ventiladores, a temperatura do ar permaneceu a mesma, porém o índice de calor diminuiu, por motivo do ar que sai pelo duto produzir uma brisa que expulsa o ar úmido e aquecido do ambiente, enviando um ar mais seco com aproximadamente 55% de U.R. (que é o ar que entra no climatizador), resultando num índice de calor de 38°C. Quando a água começou a circular pelo sistema a temperatura medida pelo sensor caiu para 30,4°C, reduzindo ainda mais a temperatura sentida pelos trabalhadores, que ficou em torno de 32°C (Tabela 1).



Foto 5 - Detalhe das temperaturas

Índice de Calor (°C)																
Temperatura	Umidade Relativa (%)															
	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100			
47	58															
43	54	58														
41	51	54	58													
40	48	51	54	58												
39	46	48	51	54	58											
38	43	46	48	51	54	58										
37	41	43	45	47	51	53	57									
36	38	40	42	44	47	49	52	56								
34	36	38	39	41	43	46	48	51	54	57						
33	34	36	37	38	41	42	44	47	49	52	55					
32	33	34	35	36	38	39	41	43	45	47	50	53	56			
31	31	32	33	34	35	37	38	39	41	43	45	47	49			
30	29	31	31	32	33	34	35	36	38	39	41	42	44			
29	28	29	29	30	31	32	32	33	34	36	37	38	39			
28	27	28	28	29	29	29	30	31	32	32	33	34	35			
27	27	27	27	27	28	28	28	29	29	29	30	30	31			
Categoria	Índice de Calor								Possíveis problemas ocasionados pelo calor							
Extremo Perigo	>54°								Golpe de Calor ou possível insolação							
Perigo	41° - 54°								Insolação, câimbras musculares e/ou esgotamento pelo calor. Possível insolação por prolongada exposição e/ou atividade física							
Precaução Extrema	32° - 41°								Insolação, câimbras musculares e/ou esgotamento pelo calor. Possível insolação por prolongada exposição e/ou atividade física							
Precaução	27° - 32°								Possível fadiga por prolongada exposição e/ou atividade física							

Tabela 1: Tabela utilizada para encontrar a sensação de calor sentida pelas pessoas (NOAA, 2020).

A conclusão que pode ser tirada deste trabalho é que, em ambientes abertos e onde não é possível a recirculação do ar pelo climatizador, a opção pelo resfriamento evaporativo indireto se torna vantajosa, visto que seu custo de aquisição (aproximadamente R\$ 600,00) é inferior se comparado a um sistema de refrigeração por compressão mecânica (ar condicionado, em torno de R\$ 1200,00), e também pela baixa manutenção e consumo de energia elétrica deste equipamento. A redução de temperatura foi satisfatória para os funcionários que trabalham no local.



Foto 6 - Climatizador em operação

REFERÊNCIAS

ASHRAE. **Relative humidity**. Disponível em www.ashrae.org, Acessado em 03/02/2020.

BOGDAN, Porumb; UNGURESAN, Paula; TUTUNARU, Lucian F.; SERBAN, Alexandru; BĂLAN, Mugur. **A review of indirect evaporative cooling technology**. Sustainable solutions for energy and environment, EENVIRO – YRC 2015, 18-20 November 2015, Bucharest. Romania.

CAMARGO, José Rui. **Resfriamento Evaporativo – Climatização Ecológica**. Editora Ciência Moderna Ltda., 2009.

COSTA, Ennio Cruz da. **Física aplicada à construção – Conforto térmico**. Editora Blucher. 4 edição. São Paulo. 2011.

DREENERGYSAVER. **Two stage evaporative cooling**. Disponível em <http://www.drenergysaver.com/cooling-systems/evaporative-cooling/two-stage-evaporative-cooling.html>, Acessado em 03/04/2020.

HASAN, Ala. **Going below the wet-bulb temperature by indirect evaporative cooling: Analysis using a modified ε -NTU method**. Aalto University, School of Engineering, Department of Energy Technology, Aalto, Finland. January 2012.

MOREIRA, José R. Simões. **Fundamentos e aplicações da Psicrometria**. RPA Editorial Ltda., 1999.

MUNTERS. CELdeck. Disponível em www.munters.com.br, Acessado em 10/02/2020.

NÃÃS, Irenilza de Alencar. **Princípios de conforto térmico na produção animal**. Editora Ícone. São Paulo. 1989.

NOAA, **El Calor Extremo: El Principal Causante De Muerte**. Disponível em: <http://www.nws.noaa.gov/om/heat/index-s.shtml#wwa>, Acessado em 25 de março de 2020.

SANTOS, Alexandre F.; GASPAR, Pedro D.; SOUZA, Heraldo J. L. **Evaluation of the heat and energy performance of a datacenter using a new efficiency index: Energy Usage Effectiveness Design – EUED**. UBI. Covilhã. Portugal. ISSN 1678-4324. 2020.

STEINBRECHER, R. A.; SCHMIDT, R. **Data Center Environments: ASHRAE's Evolving Thermal Guidelines**. ASHRAE Journal. December 2011, pp. 42.

CAPÍTULO 12

UM ESTUDO DOS EFEITOS DA GEOMETRIA SOBRE OS PARÂMETROS TERMO-FÍSICOS EM PROCESSOS DE SECAGEM DE GENGIBRE

Data de aceite: 01/09/2020

Data de submissão: 31/05/2020

André Macedo Costa

Centro de Educação e Saúde, Universidade
Federal de Campina Grande
Picuí - Paraíba
<http://lattes.cnpq.br/9242194135022833>

Aluizio Freire da Silva Júnior

Centro de Educação e Saúde, Universidade
Federal de Campina Grande
Cuité – Paraíba
<http://lattes.cnpq.br/4720593438601826>

Thamires Mabel Queiroz de Oliveira

Centro de Educação e Saúde, Universidade
Federal de Campina Grande
Cuité – Paraíba
<http://lattes.cnpq.br/1331377072016098>

Geovane Tavares Nogueira

Centro de Educação e Saúde, Universidade
Federal de Campina Grande
Cuité – Paraíba
<http://lattes.cnpq.br/0279366339815080>

Vera Solange de Oliveira Farias

Centro de Educação e Saúde, Universidade
Federal de Campina Grande
Cuité – Paraíba
<http://lattes.cnpq.br/0923353123868517>

Jucimeri Ismael de lima

Centro de Educação e Saúde, Universidade
Federal de Campina Grande
Cuité – Paraíba
<http://lattes.cnpq.br/5029010344083386>

Isaac Ferreira de Lima

Centro de Educação e Saúde, Universidade
Federal de Campina Grande
Baraúna – Paraíba
<http://lattes.cnpq.br/2465619194340525>

Jair Stefanini Pereira de Ataíde

Centro de Educação e Saúde, Universidade
Federal de Campina Grande
Cuité – Paraíba
<http://lattes.cnpq.br/3201374347373584>

Helymarckson Batista de Azevedo

Centro de Educação e Saúde, Universidade
Federal de Campina Grande
Picuí - Paraíba
<http://lattes.cnpq.br/5989088970078161>

Marcos Sérgio Florêncio Júnior

Centro de Educação e Saúde, Universidade
Federal de Campina Grande
Jaçanã – Rio Grande do Norte
<http://lattes.cnpq.br/1777498822372269>

Marcos Wagner da Silva Araújo

Centro de Educação e Saúde, Universidade
Federal de Campina Grande
Jaçanã – Rio Grande do Norte
<https://orcid.org/0000-0002-9869-6055>

Raquel Alves de Medeiros

Centro de Educação e Saúde, Universidade
Federal de Campina Grande
Cuité – Paraíba
<http://lattes.cnpq.br/2851756831613284>

RESUMO: Essa pesquisa teve como objetivo comparar modelos difusivos com geometrias

distintas para a descrição da secagem de gengibre. Para tanto, foi desenvolvido um código em linguagem Fortran, utilizando uma solução da equação de difusão considerando a geometria de um cilindro finito. Foram realizados experimentos de secagem de gengibre, sendo utilizadas fatias com espessura de aproximadamente 10mm e submetidas a desidratação osmótica durante 30 horas, em solução de sacarose com concentração de 17°Brix. Em seguida as amostras foram destinadas a secagem nas temperaturas de 60 e 85°C, onde permaneceram até atingir o equilíbrio. Além do código desenvolvido, foi utilizado um *software* com uma solução da equação de difusão considerando a geometria de uma parede infinita. Foram realizadas otimizações e simulações das secagens, além da simulação da distribuição de água no interior do produto nos dois programas. Através dos dados obtidos observou-se que ambas as geometrias descreveram bem a secagem, entretanto analisando fisicamente os resultados percebe-se que a geometria de um cilindro finito gerou parâmetros de ajuste mais coerentes com a literatura e uma simulação da distribuição de água mais próxima da real. Portanto, concluiu-se que a geometria de um cilindro finito é mais adequada para a secagem de gengibre osmoticamente desidratado.

PALAVRAS-CHAVE: Equação de difusão, Desidratação osmótica, Produtos biológicos.

A STUDY OF EFFECTS GEOMETRY ON THERMAL PHYSICAL PARAMETERS IN GINGER DRYING PROCESSES

ABSTRACT: This research aimed to compare diffusive models with distinct geometries for the description of ginger drying. To this end, it was developed a code in Fortran language, using a solution of the diffusion equation considering the geometry of a finite cylinder. Drying experiments of ginger were performed, using slices with thickness of approximately 10mm and undergoing osmotic dehydration for 30 hours, in distilled water and sucrose solution with a concentration of 17°Brix. After that the samples were intended for drying at temperatures of 60 and 85°C, where they remained until they reached equilibrium. In addition to the developed code, a program with a solution of the diffusion equation was used considering the geometry of an infinite wall. Drying optimizations and simulations were performed, in addition to simulating the water distribution inside the product in both programs. Through the data obtained it was observed that both geometries well described drying, however physically analyzing the results it is clear that the geometry of a finite cylinder generated adjustment parameters more consistent with the literature and a simulation of the water distribution closest to the actual phenomenon. Therefore, it is concluded that the geometry of a finite cylinder is best suited to describe the drying of osmotically dehydrated ginger.

KEYWORDS: Diffusion equation, Osmotic dehydration, Biological products.

1 | INTRODUÇÃO

A secagem é um processo complexo que envolve transferência de calor e massa e possui diversos fatores que o influenciam diretamente, tais como: a técnica aplicada, a temperatura de secagem, a velocidade do ar de secagem, geometria do produto, entre outros. Entre os fatores destacados, a geometria do produto é um dos mais relevantes,

principalmente quando a modelagem matemática aplicada admite o encolhimento. A geometria do produto torna-se importante, devido ao fato de que a taxa de transferência de massa é afetada pelo encolhimento e pelas mudanças no volume, e a geometria do produto é um dos fatores que influencia (DEHGHANNYA, GORBANI & GHANBARZADEH, 2016). Deste modo, a geometria admitida no modelo matemático adotado também tem papel importante na descrição da secagem.

Heydari et al. (2018) estudaram os efeitos das condições iniciais de cubos de argilas sobre os estresses produzidos pela secagem. Entre os fatores estudados durante o processo, estava as variações da geometria do produto. Para isto, uma câmera digital foi acoplada ao sistema de secagem a fim de acompanhar as variações geométricas da superfície desse produto. Foi observado, ao comparar os modelos com e sem a variação da geometria, efeitos sobre a taxa de secagem. Concluiu-se que ao considerar o modelo sem a variação da geometria no estágio inicial do processo, houve redução na taxa de secagem. Isto é devido ao fato de que no modelo sem a variação de geometria a área da superfície em contato com o meio externo é maior, o que acarreta numa maior perda de água no estágio inicial; como consequência, o período de taxa decrescente inicia com uma taxa menor.

O que foi observado por Heydari et al. (2018) também deve ser considerado quando se escolhe uma geometria para modelar o processo de secagem mesmo que o encolhimento seja negligenciado. Isto porque existe uma mudança na área da superfície de cada geometria considerada, o que pode alterar parâmetros importantes como a taxa de secagem, a difusividade efetiva e o coeficiente de transferência convectiva de massa. Essas alterações podem ser ainda mais relevantes quando o produto considerado é um produto biológico, pois as mudanças na geometria são mais intensas.

A literatura apresenta diversas descrições da secagem de um mesmo produto considerando modelos difusivos com geometrias variadas. Um dos produtos que exemplifica o que foi afirmado é a cenoura. A literatura apresenta vários estudos sobre a secagem de cenoura, e entre as geometrias consideradas destacam-se: a parede infinita, o cilindro finito e o cubo (ZHAO et al., 2014; EIM et al., 2013; HUANG et al., 2016; DOYMAZ, 2017). Deste modo, um questionamento importante que pode ser feito é qual a geometria mais adequada dentre as propostas na literatura. A presente pesquisa visa comparar modelos difusivos com geometrias distintas (parede infinita e cilindro finito), tendo em vista encontrar a mais adequada para a descrição da secagem de gengibre.

Para tanto foi desenvolvido um programa em linguagem Fortran com uma solução analítica para a equação de difusão considerando a geometria de um cilindro finito, a qual foi acoplada a um otimizador. Também foi utilizado o programa desenvolvido por Silva e Silva Júnior (2018) para os estudos da geometria de uma parede infinita. Foram realizadas otimizações visando verificar a influência da mudança de geometria sobre os parâmetros termo físicos do processo.

2 | MATERIAL E MÉTODOS:

Visando atingir os objetivos propostos pelo trabalho, foram realizados experimentos de secagem com gengibre osmoticamente desidratado em duas temperaturas distintas. Estes dados foram utilizados nos *softwares* de ajuste e otimização, visando a obtenção dos resultados sobre qual geometria descreve melhor a secagem.

2.1 Modelagem matemática

Foi utilizado neste trabalho a solução da equação de difusão, considerando a geometria de um cilindro finito e condição de contorno do terceiro tipo, condição essa que impõe igualdade para o fluxo interno (difusivo) e o fluxo externo (convectivo) na superfície do cilindro. Para encontrar a solução analítica da equação de difusão nestas condições, são admitidas as seguintes hipóteses:

- O produto é homogêneo e isotrópico;
- A distribuição do teor de água, no início do processo, é uniforme;
- O único mecanismo de transporte de água dentro do produto é a difusão líquida;
- O encolhimento é negligenciável;
- A difusividade efetiva de água e o coeficiente de transferência convectiva de massa permanecem constantes em todo o processo.

Pode-se escrever a equação de difusão em coordenadas cilíndricas da seguinte forma:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\lambda\Phi) = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r\Gamma^{\Phi} \frac{\partial \Phi}{\partial r} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\Gamma^{\Phi} \frac{\partial \Phi}{\partial y} \right) + S \quad (1)$$

em que:

Φ é a variável dependente de interesse no processo difusivo;

λ e Γ^{Φ} são os parâmetros do processo;

S é um termo fonte.

Como podemos ver na Figura 1, o cilindro finito pode ser obtido a partir de duas geometrias mais elementares, mais precisamente da intersecção de um cilindro infinito com uma parede infinita.

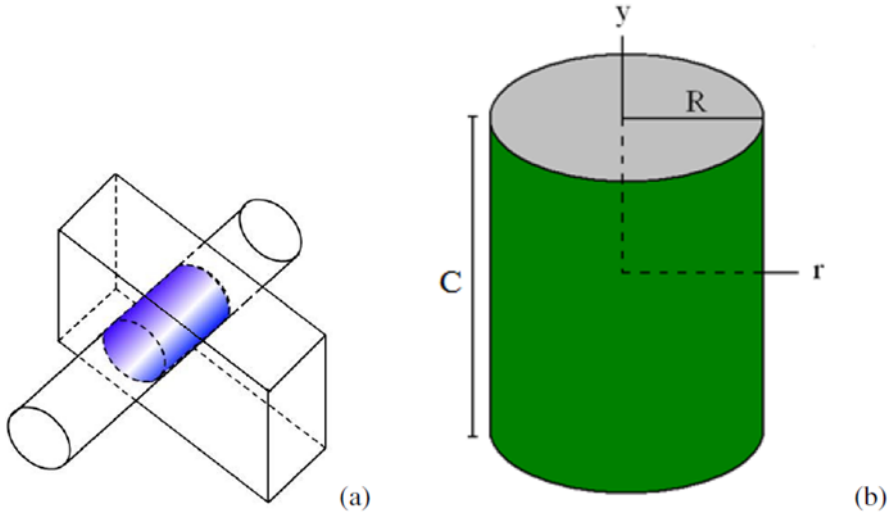


Figura 01: (a) Intersecção de um cilindro finito com uma parede infinita. (b) Cilindro finito de raio r e comprimento C .

Fonte: Silva (2012)

Na Equação (1) r é definido em relação ao eixo central do cilindro e junto com y determinam a posição de um ponto no interior do sólido em estudo. Fazendo $\lambda = 1$, $\Gamma\Phi = D$ (difusividade efetiva de massa), $\phi = X$ (teor de umidade em base seca) e $S = 0$, podemos reescrever a Equação (1) da seguinte forma:

$$\frac{\partial}{\partial t}(X) = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r D \frac{\partial X}{\partial r} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(D \frac{\partial X}{\partial y} \right) \quad (2)$$

considerando a condição de contorno de terceiro tipo na Equação (2), e solucionando a equação diferencial parcial pelo método da separação de variáveis, sendo X_i o teor de umidade inicial uniformemente distribuído e X_{eq} o teor de umidade de equilíbrio, R o raio do cilindro finito e C o comprimento, obtém-se a seguinte solução (LUIKOV, 1968):

$$X(r, y, t) = X_{eq} - (X_{eq} - X_i) \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=1}^{\infty} A_{n,1} A_{m,2} J_0 \left(\mu_{n,1} \frac{r}{R} \right) \cos \left(\mu_{m,2} \frac{y}{C/2} \right) \times \exp \left[- \left(\frac{\mu_{n,1}^2}{R^2} + \frac{\mu_{m,2}^2}{(C/2)^2} \right) D t \right] \quad (3)$$

Observa-se que, na solução descrita, $X(r, y, t)$ trata-se do teor de umidade em base seca num ponto do cilindro (r, y) num instante de tempo t . Porém, nesse estudo será considerado o teor de umidade médio, num instante t de tempo, que é obtido da seguinte forma:

$$\bar{X} = \frac{1}{V} \int X(r, y, t) dV \quad (4)$$

e assim, substituindo (3) na equação (4) a solução da equação de difusão para o teor de umidade médio $\bar{X}(t)$ em base seca num instante t é dada por:

$$\bar{X}(t) = X_{eq} - (X_{eq} - X_i) \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=1}^{\infty} B_{n,1} B_{m,2} \exp \left[- \left(\frac{\mu_{n,1}^2}{R^2} + \frac{\mu_{m,2}^2}{(C/2)^2} \right) Dt \right] \quad (5)$$

O coeficiente $B_{n,1}$ é definido da seguinte forma:

$$B_{n,1} = \frac{4Bi_1^2}{\mu_{n,1}^2 (Bi_1^2 + \mu_{n,1}^2)} \quad (6)$$

em que Bi_1 é o número de Biot referente ao cilindro infinito e é dado por

$$Bi_1 = \frac{hR}{D}.$$

O coeficiente $B_{m,2}$ é definido como segue:

$$B_{m,2} = \frac{2Bi_2^2}{\mu_{m,2}^2 (Bi_2^2 + Bi_2 + \mu_{m,2}^2)} \quad (7)$$

e aqui o número de Biot Bi_2 é referente a parede infinita, e definido como

$$Bi_2 = \frac{hC/2}{D}.$$

O coeficiente h representa o coeficiente de transferência convectiva de massa em todas as equações.

Nas Equações (5) e (6), $\mu_{n,1}$ é a n -ésima raiz positiva da equação característica para o cilindro infinito, e são calculadas através da seguinte equação:

$$\frac{j_0(\mu_{n,1})}{j_1(\mu_{n,1})} = \frac{\mu_{n,1}}{Bi_1} \quad (8)$$

sendo j_0 e j_1 as funções de Bessel de ordens 0 e 1, respectivamente.

Nas equações (5) e (7), $\mu_{m,2}$ são as raízes referentes a parede infinita, obtidas da equação:

$$\cot(\mu_{m,2}) = \frac{\mu_{m,2}}{Bi_2}.$$

2.2 Desenvolvimento do código computacional

Foi desenvolvido um código em linguagem Fortran, na plataforma Windows. No código foi implementada a Equação (5), que apresenta o teor de umidade médio para qualquer instante de tempo t . Entretanto, como pode-se observar, os coeficientes da Equação (5) depende de raízes de equações transcendentais, fatoriais e séries infinitas, pontos estes que requerem detalhes da sua implementação computacional e aproximações utilizadas.

Foram utilizados como dados de entrada do código, o teor de umidade inicial, o teor de umidade de equilíbrio, o comprimento do cilindro, o raio do cilindro, a difusividade efetiva, o coeficiente de transferência convectiva de massa, e o intervalo de tempo. Com os dados de entrada o programa determina os números de biot Bi_1 e Bi_2 referentes ao cilindro finito e a parede infinita, respectivamente.

Em seguida se faz necessário o cálculo das raízes $\mu_{n,1}$ e $\mu_{m,2}$. Para o cálculo de $\mu_{n,1}$ o código procede da seguinte maneira: são calculadas as funções de Bessel de ordem 0 e 1 para cada n , considerando 80 termos do fatorial na expressão. Na sequência seus valores são substituídos na equação (8), e em seguida, é utilizado o método da secante de aproximação de raízes com uma precisão de 10^{-12} para o cálculo destas. Assim obtêm-se o valor de $\mu_{n,1}$ e, conseqüentemente, pela Equação (6) o valor de $B_{n,1}$ para cada n .

Para o cálculo de $\mu_{m,2}$ foi utilizado o código desenvolvido no trabalho de Silva e Silva Júnior (2018), que calcula os valores de $\mu_{m,2}$ com uma precisão de 10^{-16} utilizando o Método de Newton para essa aproximação. Como o Método de Newton necessita do cálculo de derivadas da função, estas são aproximadas utilizando a definição de derivada com um incremento de 10^{-12} . Deste modo para cada m temos o respectivo valor de $\mu_{m,2}$ e, pela Equação (7), tem-se o valor de $B_{m,2}$. Cabe salientar que foram utilizados métodos diferentes para a aproximação das raízes das equações características, pelo fato do *software* para cálculo das raízes da parede infinita ter sido desenvolvido anteriormente.

Estes valores são substituídos na série considerando quantos termos o usuário desejar. Para fins de validação dos resultados do *software*, foram considerados 30 termos da série e além disso foi utilizado o *software Convective* desenvolvido por Silva (2008), que é um *software* difundido na literatura, utilizado em diversos trabalhos como por exemplo Silva Júnior et al. (2018), e que contém também a mesma solução analítica, porém considerando apenas 16 termos da série. Os dois *softwares* foram submetidos ao mesmo conjunto de dados.

2.3 Metodologia experimental

Os gengibres foram adquiridos na feira livre de Cuité-PB e encaminhados para o laboratório de Técnica Dietética do CES/UFCG para proceder a higienização dos rizomas através da lavagem em água corrente para retirada da sujeira superficial com posterior imersão em solução clorada a 200pp por 15 minutos, seguida de enxágue em água potável.

Após a higienização, os gengibres foram descascados e fatiados manualmente com o auxílio de uma faca, em discos com espessura de 1cm e raio de 1,5 cm em média, aferidos por meio de um paquímetro.

Posteriormente, os discos de gengibres foram submetidos a desidratação osmótica, descrita abaixo, de acordo com a metodologia designada por Silva Junior (2017).

Para a desidratação osmótica, foram pesados em balança semi analítica 300g de discos de gengibre que em seguida foram imersos em solução de sacarose a 17°Brix, a

concentração da solução foi verificada através de um refratômetro de mesa. A solução foi colocada em repouso em ambiente natural com temperatura de aproximadamente 25°C até a estabilização dos discos no fundo do recipiente. Em seguida, os discos foram retirados da solução com o auxílio de uma espátula e o excesso superficial de sacarose foi retirado através de borrifação de água destilada na superfície dos discos com posterior secagem com papel toalha.

Por fim, os discos foram encaminhados para o Laboratório de Bromatologia dos Alimentos (CES/UFCG) onde foram divididos em triplicata (100g) e dispostos em cestos de arame vazado para a secagem em estufa com circulação forçada de ar nas temperaturas de 65°C e 85°C. As amostras foram pesadas em balança semi analítica antes (peso inicial) e durante nos intervalos de 5 min, 10 min, 20 min, 30 min, 1h, 2h, e 3h até atingirem o equilíbrio. Após o alcance do equilíbrio a estufa foi estabilizada a 105°C durante 24h para a determinação da massa seca.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após a obtenção dos dados experimentais foi utilizado o *software analitical* desenvolvido em Silva e Silva Júnior (2018), que conta com a solução da parede infinita e com a solução para o cilindro finito que foi desenvolvido neste trabalho, para realizar as otimizações com os dados obtidos, considerando as duas geometrias. Vale salientar que a geometria do cilindro finito gera dois valores para os números de biot, pelo fato do cilindro finito ser obtido da intersecção entre uma parede infinita e um cilindro infinito, esses números serão denotados por Bi_1 e Bi_2 , assim como no desenvolvimento do código computacional.

Na Tabela 01 estão dispostos os valores dos parâmetros termo-físicos e dos indicadores estatísticos obtidos nos processos de otimização, os indicadores estatísticos de ajuste dos dois modelos aos dados experimentais e ainda os valores obtidos para a difusividade D e para os números de Biot através das otimizações.

Geometrias utilizadas	C°	χ^2	R^2	$D(m^2s^{-1})$	$h(ms^{-1})$	Bi_1	Bi_2
Parede infinita	60°	4.188×10^{-2}	0.992	8.027×10^{-6}	1.297×10^{-5}	-	8.027×10^{-3}
	85°	1.345×10^{-3}	0.999	1.446×10^{-5}	4.458×10^{-5}	-	1.446×10^{-2}
Cilindro finito	60°	4.609×10^{-2}	0.991	6.798×10^{-8}	4.266×10^{-6}	1.021	1.101
	85°	2.904×10^{-3}	0.999	1.598×10^{-8}	1.742×10^{-5}	1.427	1.546

Tabela 01 – Parâmetros obtidos através das otimizações

C° temperatura; χ^2 qui-quadrado; R^2 coeficiente de determinação; D difusividade efetiva de água; h coeficiente de transferência convectiva de massa; Bi_1 número de Biot relativo ao cilindro infinito; Bi_2 número de Biot relativo a parede infinita.

Fonte: Própria.

Os seguintes gráficos representam a simulação realizada pelos parâmetros obtidos, e sua correlação com os pontos experimentais considerando as geometrias de uma parede infinita e de um cilindro finito.

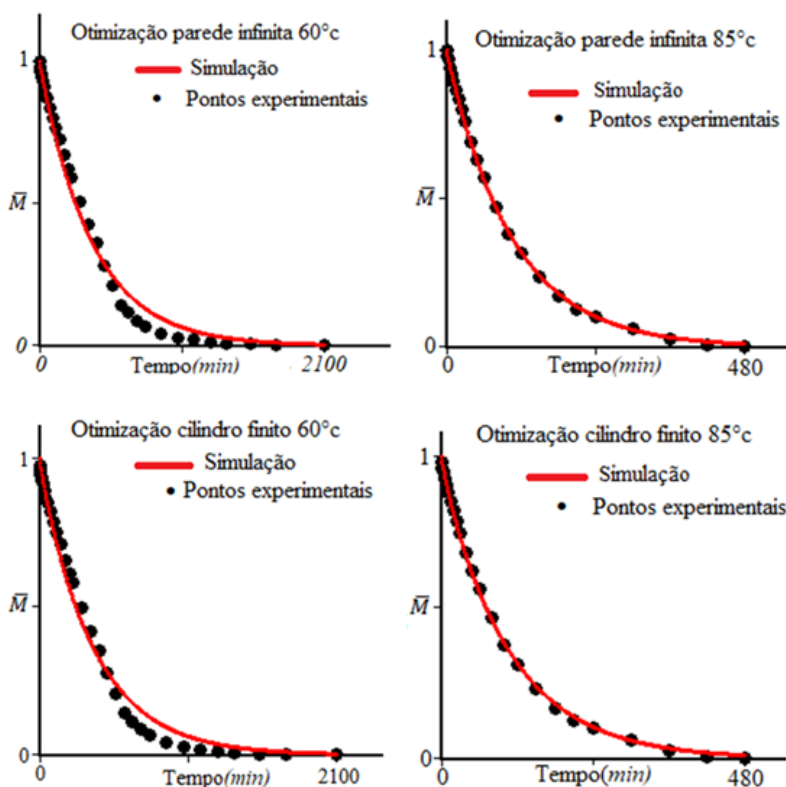


Figura 02 – Ajustes das curvas simuladas aos pontos experimentais

Fonte: Própria.

Através da Tabela 01 e dos gráficos de ajuste, pode-se perceber que as duas geometrias consideradas nos modelos difusivos descreveram bem a secagem de gengibre osmoticamente desidratado. Entretanto para definir a melhor geometria é necessário que os resultados prevejam resultados físicos coerentes.

Pode-se observar que a geometria do cilindro finito gerou valores coerentes para a difusividade D e próximos dos obtidos por Silva (2013), para secagem de fatias de coco osmoticamente desidratados. Já a geometria da parede infinita gerou valores muito pequenos para o número de Biot, o que indica uma grande resistência na superfície do produto, entretanto como o gengibre foi descascado e submetido a um pré-tratamento osmótico é pouco provável que exista essa grande resistência na superfície do produto.

Além disso, como na geometria do cilindro finito os números de Biot foram muito próximos para as duas superfícies, pode-se concluir que o produto apresenta uma resistência ao fluxo de água muito parecido em ambas superfícies. Além disso, para essa geometria os números de Biot estão mais próximos dos obtidos na literatura.

Com os dados dos experimentos foram utilizados o *softwares* Infinite slab numerical desenvolvido por Silva e Silva Júnior (2018), e o Cilindro finito desenvolvido por Silva Júnior e SILVA W., (2018), para gerar os gráficos de contorno que simulam a distribuição de água no interior do produto em cada instante da secagem. Cabe salientar que os programas possuem solução numérica para as duas geometrias, entretanto quando submetidos aos mesmos parâmetros geram os mesmos resultados que as soluções analíticas.

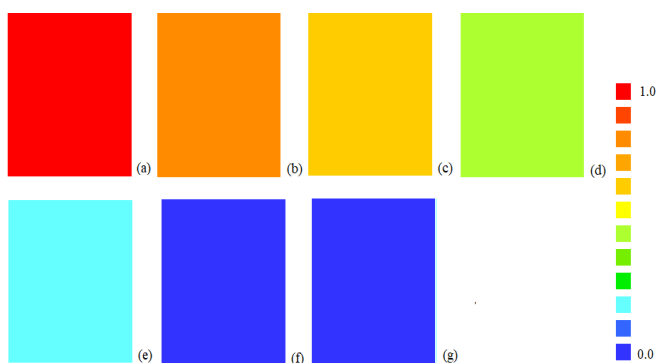


Figura 03: Gráficos de contorno para experimento com temperatura de 60°C considerando a geometria de uma parede infinita nos tempos. (a) 0 min. (b) 1 hora e 30 min. (c) 3 horas. (d) 5 horas. (e) 10 horas. (f) 15 horas e 30 minutos. (g) 35 horas.

Fonte: própria.

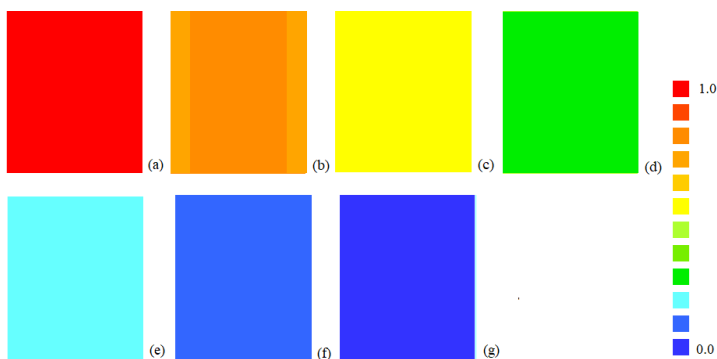


Figura 04: Gráficos de contorno para experimento com temperatura de 85°C considerando a geometria de uma parede infinita nos tempos. (a) 0 min. (b) 30 min. (c) 1 hora. (d) 2 horas. (e) 3 horas. (f) 4 horas (g) 8 horas.

Fonte: Própria.

Observe que os gráficos de contorno apresentam uma distribuição uniforme de água no produto para todos os instantes de tempo, isto se deve ao fato dessa geometria ter gerado um valor muito pequeno para o número de Biot. Além disso a falta de um gradiente de umidade na secagem de produtos biológicos não é comum na literatura, ainda mais com produtos sem a casca. A seguir serão apresentados os gráficos de contorno relacionados com a geometria bidimensional do cilindro finito:

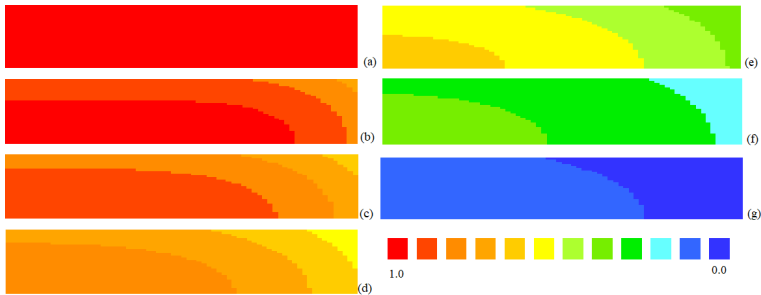


Figura 05: Gráficos de contorno para experimento com temperatura de 85°C considerando a geometria de um cilindro infinito nos tempos. (a) 0 min. (b) 30 min. (c) 1 hora. (d) 2 horas. (e) 3 horas. (f) 4 horas (g) 8 horas.

Fonte: Própria.

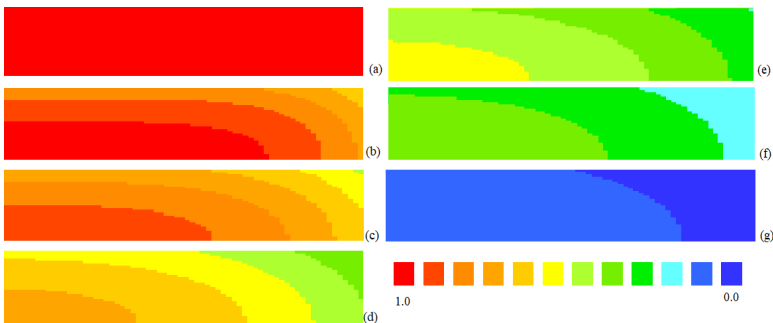


Figura 06: Gráficos de contorno para experimento com temperatura de 60°C considerando a geometria de um cilindro finito nos tempos. (a) 0 min. (b) 1 hora e 30 min. (c) 3 horas. (d) 5 horas. (e) 10 horas. (f) 15 horas e 30 minutos. (g) 35 horas.

Fonte: Própria.

Observando os gráficos com relação à geometria de um cilindro finito, é possível perceber que essa geometria gerou resultados coerentes com os observados fisicamente e na literatura, pois foi previsto um gradiente de umidade. Entretanto o gráfico ao fim da secagem não apresenta que o produto encontra-se em equilíbrio, diferente do que foi observado experimentalmente.

A diferença observada entre a simulação e o experimento pode diminuir com o acréscimo de hipóteses na modelagem matemática como por exemplo: o encolhimento do produto, a variação volumétrica e a variação da difusividade durante o processo de secagem.

Pelo que foi exposto percebe-se que os indicadores estatísticos apontam para uma equivalência entre as geometrias, entretanto quando analisados fisicamente e comparados com a literatura conclui-se que a geometria do cilindro finito é mais adequada que a parede infinita para descrever a secagem de fatias de gengibre.

4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conclui-se que o código computacional desenvolvido em linguagem Fortran, com uma solução da equação de difusão, gerou resultados satisfatórios e coerentes com os apresentados pelo *software convective*. Nesse contexto, o código computacional foi adaptado à um otimizador, e foi utilizado para estudos sobre a comparação de duas geometrias para a secagem de gengibre osmoticamente desidratado.

Percebe-se pelos indicadores estatísticos dos ajustes para as duas geometrias, que ambas descreveram bem as secagens, entretanto analisando fisicamente os parâmetros obtidos, percebeu-se que a geometria do cilindro finito gerou resultados mais coerentes que os obtidos para a parede infinita, e assim a geometria de um cilindro finito é mais adequada para descrever a secagem de gengibre osmoticamente desidratado do que a parede infinita.

REFERÊNCIAS

DEHGHANNYA, J.; GORBANI, R.; GHANBARZADEH, B.; Shrinkage of mirabelle plum during hot air drying as influenced by ultrasound-assisted osmotic dehydration. **International Journal of Food Properties**. v. 19, p. 1093-1103, 2016.

DOYMAZ, I. Drying kinetics, rehydration and colour characteristics of convective hotair drying of carrot slices. **Heat Mass Transfer**. v. 53, p. 25–35, 2017.

EIM, V. S.; URREA, D.; ROSSELLÓ, C.; GARCÍA-PÉREZ, J. V. Optimization of the drying process of carrot (*daucus carota* v. Nantes) on the basis of quality criteria. **Drying Technology**. v. 31, p. 951–962, 2013.

HEYDARI, M.; KHALILI, K.; AHMADI-BROOGHANI, S. Y. Studying the effect of material initial conditions on drying induced stresses. **Heat Mass Transfer**. v. 54, p. 341–352, 2018.

HUANG, J.; ZHANG, M.; ADHIKARI, B.; YANG, Z. Effect of microwave air spouted drying arranged in two and three-stages on the drying uniformity and quality of dehydrated carrot cubes. **Journal of Food Engineering**. v. 177, p. 80-89, 2016.

LUIKOV, A.; **Analytical heat diffusion theory**. 2nd. ed. London: Academic Press, Inc. Ltd., 1968, 648 p..

SILVA, C. M. P. S. **Ferramentas analíticas e numéricas para a descrição da secagem de sólidos na forma de cilindros e de elipsoides**. 2012. 254p. Tese (Doutorado em Engenharia de Processos), Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal de Campina Grande, PB, Brasil.

SILVA, I. A.; SILVA JÚNIOR, A. F.; **Uma abordagem numérica para a descrição da secagem convectiva de gengibre**. In: XV CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE, 15., 2018. *Anais...* Campina Grande, 2018.

SILVA JÚNIOR, A. F.; SILVA, W. P.; AIRES, J. E. F.; AIRES, K. L. C. A. F.; Numerical approach to describe complementary drying of banana slices osmotically dehydrated. **Heat mass transfer**. 2017.

SILVA JÚNIOR, A. F.; SILVA, W. P.; FARIAS, V. S. O.; SILVA, C. M. P. S.; LIMA, A. G. B.; Description of Osmotic Dehydration of Banana Slices Dipped in Solution of Water and Sucrose Followed by Complementary Drying Using Hot Air.

SILVA JUNIOR, A. F.; SILVA, W. P.; **Desidratação osmótica e secagem complementar de fatias de banana**. Novas edições acadêmicas, Campina Grande, 2018.

SILVA JÚNIOR, A.F., SILVA, W.P., AIRES, J. E.F., AIRES, K.L.C.A.F., CASTRO, D.S.: Osmotic dehydration kinetics of banana slices considering variable diffusivities and shrinkage. **Int. J. Food Prop.** V.20, p.1313–1325, 2017.

SILVA, W. P. **Convective** (2008), online, disponível no endereço eletrônico: < <http://zeus.df.ufcg.edu.br/labfit/Convective.htm>>, date de acesso: 10 de dezembro de 2018.

SILVA, W. P.; SILVA E SILVA, C. M. D. P.; AIRES, J. E. F.; SILVA JÚNIOR, A. F.; Osmotic dehydration and convective drying of coconut slices: Experimental determination and description using one-dimensional diffusion model. **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**. V.13, p. 162-168, 2013.

ZHAO, D.; AN, K; DING, S.; LIU, L; XU, Z.; WANG, Z. Two-stage intermittent microwave coupled with hot-air drying of carrot slices: drying kinetics and physical quality. **Food Bioprocess Technol.** v. 7, p. 2308–2318, 2014.

CAPÍTULO 13

COMPORTAMENTO DA SECAGEM DE CENOURA (*Daucus carota* L.) EM CAMADA FINA: MODELOS EMPÍRICOS E ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS

Data de aceite: 01/09/2020

Data da submissão: 01/06/2020

Geovane Tavares Nogueira

Centro de Educação e Saúde, Universidade
Federal de Campina Grande
Cuité – Paraíba
<http://lattes.cnpq.br/0279366339815080>

Raquel Alves de Medeiros

Centro de Educação e Saúde, Universidade
Federal de Campina Grande
Cuité – Paraíba
<http://lattes.cnpq.br/2851756831613284>

Francisco Carlos de Medeiros Filho

Centro de Educação e Saúde, Universidade
Federal de Campina Grande
Cuité – Paraíba
<http://lattes.cnpq.br/0733814477189325>

Maria Tereza Lucena Pereira

Centro de Educação e Saúde, Universidade
Federal de Campina Grande
Cuité – Paraíba
<http://lattes.cnpq.br/1101257330417991>

Amélia Ruth Nascimento Lima

Centro de Educação e Saúde, Universidade
Federal de Campina Grande
Cuité – Paraíba
<http://lattes.cnpq.br/8804163015012728>

Vera Solange de Oliveira Farias

Centro de Educação e Saúde, Universidade
Federal de Campina Grande
Cuité – Paraíba
<http://lattes.cnpq.br/0923353123868517>

Jucimeri Ismael de Lima

Centro de Educação e Saúde, Universidade
Federal de Campina Grande
Cuité – Paraíba
<http://lattes.cnpq.br/5029010344083386>

Célia Maria Rufino Franco

Centro de Educação e Saúde, Universidade
Federal de Campina Grande
Cuité – Paraíba
<http://lattes.cnpq.br/1728798138944094>

Aluizio Freire da Silva Júnior

Centro de Educação e Saúde, Universidade
Federal de Campina Grande
Cuité – Paraíba
<http://lattes.cnpq.br/4720593438601826>

André Macedo Costa

Centro de Educação e Saúde, Universidade
Federal de Campina Grande
Cuité – Paraíba
<http://lattes.cnpq.br/9242194135022833>

Jair Stefanini Pereira de Ataíde

Centro de Educação e Saúde, Universidade
Federal de Campina Grande
Cuité – Paraíba
<http://lattes.cnpq.br/3201374347373584>

Ivo Dantas de Araújo

Centro de Educação e Saúde, Universidade
Federal de Campina Grande
Cuité – Paraíba
<http://lattes.cnpq.br/3069265759080879>

RESUMO: A secagem é um processo utilizado em diversos setores produtivos, dentre eles, destaca-se a indústria de alimentos. Assim, estudos têm sido desenvolvidos buscando aperfeiçoar os processos de secagem para obtenção de melhor qualidade do produto final. O presente trabalho apresenta o estudo da secagem da cenoura, que é um legume conhecido por possuir alto teor de umidade e, portanto, sua vida útil torna-se curta. Consequentemente, a secagem é um procedimento para aumentar a sua vida de prateleira. Nessa perspectiva, objetivou-se avaliar o processo de secagem da cenoura através de modelos empíricos e determinar por meio de dados experimentais as curvas de secagem da cenoura para as temperaturas estudadas, bem como caracterizar a cenoura ao longo do processo, disponibilizando as análises físico-químicas para a comunidade científica. Diversos modelos empíricos reportados na literatura foram ajustados aos dados experimentais para determinar o que melhor descreve os dados. As condições operacionais usadas no procedimento foram para discos de cenoura medindo, em média, 5 mm de espessura e aproximadamente 38 mm de diâmetro. Considerou-se as temperaturas de 40, 50, 60 e 70 °C. Através dos resultados obtidos, foi verificado que o modelo de Page e o modelo de Silva et alii foram os que melhor se ajustaram aos dados experimentais. Além disso, foi perceptível a importância do processo de secagem de produtos agrícolas para aumentar o tempo de conservação, sem afetar os nutrientes presentes na sua composição.

PALAVRAS-CHAVE: Modelos empíricos, processo de alimentos, cenoura.

BEHAVIOR OF CARROT DRYING (*Daucus carota* L.) IN THIN LAYER: EMPIRICAL MODELS AND PHYSICOCHEMICAL ANALYSIS.

ABSTRACT: Drying is a process used in several productive sectors, among them, the food industry stands out. Thus, studies have been developed seeking to improve the drying processes to obtain better quality of the final product. The present work presents the study of drying carrots, which is a vegetable known to have a high moisture content and, therefore, its useful life becomes short. Consequently, drying is a procedure to increase its shelf life. In this perspective, the objective was to evaluate the drying process of the carrot using empirical models and to determine through experimental data the drying curves of the carrot for the temperatures studied, as well as to characterize the carrot along the process, making available the physical-chemicals for the scientific community. Several empirical models reported in the literature have been adjusted to the experimental data to determine what best describes the data. The operating conditions used in the procedure were for carrot discs measuring, on average, 5 mm thick and approximately 38 mm in diameter. Temperatures of 40, 50, 60 and 70 °C were considered. Through the results obtained, it was verified that the Page model and the Silva et alii model were the ones that best fit the experimental data. In addition, it was noticeable the importance of the drying process of agricultural products to increase the conservation time, without affecting the nutrients present in its composition.

KEYWORDS: Empirical models, foods process, carrot.

1 | INTRODUÇÃO

A cenoura (*Daucus carota* L.) é a principal hortaliça da família das apiáceas cultivada no mundo. Habitualmente esse produto é cultivado na primavera, no verão e no outono em países de clima temperado e no inverno em países de clima sub-tropical.

Diante de suas características de ciclo curto e boa palatabilidade, a cenoura mantém um lugar de destaque entre as hortaliças economicamente mais relevantes, além de participar da alimentação habitual de muitas pessoas, servindo como ingrediente em saladas, sopas e molhos (NASCIMENTO; VIEIRA; MAROUELLI, 2012).

Do ponto de vista nutricional, segundo Demiray e Tulek (2017), as propriedades biológicas e medicinais da cenoura são decorrentes da alta concentração de antioxidantes e carotenoides, especialmente β -caroteno.

De acordo com o Departamento de Agricultura dos EUA (USDA) (2014), 100g de cenoura fresca possui em sua composição 835 μ g de vitamina A, o que corresponde a uma concentração muito próxima da quantidade diária recomendada.

Todavia, Sarpong et al. (2019) esclarecem que a cenoura possui uma alta perecibilidade e, que durante o processamento e armazenamento, os nutrientes supramencionados tendem a se degradar. Diante disso, há uma grande necessidade do emprego de métodos de conservação.

Dentre os métodos de conservação de alimentos está a secagem, que Fioreze (2004) caracteriza como um procedimento que possibilita a retirada total ou parcial de substâncias voláteis de materiais, permitindo, deste modo, uma retardação da deterioração dos produtos biológicos. Contudo, o processo de secagem também pode atribuir prejuízos ao alimento através de alterações das propriedades organolépticas e nutricionais.

Em decorrência disso, faz-se necessário o desenvolvimento de pesquisas no âmbito da secagem de produtos biológicos, para que seja possível o estabelecimento de condições ótimas de secagem que possibilitem a formulação de um produto final com qualidade (DI SCALA; CRAPISTE, 2008).

Neste contexto, para que seja possível o desenvolvimento de métodos de secagem com eficácia, é necessário o conhecimento dos processos físicos envolvidos. Para tanto, é fundamental a utilização de modelos matemáticos, os quais são importantes, pois permitem a simulação da secagem e possibilitam a diminuição de custos, de energia, de tempo e de possíveis defeitos que possam ocorrer durante o processo (SILVA, 2010).

Dentre os modelos matemáticos estão os modelos empíricos, que se fundamentam por apresentar uma relação direta entre o teor de umidade da matéria e o tempo de secagem. Porém, nesses modelos, os fundamentos do processo de secagem não são apurados, e seus parâmetros não apresentam significado físico (KEEY, 1972). No entanto, os modelos empíricos são importantes para estudar a taxa de secagem de um produto em determinadas condições operacionais.

Deste modo, o objetivo do presente estudo é determinar a melhor equação empírica que descreve as cinéticas de secagem para quatro temperaturas (40, 50, 60 e 70 °C), bem como, caracterizar a cenoura antes e depois do final do processo de secagem.

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa foi desenvolvida com o suporte do laboratório de Bromatologia (LABROM) do Centro de Educação e Saúde (CES), da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), campus Cuité-PB. Para a realização do experimento, foram utilizadas cenouras adquiridas em um supermercado na cidade de Cuité-PB, conforme mostra a figura1.



Figura 1: Cenouras utilizadas na secagem

Fonte: autores

Antes de iniciar o processo de secagem, as cenouras foram lavadas em água corrente e submetidas à sanitização com água clorada. Em seguida, as cenouras foram descascadas e fatiadas manualmente em discos com 5 mm de espessura e, aproximadamente, 38 mm de diâmetro em média. Posteriormente, foram colocados em três cestos (triplicata) de alumínio conforme a Figura 2. O teor de umidade inicial médio aferido foi de 8.43 (b.s.).



Figura 2: Cestos com discos de cenouras utilizadas na secagem.

Fonte: autores

Em cada cesto foi colocado aproximadamente 40g de discos de cenoura. Em seguida, os cestos foram colocados dentro de uma estufa de circulação forçada de ar regulada em uma das seguintes temperaturas, 40, 50, 60 e 70°C. Em intervalos de tempo predeterminados, as amostras em triplicata foram retiradas da estufa e pesadas em uma balança digital da marca BIOPRECISA modelo JH2102, com resolução de 0,01g e capacidade de 2100 g. Este procedimento foi repetido até que a massa atingisse seu valor de equilíbrio. Após a secagem, as amostras permaneceram na estufa durante 24h com temperatura a 105 °C, para medição de massa seca (IAL, 2008).

Para a determinação das propriedades físico-químicas, as amostras de cenoura, tanto *in natura* como submetidas à secagem, foram trituradas até atingir uma determinada granulometria. As análises foram realizadas para 5 amostras, sendo cada amostra em triplicada, como recomenda a literatura para um resultado mais preciso. Foram efetuadas a determinação da umidade, cinzas, proteínas, lipídeos, pH, acidez, atividade de água (Wa) e carboidratos (por diferença).

No presente estudo, foi utilizado o teor de umidade em base seca, definido como:

$$M(b.s) = \frac{m_{H_2O}}{m_s} \tag{1}$$

onde M(b.s) é o teor de umidade médio em base seca, m_{H_2O} é a massa de água, m_s é a massa seca.

O processo de secagem pode ser descrito matematicamente por vários métodos (métodos empíricos, teóricos e semi-teóricos). Nesta pesquisa foram testados seis modelos empíricos reportados na literatura a fim de verificar aquele que melhor descreve as cinéticas de secagem de discos de cenoura. Os modelos testados são apresentados na Tabela 1.

Modelo	Nome	Equação Empírica	Referência
M1	Page	$M^* = \exp(-at^b)$	(DIAMANTE et al.,2010)
M2	Silva et alii	$M^* = \exp(-at - bt^{1/2})$	(SILVA et al.,2012)
M3	Peleg	$M^* = 1 - t/(a + bt)$	(MERCALI et al.,2010)
M4	Wang Singh	$M^* = 1 + at + bt^2$	(KALETA; GORNICK, 2010)
M5	Lewis	$M^* = \exp(-at)$	(KALETA; GORNICK, 2010)
M6	Henderson e Pabis	$M^* = a \exp(-bt)$	(DIAMANTE et al.,2010)

Tabela 1 – Modelos empíricos usados para descrever as cinéticas de secagem

Fonte: autores.

As equações apresentadas na Tabela 1 foram ajustadas aos dados experimentais por meio de regressão não linear utilizando o LabFit Curve Fitting software, versão 7.2.49, (Silva e Silva, 2011). A seleção dos melhores modelos foi feita através dos indicadores estatísticos e correspondem ao maior coeficiente de determinação (R²) e menor qui-quadrado (χ²).

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Usando o LAB Fit Curve Fitting Software, conseguiu-se determinar os parâmetros de ajuste e os indicadores estatísticos em relação aos modelos empíricos apresentados na Tabela 1.

As classificações dos modelos empíricos estudados estão em ordem decrescente, do melhor ao menos favorável aos dados experimentais. Pode-se observar que os melhores indicadores estatísticos foram obtidos pelo modelo de Page (modelo M1) e o segundo melhor foi o modelo de Silva et alii (modelo M2).

Para a temperatura de 40 °C, os resultados obtidos para os parâmetros de ajuste e para os indicadores estatísticos, estão apresentados na Tabela 2.

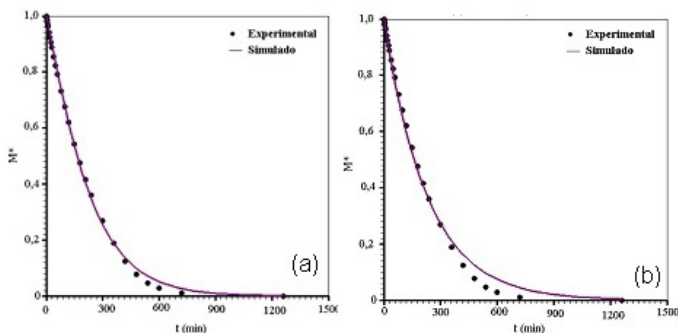
Modelo	A	B	R ²	χ ²
M1	2,24856x 10 ⁻³	1,12393	0,9990470	4,16549x10 ⁻³
M2	-7,82877x10 ⁻³	2,43423x10 ⁻²	0,9976518	1,42777x10 ⁻²
M3	2,05834x10 ²	0.72421	0,9910186	3,55246x10 ⁻²
M5	4,34240x10 ⁻³	-	0,9976518	2,70000x10 ¹
M6	1,014086	4,43951x10 ⁻³	0,9972255	1,23924x10 ⁻²
M4	-2,73128x10 ⁻³	1,58269x10 ⁻⁶	0,9814657	9,61071x10 ⁻²

Tabela 2- Resultados dos ajustes dos modelos empíricos aos dados experimentais para a temperatura de 40 °C.

Fonte: autores

O modelo de Page é frequentemente utilizado na literatura para a descrição de processos de secagem. Para descrever o processo de secagem convectiva de fatias de cenoura em camada fina, Sonmete et al. (2017) testaram 14 modelos (empíricos e semi-empíricos) tendo em vista identificar o que melhor descreveria do processo de secagem de cenouras. Os autores concluíram que o mais adequado foi o modelo de Page, assim como foi observado na presente pesquisa. O segundo melhor modelo foi o de Silva et alii, e o menos favorável foi o de Wang e Singh.

Na Figura 3 é apresentada a comparação dos dados experimentais com os dados obtidos com os melhores modelos empíricos testados nesta pesquisa. A simulação da cinética de secagem foi obtida com o software LAB Fit para a temperatura de secagem de 40 °C.



(a): modelo de Page; (b): modelo de Silva et alii.

Figura 3. Simulação das cinéticas de secagem usando modelos empíricos para $T = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Fonte: autores

Na Tabela 4 são apresentados os resultados obtidos para os parâmetros de ajustes, bem como os indicadores estatísticos para a temperatura de secagem de $50\text{ }^{\circ}\text{C}$.

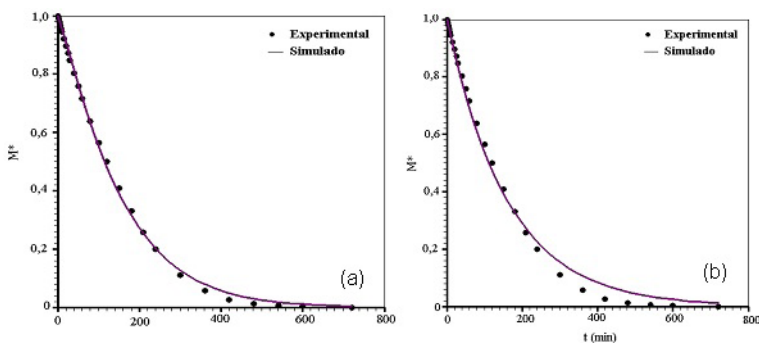
Modelo	A	B	R^2	χ^2
M1	$3,14530 \times 10^{-3}$	1,13734	0,9991564	$3,98413 \times 10^{-3}$
M2	$-6,89204 \times 10^{-3}$	$2,62158 \times 10^{-2}$	0,9978413	$1,57979 \times 10^{-2}$
M5	$6,21594 \times 10^{-3}$	-	0,9978411	$1,57979 \times 10^{-2}$
M6	1,01785	$6,39014 \times 10^{-3}$	0,9973224	$1,31914 \times 10^{-2}$
M3	$1,46595 \times 10^2$	$7,18570 \times 10^{-1}$	0,9932693	$2,8207 \times 10^{-2}$
M4	$-4,22014 \times 10^{-3}$	$4,15971 \times 10^{-6}$	0,9890490	$5,55086 \times 10^{-2}$

Tabela 4 - Resultados dos ajustes dos modelos empíricos aos dados experimentais para a temperatura de $50\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Fonte: autores

Observando os indicadores estatísticos na Tabela 4, pode-se concluir que o melhor modelo que descreve as cinéticas de secagem na temperatura de $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ é o modelo M1 (Page). O segundo melhor modelo é o M2 (Silva et Alii) e o menos favorecido foi M4 de (Wang e Singh).

Para a temperatura de $50\text{ }^{\circ}\text{C}$, os gráficos referentes à simulação da cinética de secagem, obtidas pelo ajuste das equações dos modelos empíricos (M1 e M2) aos dados experimentais são apresentados na Figura 4.



(a): modelo de Page; (b): modelo de Silva et alii.

Figura 4. Simulação das cinéticas de secagem usando modelos empíricos para $T = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Fonte: autores.

A Tabela 5 apresenta os resultados obtidos para os parâmetros de ajuste e para os indicadores estatísticos para a temperatura de $60\text{ }^{\circ}\text{C}$.

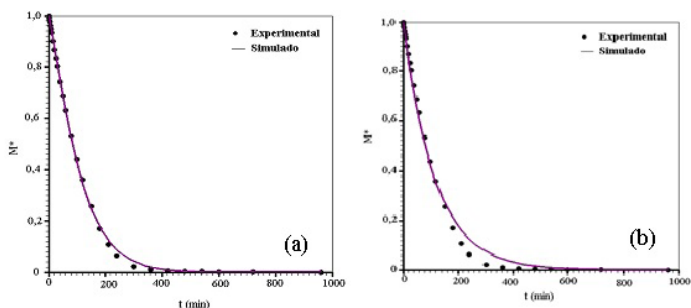
Modelo	A	B	R^2	χ^2
M1	$3,64853 \times 10^{-3}$	1,18665	0,9993666	$3,13354 \times 10^{-3}$
M5	$8,63531 \times 10^{-3}$	-	0,9970638	$2,24011 \times 10^{-2}$
M6	1,02941	$9,03164 \times 10^{-3}$	0,9967429	$1,63396 \times 10^{-2}$
M2	$9,03176 \times 10^{-3}$	$5,79728 \times 10^{-2}$	0,9967427	$1,63396 \times 10^{-2}$
M3	$9,46919 \times 10^1$	$8,03170 \times 10^{-1}$	0,9837337	$8,01898 \times 10^{-2}$
M4	$-4,09096 \times 10^{-3}$	$3,45762 \times 10^{-6}$	0,914728	$5,25962 \times 10^{-1}$

Tabela 5 - Resultados dos ajustes dos modelos empíricos aos dados experimentais para a temperatura de $60\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Fonte: autores

Observando os indicadores estatísticos na Tabela 5, pode-se concluir que o melhor modelo para descrever as cinéticas de secagem na temperatura de $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ foi o modelo M1 (Page). O segundo melhor modelo foi o M5 (Lewis) e o menos favorecido foi M4 de (Wang e Singh). Um fato bastante interessante são os valores estatísticos entre os modelos M6 (Henderson e Pabis) e o M2 de (Silva et Alii) que são praticamente os mesmos.

Na Figura 5 a seguir, apresentam-se os gráficos referentes à simulação feita pelo software LAB Fit para a temperatura de $60\text{ }^{\circ}\text{C}$.



(a): modelo de Page; (b): modelo de de Lewis.

Figura 5. Simulação das cinéticas de secagem usando modelos empíricos para $T = 60\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Fonte: autores

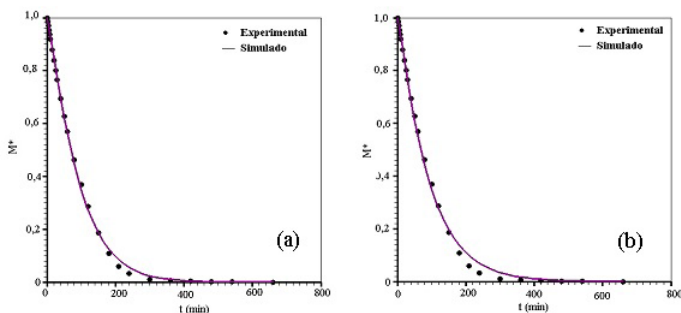
São apresentados, na Tabela 6, os resultados dos ajustes dos modelos empíricos aos dados experimentais para a temperatura de $70\text{ }^{\circ}\text{C}$. Nesta tabela, pode-se observar os parâmetros de ajuste e os indicadores estatísticos.

Modelo	A	B	R^2	χ^2
M1	$5,04000 \times 10^{-3}$	1,159531	0,9992687	$3,23383 \times 10^{-3}$
M2	$1,221752 \times 10^{-2}$	$-0,16808 \times 10^{-2}$	0,9982674	$7,76574 \times 10^{-3}$
M5	$1,02402 \times 10^{-2}$	-	0,9975279	$1,75268 \times 10^{-2}$
M6	1,02631	$1,06626 \times 10^{-2}$	0,9971698	$1,30754 \times 10^{-2}$
M3	$8,13046 \times 10^1$	$7,90093 \times 10^{-1}$	0,9860118	$6,16111 \times 10^{-2}$
M4	$-5,61026 \times 10^{-3}$	$6,72286 \times 10^{-6}$	0,9498894	$2,71940 \times 10^{-1}$

Tabela 6 - Resultados dos ajustes dos modelos empíricos aos dados experimentais para a temperatura de $70\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Fonte: autores.

Por último, na Figura 6, apresentam-se os gráficos referentes à simulação feita pelo LAB Fit para a temperatura de $70\text{ }^{\circ}\text{C}$.



(a): modelo de Page; (b): modelo de Silveira et Alili;

Figura 6. Simulação das cinéticas de secagem usando modelos empíricos para $T = 70^{\circ}\text{C}$.

Fonte: autores.

Observando os indicadores estatísticos na Tabela 6, pode-se concluir que o melhor modelo para descrever as cinéticas de secagem para $T = 70^{\circ}\text{C}$ foi o modelo M1 (Page). O segundo melhor modelo foi o M2 (Silva et Alili) e o menos favorecido foi M4 de (Wang e Singh).

3.1 Análise das propriedades físico – químicas

Os resultados obtidos para as propriedades físico-químicas da cenoura *in natura* como ao longo das secagens, foram analisados estatisticamente através do software STATISTICA., versão 7.0.61.0, sendo realizado o teste de análise de variância. As comparações das diferenças significativas das médias para todos os parâmetros foram testadas pelo teste de Tukey HSD (*Honestly Significant Difference*), sendo o nível de significância de 5 % ($p < 0,05$).

A seguir apresenta-se a Tabela 7 que contém os resultados das análises físico-químicas realizadas para a cenoura *in natura*, e após cada secagem.

Amostra	<i>In natura</i>	Secagem 40°C	Secagem 50°C	Secagem 60°C	Secagem 70°C
Umidade	88,01 ^a ± 0,13	76,11 ^b ±0,36	66,91 ^c ±1,68	75,16 ^c ±0,88	68,70 ^c ±1,41
W_a	0,99 ± 0,00	0,97 ^b ± 0,00	0,96 ^c ± 0,00	0,97 ^b ± 0,00	0,96 ^{bc} ±0,00
PH	6,65 ^a ± 0,14	6,10 ^c ± 0,12	6,28 ^{bc} ±0,06	6,44 ^{ab} ±0,12	6,08 ^c ± 0,08
Acidez	1,02 ^b ± 0,06	5,19 ^a ± 0,06	4,99 ^a ± 0,40	4,73 ^a ± 0,26	5,25 ^a ± 0,41
Cinzas	0,83 ^d ± 0,02	3,10 ^b ± 0,03	3,27 ^a ± 0,11	3,12 ^{ab} ±0,01	2,8 ^{9c} ± 0,08

Proteínas	1,15 ^c ± 0,01	3,04 ^b ± 0,18	3,53 ^a ± 0,14	3,51 ^a ± 0,16	3,13 ^b ± 0,02
Lípídeos	0,00 ^b ± 0,00	0,56 ^a ± 0,08	0,69 ^a ± 0,23	0,45 ^a ± 0,17	0,42 ^a ± 0,15
Carboidratos	10,01 ^c ± 0,15	17,19 ^b ±0,46	25,59 ^a ±1,60	17,76 ^b ±0,87	24,85 ^a ±1,29

Médias seguidas por letras iguais na mesma coluna não apresentam diferença significativa ($p > 0,05$) pelo teste de Tukey.

Tabela 7 - Resultados das análises físico-químicas para a cenoura *in natura* e para as temperaturas de secagens estabelecidas.

Fonte: autores

A cenoura apresenta em sua composição alto teor de umidade, sendo encontrado no estudo feito o valor médio *in natura* de 88,01%. Este valor é muito semelhante aos encontrados por Araújo (2010) que foi de 90,56%, ao de Akubor e Ike (2012) que foi de 91% e ao de Andrade et al. (2007) que obteve um teor de umidade de 88,33%. Essa variação encontrada nos valores de umidade pode ser explicada devido à existência de diversas variedades de cenouras e de cultivo. Contudo, esses valores demonstram que a cenoura possui um teor de umidade elevado.

Já para o estudo feito em relação à umidade pós-secagem foram constatados os seguintes valores: 76,11; 66,91; 75,16 e 68,7 para as respectivas temperaturas 40, 50, 60 e 70 °C. É notório que os valores encontrados encontram-se muito alto em relação ao recomendado pelo conselho para a obtenção de farinha. Esta ocorrência pode ser explicada pelo fato da cinética do processo de secagem ter sido realizado em estufas diferentes.

Em relação a proteínas nota-se o valor de 1,15% na cenoura *in natura*, enquanto os valores para as temperaturas analisados pós-secagem foram respectivamente os seguintes: 3,04; 3,53; 3,51 e 3,13. O aumento se deu devido ao fato que durante o processo de secagem, ocorre uma concentração de proteínas com a retirada de água.

Já em relação às análises de cinzas, o valor obtido para a média foi de 0,83. Este valor é próximo ao encontrado por Sra et al. (2010) para a cenoura da mesma variedade estudada, cerca de 0,88 g/100g (b.u). Gopalan et al. (1991) apresenta um valor análogo, no entanto um pouco mais elevado, de 1,1.

Quanto aos resultados obtidos no final de cada secagem em relação as cinzas, verificou-se que são semelhantes, sendo de 3,10; 3,27; 3,12 e 2,89 para as temperaturas de 40, 50, 60 e 70 °C, respectivamente. Verificou-se que não houve alterações significativas no teor de cinzas, uma vez que os valores finais de cada secagem são semelhantes ao valor da amostra em fresco, ou seja, durante a secagem não ocorre alterações do teor de cinzas.

Analisando pH e acidez, pode-se notar que os valores encontrados para pH, obtidos para a cenoura crua, encontra-se dentro da faixa de valores encontrados por Araújo (2010) e Rocheti (2014), que foram 5,20 e 5,83 respectivamente. Além disso, percebe-se que em relação à acidez, o valor obtido se aproxima do valor determinado por Rocheti (2014), que foi de 1,60.

Com relação à análise de lipídeos, o método utilizado para tal, na cenoura in natura, não demonstrou êxito. A análise de carboidratos, por sua vez, foi realizada por diferença.

Por fim, com relação à atividade de água, os resultados obtidos não são satisfatórios, visto que de acordo com Oliveira et al (2005), microrganismos podem crescer em alimentos desidratados, quando a atividade de água está acima de 0,6. Contudo, abaixo desses valores verificam-se ainda reações químicas e enzimáticas durante o processo de armazenagem. Dessa forma, o conhecimento dos valores de atividade de água em função do teor de água dos alimentos desidratados é de extrema importância para se determinar o tempo de estocagem e evitar o crescimento microbiano.

4 | CONCLUSÕES

O presente trabalho teve como objetivo o estudo do efeito de diferentes temperaturas nas propriedades físico-químicas da cenoura, bem como a sua cinética de secagem. Em relação aos resultados das análises físico-químicas, verificou-se que a secagem é muito importante no processo de conservação de alimentos e foi constatado que não há perdas significativas em relação aos nutrientes presentes na cenoura na sua forma *In natura*.

Quanto aos ajustes dos modelos matemáticos, entre todos os modelos usados para descrever as cinéticas de secagem da cenoura, o que apresentou o melhor indicador estatístico foi o modelo M1 (Page) para todas as temperaturas de secagem. No entanto, o segundo melhor modelo não foi unânime, sendo o modelo de Lewis (M5) o que apresentou o segundo melhor resultado para 60 °C, e o modelo de Silva et alii (M2), o segundo melhor resultado para as demais temperaturas. A partir dos modelos empíricos é possível determinar a taxa de secagem do produto e estabelecer condições ótimas ao processo.

REFERÊNCIAS

AKUBOR, P. I.; IKE, J. D. **Quality evaluation and cake making potential of sun and oven dried carrot fruit**. International Journal of Biosciences, v. 2, n. 10, p. 19-27, 2012.

ANDRADE, E. C. B.; TEODORO, A. J.; TAKASE, I. **Determinação dos teores de zinco em diferentes extratos de hortaliças dos tipos A e B**. Ciênc. Tecnol. Alim. Campinas, v. 25, p. 265-270, 2007.

ARAÚJO, P. M. **Estudo da desidratação osmótica da cenoura (*Daucus carota*) em fatias**. 2010. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

DEMIRAY, E.; TULEK, Y. **Degradation kinetics of β -carotene in carrot slices during convective drying.** International Journal of Food Properties, v. 20, n. 1, p. 151-156, 2017.

DIAMANTE, L. M.; IHNS, R.; SAVAGE, G. P.; VANHANEN, L. **A new mathematical model for thin layer drying of fruits.** International journal of food science & technology, v. 45, n. 9, p. 1956-1962, 2010.

DI SCALA, K.; CRAPISTE, G. **Drying kinetics and quality changes during drying of red pepper.** LWT-Food Science and Technology, v. 41, n. 5, p. 789-795, 2008.

FIOREZE, R. **Princípios de secagem de produtos biológicos.** João Pessoa: Editora Universitária/UFPB, v. 229, 2004.

GOPALAN C, RAMASASTRY BV, AND BALASUBRAMANIAN SC. 1991. **Nutritive Value of Indian Foods.** Hyderabad, India:National Institute of Nutrition

IAL, INTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos.** IAL, Normas Analíticas, 2008.

KALETA, A.; GÓRNICKI, K. **Evaluation of drying models of apple (var. McIntosh) dried in a convective dryer.** International journal of food science & technology, v. 45, n. 5, p. 891-898, 2010.

KEEY, R. B. **Drying: Principles and practice.** New York: Pergamon Press. 1972. 358p.

MERCALI, G. D.; TESSARO, I. C.; NOREÑA, C. P.; MARCZAK, L. DAL. **Mass transfer kinetics during osmotic dehydration of bananas (*Musa sapientum*, *shum*).** International journal of food science & technology, v. 45, n. 11, p. 2281-2289, 2010.

NASCIMENTO, W. M.; VIEIRA, J. V.; MAROUELLI, W. A. **Produção de sementes de cenoura.** In: Curso sobre tecnologia de produção de sementes de hortaliças, 12., 2012, Mossoró, RN. Brasília, DF: Embrapa, 2012.

OLIVEIRA, M. M.; CAMPOS, A. R. N.; GOMES, J. P.; SILVA, F. L. H. **Isotermas desorção do resíduo agroindustrial da casca do abacaxi (*Ananas comosus* L. Mer).** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.9, n.4, p.565-569, 2005.

ROCHETI, E. F.S. **Estudo do processo de secagem em leito de espuma de cenoura, tomate, beterraba e morango.** 2014. 66 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de alimentos) – Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 2014.

SARPONG, F.; ZHOU, C.; BAI, J.; AMENORFE, L. P.; GOLLY, M. K.; MA, H. **Modeling of drying and ameliorative effects of relative humidity (RH) against β -carotene degradation and color of carrot (*Daucus carota* var.) slices.** Food science and biotechnology, v. 28, n. 1, p. 75-85, 2019.

SILVA, C. K. F. **Estimação de parâmetros de secagem de alimentos – formulação de luikov e uso da transformada integral generalizada.** Tese de doutorado Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal da Paraíba (2010) 127p.

SILVA, W. P.; SILVA, C. **LAB Fit curve fitting software**. Nonlinear regression and treatment of data program, v. 7, p. 33, 2011.

SILVA, W. P.; SILVA, C. M. D. P.; PRECKER, J. W.; GOMES, J. P.; NASCIMENTO, P. L.; SILVA, L. D. **Diffusion models for the description of seedless grape drying using analytical and numerical solutions**. Agricultural Sciences, v. 3, n. 04, p. 545, 2012.

SONMETE, M. H.; MENGEŞ, H. O.; ERTEKIN, C.; ÖZCAN, M. M. **Mathematical modeling of thin layer drying of carrot slices by forced convection**. Food Measure, Springer, 2017, 11, 629–638.

SRA SK, SANDHU KS, AHLUWALIA P. (2010) **Effect of processing parameters on physicochemical and culinary quality of dried carrot slices**. Journal of Food Science and Technology. 48(2) p.159–166.

USDA. **Base Nacional de Nutrientes para Referência Padrão. Departamento de Agricultura dos EUA**. USDA, <http://ndb.nal.usda.gov/ndb/search/list> (Acesso em 22 de setembro de 2019).

ANÁLISE DO POTENCIAL SUSTENTÁVEL DA MADEIRA EMPREGADA NO SISTEMA *WOOD FRAME*

Data de aceite: 01/09/2020

Data de submissão : 01/06/2020

Vinício da Cunha Dóro

Universidade de Rio Verde Prof. Ms. da
Faculdade de Engenharia Civil
Rio Verde -GO
<http://lattes.cnpq.br/8499018857187269>

Luiz Carlos Souza Guimarães Júnior

Universidade de Rio Verde, Faculdade de
Engenharia Civil
Rio Verde -GO
<http://lattes.cnpq.br/4420992834809097>

RESUMO: Apesar da larga disponibilidade de materiais sustentáveis para o setor da construção civil, atualmente são utilizados materiais com alto teor de energia incorporada, resultando também em grande quantidade de poluentes lançados no meio ambiente. Este artigo apresenta uma revisão de literatura sobre a contribuição dos materiais para a sustentabilidade da indústria da construção civil, além de analisar o potencial sustentável da madeira empregada no sistema *wood frame*. Para isso, foi adotado uma edificação usual, e aplicada sobre ela, três diferentes métodos construtivos: alvenaria estrutural em bloco de concreto, alvenaria estrutural em tijolo cerâmico vazado e *wood frame*. Após caracterizar as áreas de parede e adotando referências de energia incorporada (EI) por metro quadrado, encontrou-se os valores de EI em Megajoule. O resultado para a alvenaria estrutural de blocos de

concreto foi de 439211,36 MJ, para a alvenaria estrutural de blocos cerâmicos vazados foi de 100065,96 MJ e para o *wood frame*, principal objeto de estudo deste trabalho, 66043,91 MJ. Assim, comparado à métodos tradicionais que são amplamente utilizados no país, o *wood frame* mostra sua capacidade sustentável quando se considera o teor de energia incorporada, sendo assim, a sua utilização um vetor contribuinte para desenvolvimento sustentável na construção civil.

PALAVRAS-CHAVE: *Wood frame*, sustentabilidade, energia incorporada, materiais de construção.

ANALYSIS OF THE SUSTAINABLE POTENTIAL OF WOOD USED IN THE *WOOD FRAME* SYSTEM

ABSTRACT: Despite the wide availability of sustainable materials for the construction industry, materials with a high embodied energy are currently used, resulting in a large amount of pollutants released into the environment. This article presents a literature review on the contribution of materials to the sustainability of the construction industry, in addition to analyzing the sustainable potential of the wood used in the wood frame system. For this, a common building was adopted, and applied on it, three different constructive methods: structural masonry in concrete block, structural masonry in hollow ceramic brick and wood frame. After characterizing the wall areas and adopting embodied energy references (EE) per square meter, the EE values in Megajoule were found. The result for the structural masonry of concrete blocks was 439211,36 MJ, for the structural

masonry of cast ceramic blocks was 100065,96 MJ and for the wood frame, main object of study of this work, 66043,91 MJ. Thus, compared to the traditional methods that are widely used in the country, the wood frame shows its sustainable capacity when considering the embodied energy content, thus, its use as a contributor vector for sustainable development in construction.

KEYWORDS: *Wood frame*, sustainability, embodied energy, materials of construction.

1 | INTRODUÇÃO

Por natureza, o setor da construção civil sempre foi um pungente aspecto econômico para a sociedade, envolvendo uma grande quantidade de matéria prima e mão de obra. É fato que com o crescimento demográfico visto nos últimos tempos, maior se torna a demanda em realizar construções e intervenções da engenharia civil.

Com a ampliação dessas atividades, várias técnicas foram utilizadas para acelerar a execução das obras, pensando também na redução de custos e desperdícios de materiais. Entretanto, comparado aos demais setores econômicos, a construção civil recebe pouca inovação tecnológica e se sustenta em métodos convencionais e arcaicos (OLIVEIRA, 2015).

Na Europa, a indústria da construção é considerada um dos maiores e mais atrativos entre os setores econômicos. Entretanto, é responsável gerar impactos ambientais, utilizando grandes quantidades de energia, além de produzir um considerável volume de resíduos. O problema fica evidente quando se tem conhecimento de que a indústria da construção a nível global consome mais matérias prima (cerca de 3000 Mt/ano) do que qualquer outra atividade (TORRALBA; JALALI, 2007). De acordo com Kibert (1994) a indústria da construção civil tem sentido necessidade de se responsabilizar ambientalmente e está buscando minimizar os impactos ambientais negativos.

Discutida no meio acadêmico como o principal material de construção no século 21 no mundo, a madeira apresenta uma série de atrativos ao desenvolvimento sustentável. De acordo com Souza (2010, p. 21) comparando a madeira com outros materiais empregados na construção civil, é o que menos gasta energia em seu ciclo de vida, além de ser uma fonte renovável e produzida naturalmente.

O conceito de sustentabilidade está relacionado em consumir os recursos naturais disponíveis de forma racional e produtiva, evitando desperdícios e pensando na disponibilidade deles para as futuras gerações. Por isso, o termo tem sido debatido frequentemente nos últimos anos, no intuito de adequar as atividades econômicas a esse modelo.

Para ser considerada sustentável, a construção deve ser implantada de forma a haver um aproveitamento passivo dos recursos bioclimáticos, com materiais e processos construtivos de baixo impacto ambiental (PORTELA DE SOUZA, 2010, p.24).

Uma das principais ideias a serem tratadas no aspecto da sustentabilidade na construção civil diz respeito a seleção de materiais. Atualmente, existem algumas alternativas que auxiliam na redução de impactos ambientais, como materiais obtidos a partir de resíduos (reciclados) ou de fontes renováveis (madeira de floresta plantada).

A madeira reflorestada apresenta um potencial de substituição muito atrativo, pois além de possuir baixa energia incorporada, seu plantio é responsável por purificar a atmosfera terrestre, através da retirada de CO₂. Segundo Portela de Souza (2010, p. 25) “a madeira destaca-se como um elemento pronto, que associado a alguns outros materiais, já possui potencial para a produção de uma edificação”. A figura 1 representa o ciclo do CO₂ envolvido na construção em madeira.

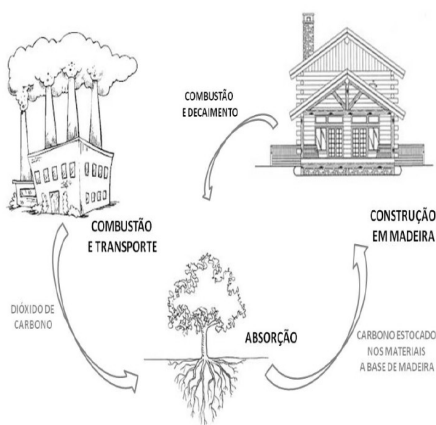


Figura 1 – O ciclo do CO₂ na construção em madeira

Fonte: Monich (2012)

“A energia incorporada nos materiais de construção, engloba energia utilizada na extração das matérias-primas, na fase de produção, no transporte e na aplicação dos materiais em obra” (TORGAL, JALALI, 2010, p. 72).

Alguns aspectos podem potencializar a sustentabilidade da utilização da madeira como material de construção, principalmente partindo de um sistema industrializado. São agregados o aspecto racional da produção, o emprego de peças curtas, uma vez que as florestas plantadas são cerradas ainda jovens, e a redução no desperdício de material. Além disso, os projetos são mais flexíveis, agregando uma maior vida útil à edificação, pois se torna mais fácil executar reparos ou realizar reaproveitamento de seus elementos (PORTELA DE SOUZA, 2010, p. 21).

Um modelo rentável para a utilização desse material é proposto na elaboração de unidades habitacionais através do sistema construtivo *wood frame*. Molina e Junior (2010,

p. 02) descrevem esse método como um sistema construtivo industrializado, durável, com uma estrutura baseada em perfis de madeira reflorestada tratada, compondo painéis de pisos, paredes e telhados, aliados a outros materiais, conferindo conforto térmico e acústico.

Por isso, observando a ampla utilização do sistema *wood frame* em países de primeiro mundo, como Estados Unidos, Japão e União Europeia (MOLINA; JUNIOR, 2010), e frente a necessidade em propor soluções sustentáveis ao setor da construção civil brasileira, procura-se constatar a necessidade de implementar o sistema. Assim, buscando eficácia na redução dos impactos ambientais provocados atualmente na utilização de materiais não sustentáveis e danosos a natureza.

Apesar de sua assertividade como material de construção comprovados em diversos países, o potencial estrutural da madeira no Brasil é um assunto pouco discutido e atrelado a sensos errôneos de que esta implica no desmatamento de áreas protegidas. Não obstante, na década de setenta essa tecnologia foi colocado de lado com a introdução de estruturas de concreto e pelas imposições do mercado. Por outro lado, notava-se a evolução das estruturas de madeira pelo resto do mundo (MOLINA; CALIL JUNIOR, 2010, p. 145).

Uma das empresas pioneiras neste sistema no Brasil é a Tecverde, que trouxe da Alemanha no ano de 2010 toda tecnologia necessária através de convênios e parcerias com instituições de crédito e investimento. Em seu sistema, as paredes pesam 150kg/m² e são compostas por: montantes de pinus autoclavados com elevada densidade, preenchidos com isolamento térmico e acústico; placa estrutural de OSB nas duas faces; na parte externa de 14 cm de espessura, membrana hidrófuga e placa cimentícia; e na parte interna de 12 cm de espessura, gesso acartonado (FERREIRA, 2013, p. 18). A figura 2 ilustra a constituição das paredes internas e externas.

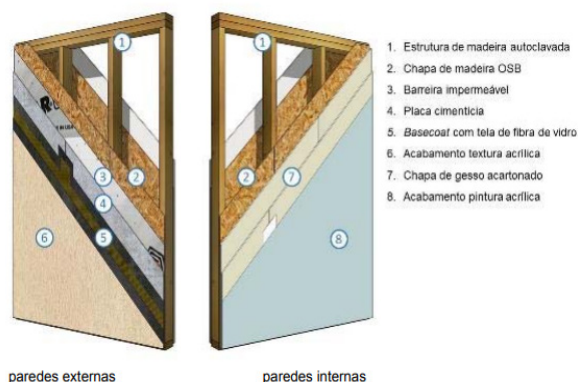


Figura 2 – Constituição das paredes internas e externas

Fonte: DATec (2018)

Dentre os materiais derivados da madeira serrada e que são empregados no *wood frame* destaca-se o uso de painéis de OSB. Este elemento apresenta função estrutural, sendo produzido a partir do processamento de toras de madeira, e posteriormente partículas de madeira coladas com resina resistente à umidade. Sua composição são: duas camadas longitudinais externas e duas camadas perpendiculares internas (OLIVEIRA, 2016, p. 46).

Colocado em questão os desafios atuais na utilização de materiais sustentáveis para a indústria da construção, mostra-se então a necessidade de investigação e entendimento integral sobre o tema, permitindo no final, compartilhar informações relevantes para a transformação ambiental deste setor.

2 | OBJETIVOS

Este artigo tem como objetivo analisar o potencial sustentável da madeira de floresta plantada que compõe o sistema construtivo *wood frame* pela metodologia de energia incorporada no material, comparando com outros materiais convencionais já estabelecidos no mercado.

3 | MATERIAL E MÉTODOS

Para considerar informações pertinentes sobre o desenvolvimento sustentável no setor da construção civil, foi realizada uma extensa pesquisa em dissertações, teses e periódicos, revelando as principais metodologias e alternativas. O caminho para definição da sustentabilidade do sistema construtivo estudado foi seguido de acordo com a figura 3.

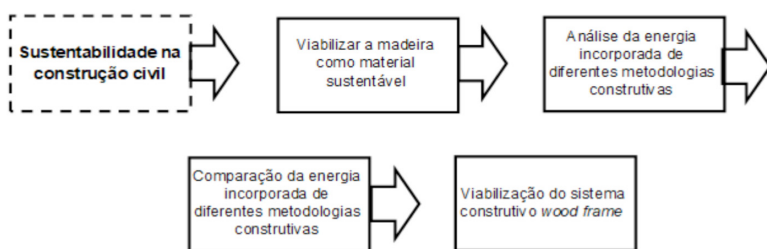


Figura 3 – Fluxograma para definição do potencial sustentável do sistema

Fonte: Autor (2019)

A análise consiste em comparar a energia incorporada dos principais sistemas construtivos com função de vedação e estrutura, sendo eles: a alvenaria estrutural de blocos de concreto, alvenaria estrutural de blocos cerâmicos vazados, e o *wood frame*. A energia incorporada é dada em Megajoules por Quilograma (MJ/kg).

A quantificação de EI na alvenaria estrutural de blocos de concreto e alvenaria estrutural de blocos cerâmicos vazados foi transferida dos trabalhos de Junior (2012) que desenvolveu um projeto de uma edificação térrea, revelando os quantitativos de materiais e componentes necessários, e em seguida, relacionando com o teor de EI de outros autores para cada metro quadrado de sistema construtivo.

A quantificação de EI no *wood frame* foi retirada de Oliveira (2016), analisando o processo de extração, transporte e produção de materiais de construção que compõem esse sistema, conforme os princípios de ciclo de vida do produto, calculando entradas de matéria-prima e energia, como visto na figura 4. Não é incluído no quantitativo de EI as operações florestais devido ao seu valor considerável. Vale destacar que foi adotado madeira de florestas plantadas com manejo sustentável, incluindo aproveitamento dos resíduos para constituir as placas de OSB (também descrita como *fiberboard* na pesquisa, para níveis de comparação, uma vez que os dados energéticos do processo de fabricação do OSB estão indisponíveis).



Figura 4 – Ciclo de vida das edificações
Fonte: Oliveira (2016)

Os dados de energia incorporada para cada sistema citado são vistos na tabela 1.

Fonte	Sistema de vedação e estrutura	EI (MJ/m²)
JUNIOR, 2012	Alvenaria estrutural de blocos de concreto (19x19x39 cm)	4738.6
JUNIOR, 2012	Alvenaria estrutural de blocos cerâmicos vazados (19x19x39)	1079.6
OLIVEIRA, 2016	Wood frame (OSB + Madeira Estrutural)	712.54

Tabela 1 – Valor da Energia incorporada em sistemas de Alvenaria e Wood Frame

Fonte: Autor (2019)

No presente trabalho será adotada uma edificação com área total de 38,34 m² e um pé direito de 2,8m como visto na figura 5.

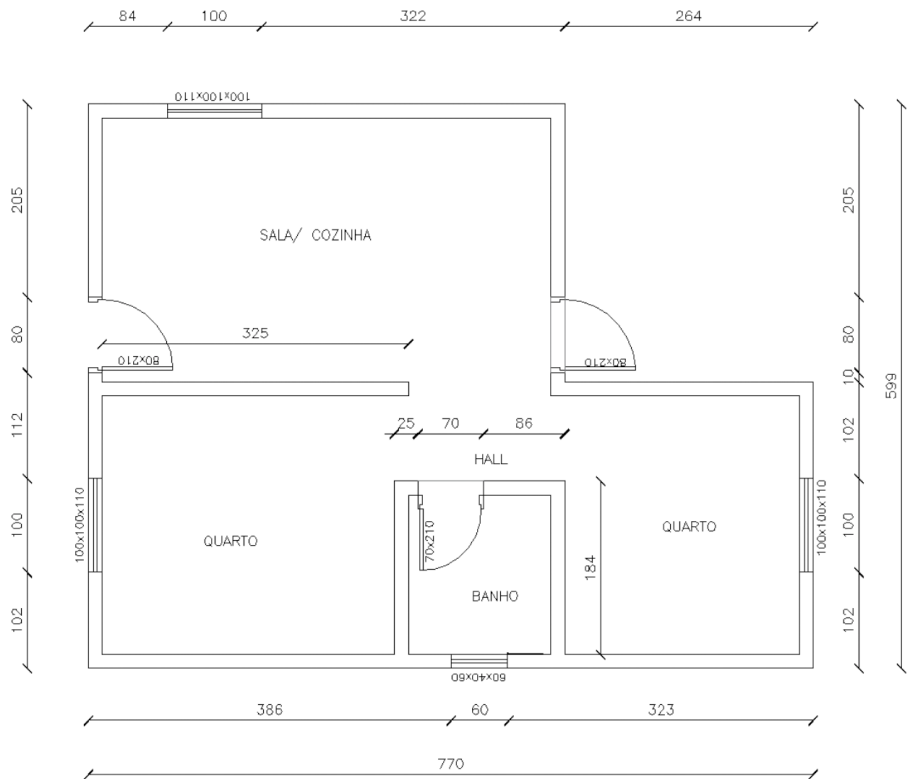


Figura 5 – Planta baixa da edificação

Fonte: Autor (2019)

Para a próxima etapa foi calculado a área das esquadrias presentes na planta em análise como visto na tabela 2.

Esquadrias	Quantidade	Dimensões (m)
Janela	3	1.00 x 1.00
Janela	1	0.60 x 0.40
Porta	3	0.80 x 2.10

Tabela 2 – Quantidade e dimensões das esquadrias

Fonte: Autor (2019)

Assim, para encontrar a área total de paredes descontando a área das esquadrias, o perímetro de paredes da edificação foi relacionado com o pé direito, sendo estes, 36.06m e 2.8m respectivamente.

Por fim, multiplicou-se os valores de energia incorporada de cada sistema de vedação e estrutura pela área total de paredes, realizando um comparativo a partir da referência em Megajoules (tabela 3).

Sistema de vedação e estrutura	El da edificação adotada (MJ)
Alvenaria estrutural de blocos de concreto (19x19x39 cm)	439211.36
Alvenaria estrutural de blocos cerâmicos vazados (19x19x39)	100065.96
Wood frame (OSB + Madeira Estrutural)	66043.91

Tabela 3 – Cálculo da energia incorporada nos sistemas analisados

Fonte: Autor (2019)

4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Seguindo as dimensões e a quantidade e esquadria exposta na tabela 3, as áreas das 3 janelas de 1x1m, da janela de 0.6x0.4m, e das 3 portas de 0.8x2.1m, são respectivamente: 3m², 0.24m² e 5.04m², totalizando 8.28m² de área de esquadrias.

Considerando o perímetro de paredes e pé direito fornecido, e a área de esquadrias encontradas anteriormente, multiplicou-se 36.06m por 2.8m, e subtraiu por 8.28m², totalizando uma área líquida de 92.688m².

Com a área líquida de 92.688m² definida, esse valor foi multiplicado por cada teor de El por metro quadrado, fornecido na tabela 2. O resultado para a alvenaria estrutural de blocos de concreto foi de 439211.36 MJ, para a alvenaria estrutural de blocos cerâmicos vazados foi de 100065.96 MJ e para o *wood frame*, principal objeto de estudo deste trabalho, 66043.91 MJ.

Através da comparação de diferentes métodos construtivos relacionados aos teores de energia incorporada, é possível observar uma diferença nos teores energéticos incorporados, principalmente do sistema constituído por blocos com material cimentício.

A justificativa para a elevada El desse sistema está na utilização do cimento que demanda uma grande quantidade de energia para a extração, transporte, moagem, reações térmicas e operações fabris em geral. A figura 6 ilustra a variação energética dos principais materiais que constituem os sistemas construtivos estudados. Assim, a diferença encontrada de El é justificada pela composição de materiais de cada um desses métodos.

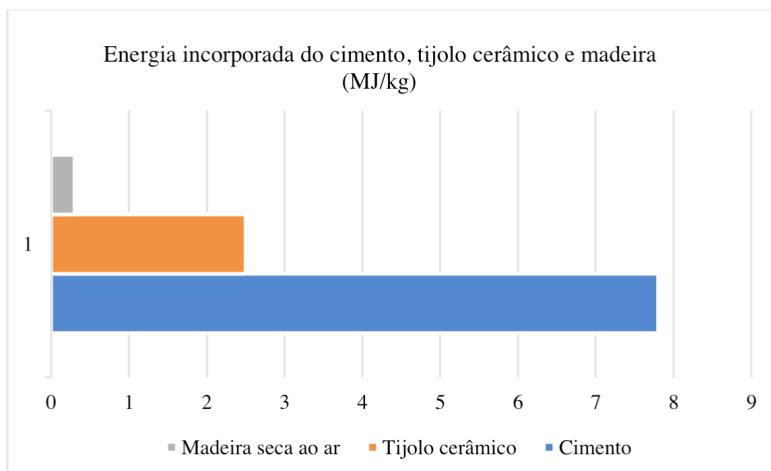


Figura 6 – Comparativo de EI do cimento, tijolo cerâmico e madeira

Fonte: Autor (2019)

Com os resultados encontrados através da simulação de uma edificação para os três métodos construtivos (figura 7), a razão do valor de EI na alvenaria de blocos de concreto chega a ser até 439% maior que a alvenaria de blocos cerâmicos vazados e 665% que o sistema *wood frame*.

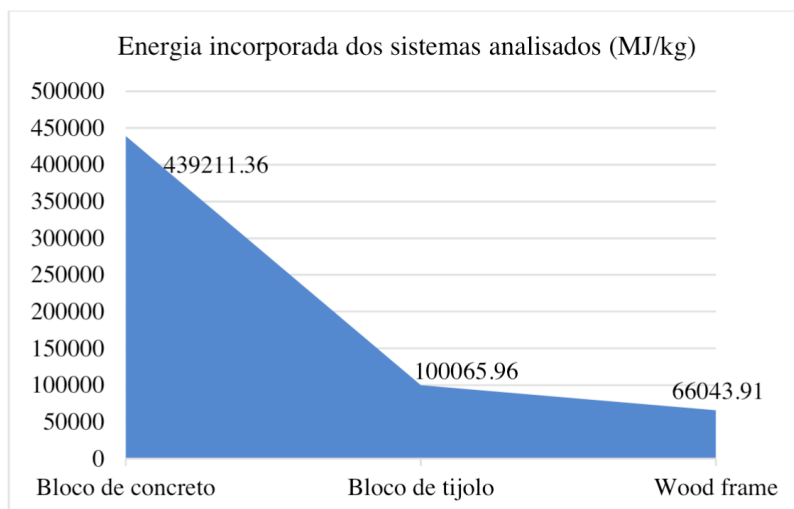


Figura 7 – Energia incorporada dos sistemas analisados

Fonte: Autor (2019)

5 | CONCLUSÃO

Através da associação de informações referentes a: Sustentabilidade na construção civil, Materiais com potencial sustentável, *Wood frame* e energia incorporada; foi possível relacionar diferentes metodologias construtivas à uma edificação para encontrar os valores de EI em Megajoule. Assim, constatar que o sistema *wood frame* apresenta uma grande vantagem no que diz respeito a sustentabilidade das edificações, por envolver a madeira de floresta plantada, sendo este, um material que requer baixa energia principalmente para sua extração e transformação. Após calcular a quantidade de energia incorporada dentro de uma edificação para diferentes metodologias, descobriu-se que na alvenaria de blocos de concreto, esse teor chega a ser até 439% maior que a alvenaria de blocos cerâmicos vazados e 665% maior que o sistema *wood frame*.

REFERÊNCIAS

DATec nº 020-C. **DATec** nº 020-C – Sistema estruturado em peças leves de madeira maciça serrada – Tecverde (tipo light wood framing), 2018.

Ferreira, Romário. **MCMV de madeira**. Revista Guia da Construção, São Paulo, nº 146, p. 16-21, 2013.

Kibert, C. J. **Establishing Principles and a Model for Sustainable Construction**. CIB TG 16 Sustainable Construction, Tampa, Florida, USA, November 6 (9); 03-12, 1994.

Molina, J.C; Junior, C.C. **Sistema construtivo em *Wood frame* para casas de madeira**. Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas, Londrina, v.31, n.2, pp.143-156, jul./dez. 2010. 84f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

Souza, A. F. P. **A sustentabilidade no uso da madeira de floresta plantada na construção civil**. 2010. 95f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

Oliveira, E. **Contribuição para análise do ciclo de vida no ambiente construído visando a energia e o CO2 embutidos no sistema construtivo *wood frame***. 2016. 125f. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Construção Civil), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2016.

Oliveira, F. A. **Organizações Inovadoras Sustentáveis: Um estudo de caso no setor da construção civil**. 2015. 62f. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, SP, 2015.

Souza, R. V. **Aspectos ambientais e de custo de produção do sistema plataforma em madeira para habitação de interesse social: estudo de caso em Florianópolis**. 2013. 191f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.

Torgal, F. P. Jalali, S. **Construção Sustentável: o caso dos materiais de construção**. In: Congresso Construção, 3., 2007, Coimbra, Portugal. *Anais...* Coimbra, Portugal: Universidade de Coimbra, 2007.

ENSAIO DE COAGULAÇÃO À PH NATURAL: SEMENTES DE MORINGA OLEÍFERA LAM E CLORETO FÉRRICO

Data de aceite: 01/09/2020

Data de submissão: 02/06/2020

Luís Gustavo Marcolan

Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia do Amazonas
São Gabriel da Cachoeira – AM

Link para o Currículo Lattes: <http://lattes.cnpq.br/8611012854813435>

Mirely Ferreira dos Santos

Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia de São Paulo
São Paulo – SP

Link para o Currículo Lattes: <http://lattes.cnpq.br/1588433873528669>

Bárbara Dani Marques Machado Caetano

Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia do Amazonas
São Gabriel da Cachoeira – AM

Link para o Currículo Lattes: <http://lattes.cnpq.br/3079505192929388>

RESUMO: A proposta deste trabalho foi de comparar o desempenho de sementes de *Moringa oleífera* Lam e de cloreto férrico como agentes coagulantes da água do Rio Negro, à pH natural. A coleta foi feita em diferentes trechos do referido rio localizado no município de São Gabriel da Cachoeira – AM. O experimento foi conduzido no Laboratório de Química do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas, campus São Gabriel da Cachoeira. As amostras foram tratadas com as sementes de *Moringa*

segundo uma metodologia descrita em literatura especializada. De modo semelhante, a mesma metodologia foi empregada com o cloreto férrico adaptando-se apenas sua concentração. Ao fim da decantação, as amostras foram armazenadas sob refrigeração e enviadas para análise em um laboratório especializado. Os resultados revelaram melhor desempenho das sementes de *Moringa oleífera* Lam em comparação ao coagulante inorgânico, cloreto férrico. No entanto, mais estudos se fazem necessários para se determinar uma metodologia de tratamento de água do Rio Negro mais apropriada com os coagulantes utilizados neste trabalho.

PALAVRAS-CHAVE: Ensaio de coagulação, sementes de *Moringa oleífera* Lam, cloreto férrico.

COAGULATION TEST AT NATURAL PH: MORINGA OLEIFERA LAM SEEDS AND FERRIC CHLORIDE

ABSTRACT: The purpose of this work was to compare the performance of *Moringa oleífera* Lam and ferric chloride seeds as coagulating agents of Rio Negro water, at natural pH. The collection was made in different stretches of the referred river located in the municipality of São Gabriel da Cachoeira – AM. The experiment was conducted at the Chemistry Laboratory of the Federal Institute of Education, Science and Technology of Amazonas, campus São Gabriel da Cachoeira. The samples were treated with *Moringa* seeds according to a methodology described in specialized literature. Similarly, the same methodology was used with ferric chloride,

adapting only its concentration. At the end of the decantation, the samples were stored under refrigeration and sent for analysis in a specialized laboratory. The results revealed a better performance of the seeds of *Moringa oleifera* Lam in comparison to the inorganic coagulation, ferric chloride. However, further studies are needed to determine a more appropriate Rio Negro water treatment methodology with the coagulants used in this work.

KEYWORDS: Coagulation assay, *Moringa oleifera* Lam seeds, ferric chloride.

1 | INTRODUÇÃO

O processo de tratamento de água possui várias fases sendo uma delas a etapa de coagulação/floculação. Embora os termos sejam usados como sinônimos, a coagulação consiste na etapa em que um agente químico reduz as forças que agem mantendo as superfícies em suspensão separadas, umas das outras (VAZ *et. al*, 2010). Já a floculação, segundo Paula (2004), consiste na etapa em que ocorre a agregação das partículas em suspensão por meio de forças de Van der Waals, até formarem grandes flocos que tendem a decantar.

Os sais de alumínio ou de ferro são os principais agentes inorgânicos de coagulação utilizados no tratamento de água, porém apresentam a desvantagem de produzirem grandes quantidades de lodo com íons prejudiciais à saúde humana (VAZ *et. al*, 2010).

Diante desta realidade, estudos que visem alternativas sustentáveis de tratamento de água se fazem necessários. A utilização de coagulantes naturais pode ser uma destas alternativas uma vez que podem ser produzidos no local, apresentam baixo custo financeiro e fornecem resultados positivos no tratamento de água de baixa qualidade além de apresentarem vantagens sobre os coagulantes inorgânicos quanto à biodegradabilidade, baixa toxicidade e produção de lodos residuais (BARBOSA, 2016).

A *Moringa oleifera* Lam é uma árvore de pequeno porte, nativa do norte da Índia, pertencente à família *Moringaceae*, que se adapta a uma ampla faixa de solos, é tolerante à seca (CARDOSO *et. al*, 2008) e cujas sementes possuem propriedades coagulantes (BARBOSA, 2016). Há diversos trabalhos que revelam a capacidade das sementes de *Moringa* de removerem partículas suspensas em meio aquoso, a citar Muyibi e Evison (1994), Borba (2001), Vaz *et. al* (2010) entre outros.

Objetivou-se com o presente estudo comparar a capacidade de remoção de partículas suspensas na água do Rio Negro utilizando-se as sementes de *Moringa oleifera* Lam e o cloreto férrico como agentes coagulantes, a pH natural da fonte.

A metodologia adotada se baseou no roteiro simplificado descrito por Pinto (2006) para o uso das sementes de *Moringa oleifera* e para o cloreto férrico. As amostras foram enviadas para análise em laboratório especializado.

Verificou-se que as sementes de *Moringa* apresentaram resultados superiores aos do cloreto férrico no pH das amostras, porém mais estudos necessitam ser realizados para se determinar a melhor metodologia de tratamento de água para ambos os coagulantes e se fazer as comparações desejadas.

2 | METODOLOGIA

A área de estudo localiza-se no município de São Gabriel da Cachoeira, pertencente ao estado do Amazonas, Brasil. As amostras de água foram coletadas em diferentes pontos do Rio Negro e analisadas antes e após os tratamentos com os coagulantes. O experimento foi conduzido no Laboratório de Química do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas, *campus* São Gabriel da Cachoeira.

As amostras tratadas com as sementes de *Moringa oleífera* L. tiveram como referência a metodologia de roteiro simplificado de como tratar a água com as referidas sementes, descrita por Pinto (2006). De modo semelhante, optou-se por se utilizar a mesma metodologia para os tratamentos que utilizaram o cloreto férrico, fazendo-se adaptações na sua concentração apenas. Após o fim da decantação, as amostras foram armazenadas sob refrigeração e enviadas para um laboratório especializado, localizado em outro município, onde foram analisadas.

3 | DESENVOLVIMENTO

O mecanismo de coagulação promovido pelos sais de ferro é baseado na baixa solubilidade de seus hidróxidos. Quando os sais de ferro se dissolvem no meio aquoso, tendem a reagir neutralizando as cargas negativas presentes na água ao passo que também dão origem a hidróxidos de ferro. Estes hidróxidos precipitam por serem insolúveis, fato que permite o uso dos sais de ferro como agente coagulante numa ampla faixa de pH (VAZ *et. al*, 2010).

Já o processo de coagulação provocado pela semente de *Moringa oleífera* se assemelha ao mecanismo de coagulação promovido por polieletrólitos (DAVINO, 1976). Os polieletrólitos possuem grandes cadeias moleculares ricas em sítios de cargas positivas e negativas que conseguem adsorver as partículas em suspensão na água. Deste modo, não há reação, trata-se apenas de uma interação eletrostática que praticamente independe de valores de pH do meio (BORBA, 2001).

Os sítios positivos e negativos provenientes das sementes de *Moringa* se devem à presença de proteínas solúveis em que há pelo menos seis polipeptídios formados por vários aminoácidos (JAHN, 1998). Quando estes começam a agregar os sólidos suspensos na água, dá-se início ao processo de floculação (SCHWARZ, 1996).

4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

O município de São Gabriel da Cachoeira é banhado pelas águas do Rio Negro, que possui tonalidade escura devido à riqueza de matéria orgânica dissolvida em seu interior, principalmente de substâncias húmicas (ZEIDEMANN, 2001). Logo a cor, a turbidez e o pH são parâmetros afetados pela presença destas substâncias que tornam o consumo direto

da água do rio inadequada para a população. A média da análise das amostras brutas para cor aparente, turbidez e pH revelaram valores 141,67 UI, 1,96 NTU e 3,67 respectivamente.

Como este trabalho visava estudar o desempenho de coagulação/floculação provocado pelos diferentes coagulantes na água do Rio Negro, optou-se em trabalhar no pH natural das amostras brutas.

Os melhores resultados para remoção da cor e da turbidez ocorreram com o uso das sementes de *Moringa oleífera* L. com redução de 85,8% da cor e 26% da turbidez, em média. Em um estudo semelhante com as sementes de *Moringa*, Borba (2001) conseguiu remover 96,20% da cor e da turbidez das águas do Rio Taperoá, no município de São João do Cariri. Em outro trabalho, Muyibi e Evison (1994) também obtiveram altos rendimentos na remoção da turbidez, na ordem de 80 a 99,5%. Comparando-se os resultados deste trabalho com os trabalhos citados, acredita-se que o baixo desempenho das sementes de *Moringa* na remoção da turbidez das amostras analisadas se deve ao tempo de envio para o laboratório especializado, localizado em outro município, pois se observou que a evolução do tempo favorecia a decomposição da matéria orgânica proveniente das sementes que, consequentemente, podem ter acrescido algum grau de turbidez às amostras enviadas.

Já o tratamento com o cloreto férrico apresentou aumento de 35,6% da cor e 43,7% da turbidez, em média. Acredita-se que como houve um aumento nos parâmetros da cor e da turbidez das amostras, parte do cloreto férrico não participou da reação permanecendo na solução em excesso. Segundo Vaz *et. al* (2010), quando isto ocorre, os íons de ferro conferem uma coloração turva e amarelada à água, dependendo de sua concentração. Característica esta que foi observada nas amostras estudadas.

Estudos desenvolvidos por Santos (2001) demonstraram que o cloreto férrico apresentou índices de remoção de turbidez de esgoto sanitário maiores que 96% com pH entre 6 e 7. Vaz *et. al* (2010) obtiveram remoção de 31,57% de cor e 95,27% da turbidez estudando um efluente de galvanoplastia com pH de 6,45. Com base nestes estudos, uma possibilidade é que o pH ácido das amostras não proporcionaram um ambiente propício à formação dos hidróxidos de ferro para que houvesse a redução da turbidez e da cor.

5 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

As sementes de *Moringa oleífera* L. apresentaram resultados superiores aos do cloreto férrico, revelando-se como um potencial recurso alternativo para o tratamento das águas do Rio Negro no pH natural da fonte. No entanto, percebe-se a necessidade de se realizar mais estudos que determinem os melhores parâmetros de concentração, pH, tempo de agitação e de decantação afim de se estabelecer uma metodologia mais apropriada para o tratamento das águas da região.

Por outro lado, o cloreto férrico apresentou resultados negativos não sendo capaz de reduzir nem a cor, nem a turbidez das águas do Rio Negro. Conclui-se, portanto, que

mais estudos necessitam ser desenvolvidos para se determinar uma melhor metodologia de tratamento de água com o coagulante inorgânico ou se identificar sua ineficiência no tratamento de águas naturalmente ácidas.

REFERÊNCIAS

BARBOSA, H. S. **Tratamento de água de um açude na cidade de Surubim-PE com sementes de Moringa oleífera**. 2016. 32 f. **Monografia** (Bacharel em Engenharia Ambiental) – Faculdade da Associação Caruarense de Ensino Superior e Técnico, Caruaru, 2016.

BORBA, L. R. **Viabilidade do uso da Moringa oleífera Lam no tratamento simplificado de água para pequenas comunidades**. 2001. 96 f. **Dissertação** (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente)- Universidade Federal da Paraíba, Fortaleza, 2001.

CARDOSO, K. C.; BERGAMASCO, R.; COSSICH, E. S.; MORAES, L. C. K. **Otimização dos tempos de mistura e decantação no processo de coagulação/floculação de água bruta por meio da Moringa oleífera Lam**. *Acta Scientiarum. Technology*, v. 30, n. 02, p. 193-198, Maringá, 2008.

DAVINO, F. **Tecnologia de tratamento de água: água na indústria**. Rio de Janeiro: Almeida Neves, 1976. 251 p.

JAHN, S. A. A. **Using Moringa seeds as coagulant in developing countries**. *Journal of the American Water Works Association*, v. 06, p. 43-50, 1998.

MUYIBI, S. A; EVISON, L. M. **Moringa oleífera seeds for softening hardwater**. Newcastle: University of Newcastle upon Tyne, 1994.

PAULA, S. L. **Clarificação do extrato aquoso de Stevia Rebaudiana (Bert.) Bertonii, utilizando polímeros naturais**. 2004. **Dissertação** (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade de Maringá, Maringá, 2004.

PINTO, N. O.; HERMES, L. C. **Sistema simplificado para melhoria da água consumida nas comunidades rurais do semi-árido do Brasil**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2006. 47 p.

SANTOS, H. R. **Aplicação de coagulantes no afluente de reator anaeróbio de efluente expandido alimentado com esgoto doméstico**. 2001. 129 f. **Dissertação** (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2001.

SCHWARZ, D. **Water clarification using Moringa oleífera**. Berlin: Gate Information Service, 1996.

VAZ, L. G. L.; KLEN, M. R. F.; VEIT, M. T.; SILVA, E. A.; BARBIERO, T. A.; BERGAMASCO, R. **Avaliação da eficiência de diferentes agentes coagulantes na remoção de cor e turbidez em efluente de galvanoplastia**. *Eclética Química*, São Paulo, v.35, n.04, p. 45-54, 2010.

ZEIDEMANN, V. K. **Florestas do Rio Negro**. São Paulo: Companhia das Letras, 2001. 344 p.

UTILIZAÇÃO DO BAGAÇO DE MALTE NA ALIMENTAÇÃO HUMANA: REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA

Data de aceite: 01/09/2020

Data de submissão: 12/06/2020

Caroline Tombini

Universidade Comunitária da Região de
Chapecó - UNOCHAPECÓ
Chapecó - Santa Catarina
<http://lattes.cnpq.br/6454742409883288>

Janayne Sander Godoy

Universidade Comunitária da Região de
Chapecó - UNOCHAPECÓ
Chapecó - Santa Catarina
<http://lattes.cnpq.br/8623698416377925>

Aline Patrícia Ullmann

Universidade Comunitária da Região de
Chapecó - UNOCHAPECÓ
Chapecó - Santa Catarina
<http://lattes.cnpq.br/3120844514346193>

Gabriel Fante

Universidade Comunitária da Região de
Chapecó - UNOCHAPECÓ
Chapecó - Santa Catarina
<http://lattes.cnpq.br/6185130340232853>

Josiane Maria Muneron de Mello

Universidade Comunitária da Região de
Chapecó - UNOCHAPECÓ
Chapecó - Santa Catarina
<http://lattes.cnpq.br/4452075001099749>

Francieli Dalcanton

Universidade Comunitária da Região de
Chapecó - UNOCHAPECÓ
Chapecó - Santa Catarina
<http://lattes.cnpq.br/7708949855601731>

RESUMO: As indústrias cervejeiras produzem grande quantidade de resíduos, sendo o bagaço de malte correspondente a cerca de 85% do total produzido. Atualmente, o principal destino deste resíduo é alimentação animal, por apresentar alto teor de fibras e proteínas, ou aterros sanitários. Dessa forma, o objetivo deste estudo foi realizar uma revisão da literatura, buscando estudos de aplicação do bagaço de malte na alimentação humana. Realizou-se uma busca no Portal de Periódicos da Capes, em maio de 2019, utilizando-se as palavras-chave *malt bagasse*, *malt residue*, *brewer's spent grain*, *chemical composition*, *characterization* e *human nutrition*. Foram selecionados artigos nacionais e internacionais, sem parâmetro de tempo. Inicialmente, encontrou-se 517 artigos, e com os critérios de seleção aplicados, selecionou-se 18 para estudo. Os artigos demonstraram que o bagaço de malte apresenta características nutricionais altamente desejáveis para a dieta humana, como alto teor de fibras, proteínas e compostos bioativos. Além disso, com o aumento do custo para descarte deste material, os usos alternativos são altamente procurados, como alimentação animal ou com finalidade energética, porém, há ainda indícios de que o bagaço de malte pode ser incorporado em alimentos, por exemplo, a adição como farinha em produtos panificados, agregando valor à este resíduo e enriquecendo nutricionalmente o alimento. Dessa forma, constatou-se que o bagaço de malte apresenta potencial de incorporação na alimentação humana, porém, a literatura apresenta poucos estudos quando buscados trabalhos completos de caracterização físico-química e aplicação.

PALAVRAS-CHAVE: Bagaço de malte, Agregar de valor, Resíduo.

USE OF MALT BAGASSE IN HUMAN NUTRITION: SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW

ABSTRACT: The brewing industries produce a large amount of waste, with malt bagasse corresponding to about 85% of the total produced. Currently, the main destination of this waste is animal feed, as it has a high content of fibers and proteins, or landfills. Thus, the objective of this study was to conduct a literature review, seeking studies on the application of malt bagasse in human nutrition. A search was carried out on the Capes Periodicals Portal, in May 2019, using the keywords malt bagasse, malt residue, brewer's spent grain, chemical composition, characterization and human nutrition. National and international articles were selected, with no time parameter. Initially, 517 articles were found, and with the selection criteria applied, 18 were selected for study. The articles demonstrated that the malt bagasse has highly desirable nutritional characteristics for the human diet, such as high content of fibers, proteins and bioactive compounds. Further, with the increased cost of disposing this material, alternative uses are highly sought after, as animal feed or for energy purposes, however, there is still evidence that malt bagasse can be incorporated into food, for example, the addition as flour in bakery products, adding value to this residue and nutritionally enriching the food. Thus, it was found that the malt bagasse has potential for incorporation into human food, however, the literature presents few studies when searching for complete works of physical-chemical characterization and application.

KEYWORDS: Malt bagasse, Aggregate value, Residue.

1 | INTRODUÇÃO

A geração de resíduos industriais em grande quantidade consiste em um problema para a sociedade. Diante disso, estudos e pesquisas que desenvolvam maneiras de redução ou utilização de resíduos estão em foco. As cervejarias produzem uma grande quantidade de resíduos, e o bagaço de malte representa aproximadamente 85% do total de subprodutos gerados (ALIYU; BALA, 2011). Estima-se que para cada 1000 litros de cerveja produzidos, 350 kg de resíduo úmido são obtidos (MELLO, 2014).

Como o bagaço de malte consiste basicamente da casca do grão de cevada obtida após a elaboração do mosto cervejeiro, sua composição química pode variar de acordo com o tipo de cevada utilizada e o seu tempo de colheita, as condições de malteação e mosturação a que esta foi submetida e também com a qualidade e o tipo de adjuntos adicionados ao processo cervejeiro (SANTOS *et al.*, 2003).

O bagaço de malte como resíduo, apresenta algumas desvantagens, como por exemplo, deve ser armazenado resfriado e usado durante um curto período de tempo, a fim de evitar a deterioração devido a sua alta umidade e alto teor de açúcar fermentável (VALVERDE, 1994; MUSSATTO; DRAGONE; ROBERTO, 2006).

Seu principal destino tem sido para alimentação animal, para fins energéticos, ou ainda, para processos químicos e biotecnológicos (DRAGONE, 2007; MCCARTHY *et al.*, 2013). Com o aumento do custo para descarte deste material, os usos alternativos

são altamente procurados e há indícios de que o bagaço de malte pode ser efetivamente integrado em lanches prontos para consumo (STOJCESKA *et al.*, 2008). Dessa forma, o desenvolvimento de novas técnicas que possibilitem um melhor aproveitamento deste resíduo é de grande interesse, visto que é produzido em grandes quantidades durante o ano inteiro (DEL RÍO; PRINSEN; GUTIÉRREZ, 2013). Além disso, a alta fração de resíduo de bagaço de malte gerado no processo produtivo, cerca de 38,6 milhões de toneladas por ano, torna este material barato e adequado para exploração (MUSSATTO, 2014).

O bagaço de malte consiste basicamente das cascas do grão de cevada e por este motivo, pode apresentar diferenças devido ao tipo de cevada utilizada, seu tempo de colheita, as condições de malteação e mosturação a que esta foi submetida e também com a qualidade e o tipo de adjuntos adicionados ao processo cervejeiro (SANTOS *et al.*, 2003). Apesar dessa variabilidade que pode ser encontrada, o bagaço de malte é sempre uma boa fonte de fibras e proteínas, que são os seus componentes principais, mas também apresenta minerais, vitaminas, aminoácidos essenciais, polifenóis e lipídios (MUSSATTO; DRAGONE; ROBERTO, 2006; WATERS *et al.*, 2012). Ainda, é considerado fonte de compostos fenólicos, que possuem grande potencial antioxidante (ALMEIDA, 2014).

Muitos dos subprodutos gerados em indústrias de alimentos e bebidas, possuem qualidade nutricionais consideráveis para serem incorporados em outros alimentos (MATHIAS; MELLO; SERVULO, 2014). Utilizar esses subprodutos, além de ser uma oportunidade do ponto de vista econômico, é uma vantagem por ser um produto natural que pode ser utilizado no lugar de ingredientes sintéticos que podem apresentar toxicidade (ELLEUCH *et al.*, 2011; WATERS *et al.*, 2012). Assim, a utilização desses subprodutos minimiza o impacto no meio ambiente pelo descarte deste e ainda agrega valor aos produtos do mercado (ALEXANDRE *et al.*, 2013).

O presente estudo tem como objetivo avaliar as publicações na literatura a respeito da utilização do bagaço de malte para alimentação humana através de uma revisão sistemática da literatura, visto que este apresenta-se como um resíduo interessante nutricionalmente para incorporação ou desenvolvimento de alimentos.

2 | MATERIAIS E MÉTODO

A fim de encontrar os artigos com aplicação do bagaço de malte na alimentação humana, realizou-se uma busca no Portal de Periódicos da Capes, no período de maio de 2019, utilizando-se as palavras-chave *malt bagasse*, *malt residue*, *brewer's spent grain*, *chemical composition*, *characterization* e *human nutrition*. Para a seleção dos artigos, não foi utilizado filtro de parâmetro de tempo e foram selecionados artigos nacionais e internacionais.

Inicialmente, encontraram-se 517 artigos, e a partir destes, utilizou-se filtro de idioma, selecionando inglês, português e espanhol e posteriormente, efetuou-se a seleção

por base de dados, em que optou-se por bases: *Scopus (Elsevier)*, *Science Citation Index Expanded (Web of Science)* e *ScienceDirect Journals (Elsevier)*, o que resultou na seleção de 365 artigos.

Após a leitura do título e resumo destes artigos e remoção dos que se encontravam duplicados, excluiu-se aqueles que não se apresentaram alinhados com o tema da pesquisa proposto, ou seja, não mencionam a utilização do bagaço de malte na alimentação humana, ou sua importância para tal finalidade, restando 28 artigos.

Com os 28 artigos selecionados, realizou-se a leitura completa destes e selecionou-se 18 para estudo, os quais são apresentados no presente estudo.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Através da pesquisa realizada, com a seleção dos 18 artigos que apresentam a utilização do bagaço de malte para fins de alimentação humana, com estudos de aplicação em produtos, bem como as características deste que o tornam interessante para esta aplicação, detalha-se o que cada um destes artigos apresenta, buscando proporcionar uma base de conhecimento sobre o estado da arte deste tema.

Santos *et al.* (2003), realizaram um estudo que mostra a variabilidade na composição de oito lotes de grãos usados fornecidos por uma cervejaria. As amostras frescas foram secas em estufa (60 °C, 18 h) para garantir a preservação.

A proteína é o principal parâmetro para a caracterização química de bagaço de malte usado na nutrição animal e humana. Teor de proteínas nas amostras secas em estufa foi de 24,2% em peso seco (como a média dos oito lotes), que foi superior às amostras liofilizadas (21,8% em peso seco), mas inferior às amostras congeladas (26,4% em peso seco).

De um estudo anterior, foi calculado que o conteúdo de pentose (soma de xilose e arabinose) nesses mesmos lotes de bagaço de malte variaram entre 23,0 e 27,3% de peso seco para amostras liofilizadas, entre 21,0 e 27,3 para as amostras secas no forno e entre 21,5 e 24,7% para as amostras congeladas. As pentoses são os principais componentes de a fração de fibra alimentar dos cereais. Juntamente com a proteína, fibra alimentar é um parâmetro de caracterização para bagaço de malte usado como ração animal e gênero alimentício.

O estudo realizado por Waters *et al.* (2012) teve como objetivo utilizar o bagaço de malte, que é um subproduto de baixo valor agregado, como um ingrediente para panificação, valorizando este resíduo. O estudo avaliou a incorporação do bagaço de malte e do bagaço de malte fermentado em pães, para verificar a alteração das propriedades tecnológicas destes, além de qualidade e sabor, visando produzir um produto comparável, mas nutricionalmente superior ao pão integral sem comprometer seus aspectos tecnológicos ou sensoriais, com o objetivo de aproveitar as propriedades nutricionalmente interessantes presentes no bagaço.

Como resultado, a incorporação de até 10% de bagaço de malte, fermentado ou não, nas formulações, apresentou massa com propriedades de manuseio aprimoradas em comparação com a farinha integral (amostra controle), com base em análises reológicas. Com esse percentual de adição, os pães foram completamente aceitos pelo painel sensorial.

De forma geral, os autores concluíram que a substituição da farinha em 10% pelo bagaço de malte, aumenta os níveis nutricionais, principalmente de proteínas, fibras e minerais e faz dessa matéria-prima um importante ingrediente para ser adicionado em formulações de pães, principalmente após o bagaço ser fermentado. Ainda, levando em consideração a recomendação de ingestão diária de fibras pela *European Food Safety Authority* (EFSA), pelo United States Department of Agriculture (USDA) e o *Food and Drug Administration* (FDA), também dos Estados Unidos, que estão nos níveis de 25 e 21-38 g/dia, incorporar 10% de bagaço de malte no pão de trigo, poderia adicionar 13,9 g/dia adicionais de fibra alimentar quando do consumo deste alimento, o que contribuiria em aproximadamente 50% da dose diária recomendada, havendo assim perspectivas de valorização deste resíduo.

Ktenioudaki, O'Shea e Gallagher (2012) realizaram um estudo sobre as propriedades físico-químicas do bagaço de malte e do bagaço de maçã e seus efeitos sobre as propriedades reológicas da massa de farinha de trigo adicionada desses subprodutos.

O bagaço de malte apresentou alto teor de proteína e ambos os produtos avaliados apresentaram-se ricos em fibras. Com a adição desses subprodutos, os autores observaram a alteração das propriedades reológicas e de colagem da massa, a viscosidade extensional biaxial foi significativamente maior, a tensão foi reduzida significativamente e a extensibilidade uniaxial também foi reduzida, enquanto que no módulo de armazenamento, houve um aumento, indicando mudanças estruturais da massa, observadas na capacidade da massa crescer.

De forma geral, incorporar o bagaço de malte na massa implica que os pães obtidos serão menores e mais densos. Os subprodutos apresentaram boa composição nutricional de proteínas e fibras, mas sua adição em produtos alimentícios, como os assados, deve ser feita com cautela. Os autores indicam que mais estudos devem ser feitos nesse campo para que possa viabilizar, futuramente, testes de otimização em padarias.

Xiros e Christakopoulou (2012) encontraram um grande número de publicações nos últimos 5 anos, nas aplicações biotecnológicas do bagaço de malte, representando o crescente interesse científico sobre ele.

Esse resíduo tem sido usado como substrato para o cultivo de fungos, bactérias e cogumelos devido às suas propriedades físicas, como: tamanho de partícula, peso volumétrico, densidade específica, porosidade e capacidade de retenção de água. Além disso, a alta concentração de polissacarídeos, minerais e conteúdo de proteínas tornam o bagaço de malte capaz de se tornar cultivo de muitos microrganismos como uma fonte suficiente de nutrientes.

A exploração das proteínas, carboidratos, lipídios, fenólicos e lignina contidos no bagaço de malte pressupõe que a funcionalidade do resíduo em questão é mantida através do processo de fracionamento. Os métodos de fracionamento enzimático e de solubilização são preferíveis, pois tiram vantagem de alta seletividade das enzimas, permitindo assim, processos eficazes de fracionamento.

Del Río, Princen e Gutiérrez (2013) realizaram estudo avaliando os fitoquímicos presentes no bagaço de malte, visto que estes constituintes são de grande interesse para a indústria farmacêutica, cosmética e alimentícia.

O trabalho buscou realizar uma caracterização completa e detalhada dos lipídios presentes no bagaço de malte através dos métodos de cromatografia gasosa e espectrometria de massa por cromatografia gasosa, usando colunas capilares de alta temperatura de comprimento curto e médio. De acordo com os autores, conhecer a composição de lipídios no bagaço de malte ajudará a maximizar a exploração deste importante produto lignocelulósico agroindustrial.

Como resultados, o estudo determinou que os lipídios predominantes identificados no bagaço de malte foram triglicerídeos, que representaram 67% de todos os compostos identificados, seguidos por uma série de ácidos graxos livres, que chegaram a 18%. Porém, os autores ressaltam que houve diferença significativa com a composição encontrada em trabalhos anteriores, e lipídios não observados anteriormente, foram identificados no trabalho atual.

A partir da composição química descrita neste estudo, os autores elucidaram algumas potenciais aplicações, inclusive para alimentação humana, visando aproveitar estes compostos de interesse para promoção da saúde, visto que o extrato de bagaço de malte pode ser uma fonte interessante de ácidos graxos, glicerídeos e fitoesteróis.

O estudo realizado por McCarthy e colaboradores (2013) realizou uma revisão sobre o bagaço de malte a fim de analisar a bioatividade dos seus compostos fenólicos, seu papel na alimentação animal e seu potencial de incorporação em alimentos para dieta humana.

O estudo evidenciou que o bagaço de malte apresenta ácidos hidroxicinâmicos e seus extratos fenólicos apresentaram potencial antioxidante, identificando um campo de pesquisa em potencial, pois, segundo os autores, são necessários mais estudos nessa área.

Para alimentação humana, a incorporação do bagaço em biscoitos e lanches prontos para o consumo resultou em um aumento do conteúdo de fibras e proteínas. Assim, de acordo com os autores, devido ao baixo custo do bagaço de malte e seu alto valor nutricional, este é um ingrediente ideal para incorporação em alimentos humanos, especialmente para aumentar seu conteúdo de fibras.

Moreira *et al.* (2013) avaliaram a atividade antioxidante e os principais compostos fenólicos presentes em dois tipos de bagaço de malte, claro e escuro. Os resultados deste estudo sugeriram que o bagaço de malte pilsen pode ser usado como uma boa fonte, barata

e natural, de antioxidantes com potencial interesse pelos alimentos, além de farmacêuticos e cosméticos. Os autores ressaltam que o tipo de malte, bem como o processo de maltagem influenciam na concentração de compostos fenólicos e nas características antioxidantes do bagaço, e de forma geral, extratos provenientes de maltes claros, com temperatura de torra menores ou iguais a 160 °C apresentam quantidades maiores de compostos fenólicos, quando comparados com os maltes escuros (temperatura de torra acima de 200 °C).

Gupta, Jaiswal e Abu-Ghannam (2013) avaliaram alterações e liberação de compostos fenólicos e atividade antioxidante durante a fermentação do bagaço de malte com bactérias ácido lácticas. O efeito do tamanho das partículas (PS), a relação sólido-líquido (SL), o tempo de fermentação e velocidade de reação foram otimizados utilizando a superfície de resposta com o objetivo de melhorar o crescimento bacteriano e melhorar a liberação de compostos polifenólicos.

O produto acabado possui alta capacidade antioxidante e suporta o crescimento das bactérias ácido lácticas, sendo que os compostos bioativos liberados neste processo permaneceram inalterados durante o período de armazenamento, contando com um prazo de validade de 15 dias sob refrigeração. Os autores destacam que houve boa adaptação das bactérias ácido lácticas ao caldo de bagaço de malte, havendo possibilidade de utilização de cepas probióticas como cultura inicial para melhoria das propriedades bioativas do produto acabado, sendo necessário, ainda, mais estudos para avaliação sensorial e assim, poder obter um produto comercialmente viável.

O estudo desenvolvido por Mussatto (2014), cujo título faz menção ao bagaço de malte como valiosa matéria-prima para aplicação industrial, faz um apanhado geral sobre as potencialidades de utilização do bagaço de malte nas áreas de produção de energia, processos químicos e biotecnológicos e para produção de alimentos com finalidade animal e humana.

Este estudo ressalta que o principal destino dado ao bagaço de malte têm sido a alimentação animal, pois devido ao alto teor de fibras e também de proteínas, unido ao baixo custo deste subproduto, o tornam interessante para uso como ração. Além disso, o estudo aponta que devido a muitos compostos nutricionalmente interessantes que podem ser encontrados no bagaço de malte, como fibras, proteínas e compostos fenólicos bioativos, ele foi considerado um ingrediente valioso para incorporação na alimentação humana e devido aos benefícios para a saúde, a sua aplicação em outros alimentos foi muito estudada.

A autora relata ainda, que há estudos avaliando a incorporação do bagaço de malte para fabricação de produtos de panificação, como pães, biscoitos, biscoitos, muffins, bolos, *waffles*, panquecas, tortilhas, lanches, rosquinhas e *brownies*, além de ressaltar quais benefícios podem ser encontrados com essa associação. Além da panificação, observou-se que o bagaço de malte também pode ser utilizado para a produção de salsichas *Frankfurters*, e sugeriu-se seu uso como substituto da gordura em produtos à base de

carne e rico em fibras. Outra aplicação ainda diz respeito a produção de tarhana, que é uma preparação culinária a partir da fermentação de farinha de trigo.

Mathias e colaboradores (2015) realizaram a caracterização de umidade, cinzas, carbono orgânico total (COT), e nitrogênio solúvel total, em três resíduos provenientes da produção de cerveja, sendo eles o bagaço de malte, *trub* e levedura residual, a fim de verificar seus principais constituintes. Com a caracterização realizada, observou-se que os três resíduos apresentam alto teor de umidade, acima de 80%, e uma alta carga orgânica também foi observada (TOC em torno de 50%), com alta DQO (> 1000 mg/g), consistente com as origens vegetais e microbianas dos resíduos avaliados. *Trub* e levedura residual apresentaram maior teor de proteínas, em torno de 50%, quando comparados com o bagaço de malte, que apresentou 26,9%.

Assim, os autores evidenciaram que o bagaço de malte, bem como os outros dois resíduos analisados, apresentam vários componentes com valor nutricional significativo, e ainda, com potencial uso, para bioprocessos industriais, devido à sua rica composição em matéria-orgânica.

O estudo de Steiner, Procopio e Becker (2015) avaliou o bagaço de malte como fonte de polissacarídeos de valor agregado para a indústria alimentar, evidenciando também, o alto conteúdo de fibras e proteínas presente nesse material, com enfoque principalmente sobre os efeitos relatados à saúde provenientes de (1–3,1–4)- β -D-glucano e arabinoxilano (AX), compostos considerados benéficos e aceitos pela Autoridade Europeia para a Segurança dos Alimentos (EFSA).

O estudo em questão avaliou diferentes métodos de extração destes compostos com vista na aplicação em alimentos para nutrição humana, bem como avaliou as perspectivas futuras de expansão desse mercado. Ao longo da pesquisa, os autores destacam ainda, os usos do bagaço de malte na alimentação humana, principalmente a sua aplicação em produtos panificados, visto que os componentes presentes neste subproduto da produção de cerveja apresentam propriedades benéficas para a manutenção e promoção da saúde.

Com o objetivo de determinar a composição físico-química de 4 resíduos agroindustriais, bagaço de malte, casca de aveia, casca de arroz e resíduo fibroso de pseudo-hastes de banana, Jacometti e colaboradores (2015) realizaram análises para identificar a potencial utilização destes resíduos.

Com o estudo realizado, os autores identificaram que as cascas de aveia apresentaram o maior percentual de fibra alimentar (89,08 g/100 g), seguido de bagaço de malte (63,84 g/100 g), cascas de arroz (56,26 g/100 g) e do resíduo fibroso de pseudo-hastes de banana (47,99 g/100 g). A fibra insolúvel em todos os resíduos formou a maior fração do conteúdo de fibra, sendo o maior percentual encontrado na casca de aveia (88,01g/100 g). Os autores avaliaram ainda a fibra solúvel, sendo que o resíduo fibroso de pseudo-hastes de banana apresentou o maior percentual (4,44 g/100 g). O bagaço de malte apresentou capacidade emulsificante (59,83 mL de óleo/g).

A partir das propriedades analisadas, os autores indicam que estes resíduos apresentam potencial de utilização na indústria de alimentos, principalmente devido ao seu alto teor de fibras, podendo ser empregados em barras nutricionais, pães e biscoitos. E como todos os resíduos estudados apresentaram baixa capacidade de retenção de óleo, poderiam ser utilizados em produtos fritos, proporcionando uma sensação não gordurosa.

Kirjoranta, Tenkanen e Jouppila (2016), utilizaram o bagaço de malte, como ingrediente em lanches extrusados à base de cevada, a fim de melhorar o valor nutricional dos lanches e ampliar a aplicações deste subproduto no setor de alimentos. Os efeitos dos parâmetros de extrusão nas propriedades selecionadas do lanche foram estudados. Os ingredientes usados nos testes de extrusão foram farinha de cevada integral, bagaço de malte, amido de cevada, amido de milho ceroso e isolado de proteína de soro de leite.

A composição química calculada a partir dos ingredientes mostrou que lanches de cevada com e sem isolado de proteína de soro de leite continham 14 e 17% de fibra alimentar e 28 e 12% de proteína, respectivamente, que é considerado um conteúdo mais alto do que o encontrado em lanches convencionais. No entanto, a dureza desses lanches era tão alta que provavelmente esses produtos não seriam aceitos pelo consumidor. Quando parte da farinha de cevada foi substituída por amido de milho ceroso, a dureza diminuiu para um nível aceitável. Além disso, os lanches continham mais de 6% de fibra alimentar e assim, podem ser considerados como um alimento com alto teor de fibra alimentar (ROBIN *et al.*, 2012).

Ao encontro da aplicação direta do bagaço de malte em lanches, pode-se citar o estudo desenvolvido por Capelezzo e colaboradores (2020), que aplicaram o resíduo para desenvolvimento de uma barra de cereais, obtendo resultados satisfatórios na avaliação dos parâmetros nutricionais.

Awolu e Osemeke (2016), desenvolveram uma farinha funcional a base de trigo, contendo sementes de amaranto (*Amaranthus hypochondriacus*), bagaço de malte cervejeiro e bagaço de maçã.

Os valores de conteúdo de proteína variaram de 9,9 a 11,5 g/100 g. A proteína é um componente importante, que aprimora as propriedades reológicas das farinhas compostas e o alto teor destas pode ser atribuído à presença da semente de amaranto. O resultado do teor de umidade das misturas de farinha variou de 5,2 a 9,1 g/100 g. O resultado obtido mostrou que o teor de umidade e atividade de água da farinha não é muito alto, portanto, promove sua vida útil.

O teor de gordura das misturas de farinha variou de 0,5 a 1,4 g/100 g, e é moderado quando comparado a outras misturas de farinhas. Já o teor de cinzas das misturas de farinha variou entre 0,70 e 2,79 g/100 g, isso é uma vantagem na preparação de formulação de alimentos para desmame. A farinha composta tem teor de fibra bruta relativamente alta (0,7 a 3,9 g/100 g). A alta porcentagem de carboidratos em todas as misturas de farinha (76,241-81,004%) sugerem que as misturas são boas fontes de energia.

O teor de ferro das farinhas compostas variou de 0,7200 a 2,57 mg/100 g; zinco (0,210-0,810 mg/100 g); potássio (30,000-73,600 mg/100 g); magnésio (7,150–10,090 mg/100 g) e cálcio (4,000 a 12,900 mg/100 g). Em geral, o conteúdo mineral é alto e desejável. A farinha composta se torna importante contribuindo para a ingestão alimentar de elementos essenciais, especialmente micronutrientes.

Aprodu, Simion e Banu (2017) estudaram a incorporação de diferentes níveis do bagaço de malte em produtos panificados na forma de farinha, avaliando as características reológicas da massa e estimando a possibilidade de melhorar a qualidade do pão em relação a propriedades antioxidantes.

Como resultados, os autores apontam que a incorporação do bagaço de malte aumentou os níveis de absorção de água e a gelatinização do amido. Os pães obtidos apresentaram menor volume específico e menores propriedades de textura. Além disso, houve um aumento do conteúdo fenólico total e da atividade antioxidante.

Almeida *et al.* (2017) realizou a caracterização físico-química do bagaço de malte e, além disso, avaliou o conteúdo total de compostos fenólicos e flavonoides, visando investigar o potencial de reutilização desse resíduo, considerando-o uma fonte potencial de compostos bioativos, como compostos fenólicos e atividade antioxidante, para o enriquecimento de alimentos.

Os autores descrevem que o bagaço de malte apresenta alto teor de fibras e proteínas pois consiste basicamente de cascas e pericarpo de cevada, sendo que os valores podem variar em virtude da variedade de cevada utilizada, época de colheita, maltagem e condições do processo.

Com as análises realizadas, diferentes ácidos graxos foram encontrados no bagaço de malte, além de compostos fenólicos, flavonoides e atividade antioxidante, sendo que o bagaço de malte pode ser considerado potencial fonte de compostos bioativos para enriquecimento de alimentos, visto que são atributos de interesse para a saúde.

O artigo de revisão apresentado pelos autores Martins, Pinho e Ferreira (2017) buscou estudos que incorporaram subprodutos da indústria alimentar, divididos em três categorias: legumes e frutas, cereais, leguminosas, nozes e oleaginosas, e resíduos de cervejarias, vinícolas e destilarias, como ingredientes funcionais em produtos panificados, avaliando as características físico-químicas, tecnológicas e sensoriais dos produtos desenvolvidos.

De forma geral, a incorporação do bagaço de malte não causou influência em algumas formulações de pães. Em relação a todos os subprodutos avaliados, os autores indicam que a composição físico-química é bem variável entre eles, mas que a incorporação destes em formulações panificadas pode melhorar as características nutricionais dos produtos, no entanto, pode também prejudicar algumas características sensoriais, sendo necessário encontrar-se o equilíbrio, para que seja possível obter produtos mais saudáveis, porém, competitivos em características sensoriais quando comparados com os produtos tradicionais.

Bjerregaard *et al.* (2019), relataram um novo processo em escala piloto para a separação do bagaço de malte e do trub cervejeiro em porções sólidas e líquidas que podem ser usados em alimentos. É necessário transferir o bagaço de malte de maneira higiênica, diretamente da tina para o tambor rotativo. Esse tambor rotativo contínuo e uma prensa foram usadas para processar bagaço de malte quente para produzir um filtrado líquido e uma torta de filtro.

A análise mostrou que, da massa inicial de bagaço de malte (cerca de 120 kg), o filtrado líquido compunha 50% da massa e a fração da torta filtrante compunha os 50% restantes. O teor de massa seca do bagaço de malte aumentou de 23 para mais de 35%. Isso elevou a concentração de fibra alimentar (de 38 a 54%) e fenólicos na torta de filtro (de 102 a 150 mg/100 g). Não ocorreu o fracionamento de espécies solúveis, como proteínas.

O processo analisado neste estudo é de fácil aplicação em qualquer cervejaria existente, já que muitas delas possuem centrífugas para separação de leveduras. Dado que as operações aqui utilizadas são escalonáveis e aprovadas para produção de alimentos, agora existe uma rota para gerar viabilidade industrial para as cervejarias processar o bagaço de malte.

Em função da busca por uma vida mais saudável, aliado com a valoração do resíduo bagaço de malte, os estudos acima citados se intensificaram na extração de compostos valiosos para posterior aplicação em alimentos e bebidas, visto que os compostos presentes nesse resíduo se tornam interessantes em virtude dos efeitos positivos para a dieta humana.

4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Dessa forma, observa-se que os estudos acerca da utilização deste importante resíduo da produção de cerveja, o bagaço de malte, demonstram que propriedades nutricionais, como proteínas e fibras, além de compostos bioativos, como compostos fenólicos que apresentam atividade antioxidante, podem ser encontrados neste material, tornando-o interessante para aplicação na indústria de alimentos, seja na forma de farinha, em seu estado *in natura* ou através da extração de compostos de interesse para posterior aplicação em alimentos.

REFERÊNCIAS

ALEXANDRE, H. V. *et al.* Cinética de secagem do resíduo de abacaxi enriquecido. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental-Agriambi**, v. 17, n. 6, p. 640-646, 2013.

ALIYU, S.; BALA, M. Brewer's spent grain: A review of its potentials and applications. **African Journal of Biotechnology**, v. 103, n. 3, p. 324-331, 2011.

- ALMEIDA, A. da R. **Compostos bioativos do bagaço de malte: fenólicos, capacidade antioxidante in vitro e atividade antibacteriana**. 2014. 76 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.
- ALMEIDA, A. da R. *et al.* Bioactive compounds from brewer's spent grain: phenolic compounds, fatty acids and in vitro antioxidant capacity. **Acta Scientiarum. Technology**, v. 39, n. 3, p. 269-277, 2017.
- APRODU, I.; SIMION, A. B.; BANU, I. Valorisation of the Brewers' Spent Grain Through Sourdough Bread Making. **International journal of food engineering**, v. 13, n. 10, p. 1-9, 2017.
- AWOLU, O. O.; OSEMEKE, R. O.; IFESAN, B. O. T. Antioxidant, functional and rheological properties of optimized composite flour, consisting wheat and amaranth seed, brewers' spent grain and apple pomace. **Journal of food science and technology**, v. 53, n. 2, p. 1151-1163, 2016.
- BJERREGAARD, M. F. *et al.* Processing of brewing by-products to give food ingredient streams. **European Food Research and Technology**, v. 245, n. 3, p. 545-558, 2019.
- CAPELEZZO, L. *et al.* Elaboração e avaliação físico-química de uma barra de cereal utilizando residuo cervejeiro. **Brazilian Journal of Health Review**, v. 3, n. 3, p. 5107-5121, 2020.
- DEL RÍO, J. C.; PRINSEN, P.; GUTIÉRREZ, A. Chemical composition of lipids in brewer's spent grain: A promising source of valuable phytochemicals. **Journal of cereal science**, v. 58, n. 2, p. 248-254, 2013.
- DRAGONE, S. I. M. **Aproveitamento integral de subproduto da indústria cervejeira em processos químicos e biotecnológicos**. 2007. 175 f. Tese (Doutorado em Biotecnologia Industrial) – Escola de Engenharia de Lorena, Lorena, 2007.
- ELLEUCH, M. *et al.* Dietary fibre and fibre-rich by products of food processing: characterisation, technological functionality and commercial applications: a review. **Food chemistry**, v. 124, n. 2, p. 411-421, 2011.
- GUPTA, S.; JAISWAL, A. K.; ABU-GHANNAM, N. Optimization of fermentation conditions for the utilization of brewing waste to develop a nutraceutical rich liquid product. **Industrial crops and products**, v. 44, p. 272-282, 2013.
- JACOMETTI, G. A. *et al.* The physicochemical properties of fibrous residues from the agro industry. **LWT-Food Science and Technology**, v. 62, n. 1, p. 138-143, 2015.
- KIRJORANTA, S.; TENKANEN, M.; JOUPPILA, K. Effects of process parameters on the properties of barley containing snacks enriched with brewer's spent grain. **Journal of food science and technology**, v. 53, n. 1, p. 775-783, 2016.
- KTENIOUDAKI, A.; O'SHEA, N.; GALLAGHER, E. Rheological properties of wheat dough supplemented with functional by-products of food processing: Brewer's spent grain and apple pomace. **Journal of Food Engineering**, v. 116, n. 2, p. 362-368, 2013.
- LINAN-MONTES, A. *et al.* Characterization and thermal analysis of agave bagasse and malt spent grain. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, v. 115, n. 1, p. 751-758, 2014.

- MARTINS, Z. E.; PINHO, O.; FERREIRA, I. M. P. L. V. O. Food industry by-products used as functional ingredients of bakery products. **Trends in Food Science & Technology**, v. 67, p. 106-128, 2017.
- MATHIAS, T. R. dos S.; MELLO, P. P. M. de; SERVULO, E. F. C. Caracterização de resíduos cervejeiros. In: COBEQ—Congresso Brasileiro de Engenharia Química, 20., 2014, Florianópolis, Santa Catarina. **Anais [...]**. Florianópolis, SC: COBEQ, 2014.
- MATHIAS, T. R. dos S. *et al.* Characterization and determination of brewer's solid wastes composition. **Journal of the Institute of Brewing**, v. 121, n. 3, p. 400-404, 2015.
- MCCARTHY, A. L. *et al.* Brewers' spent grain; bioactivity of phenolic component, its role in animal nutrition and potential for incorporation in functional foods: a review. **Proceedings of the Nutrition Society**, v. 72, n. 1, p. 117-125, 2013.
- MELLO, V. S. A. **Determinação da composição do malte de cevada e estudo das suas potenciais aplicações**. 2014. 82 f. Monografia (Graduação em Engenharia Química) - Escola de Engenharia de Lorena, Lorena, 2014.
- MOREIRA, M. M. *et al.* Brewer's spent grain from different types of malt: Evaluation of the antioxidant activity and identification of the major phenolic compounds. **Food Research International**, v. 54, n. 1, p. 382-388, 2013.
- MUSSATTO, S. I. Brewer's spent grain: a valuable feedstock for industrial applications. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 94, n. 7, p. 1264-1275, 2014.
- MUSSATTO, S. I.; DRAGONE, G.; ROBERTO, I. C. Brewers' spent grain: generation, characteristics and potential applications. **Journal of cereal science**, v. 43, n. 1, p. 1-14, 2006.
- SANTOS, M. *et al.* Variability of brewer's spent grain within a brewer, **Food Chemistry**, v. 80, n. 1, p. 17-21, 2003.
- STEINER, J.; PROCOPIO, S.; BECKER, T. Brewer's spent grain: source of value-added polysaccharides for the food industry in reference to the health claims. **European Food Research and Technology**, v. 241, n. 3, p. 303-315, 2015.
- STOJCESKA, V. *et al.* The recycling of brewer's processing by-product into ready-to-eat snacks using extrusion technology. **Journal of Cereal Science**, v. 47, n. 3, p. 469-479, 2008.
- VALVERDE, P. Barley spent grain and its future. **Cerveza y Malta**, v. 122, p. 7-26, 1994.
- WATERS, D. W. *et al.* Fibre, protein and mineral fortification of wheat bread through milled and fermented brewer's spent grain enrichment. **European Food Research and Technology**, v. 235, n. 5, p. 767-778, 2012.
- XIROS, C.; CHRISTAKOPOULOS, P. Biotechnological potential of brewers spent grain and its recent applications. **Waste and Biomass Valorization**, v. 3, n. 2, p. 213-232, 2012.

CAPÍTULO 17

APRENDIZAGEM BASEADA EM PROJETO NO DESENVOLVIMENTO DE MATERIAIS

Data de aceite: 01/09/2020

Data de submissão: 06/07/2020

Carolina Lipparelli Morelli

Universidade Federal de Itajubá
Itabira-MG

<http://lattes.cnpq.br/0562262594759879>

<https://orcid.org/0000-0001-6857-9424>

Yanka dos Reis Soares de Moura

Universidade Federal de Itajubá
Itabira-MG

<http://lattes.cnpq.br/2202730324052972>

Bárbara Carolini Oliveira Ferreira

Universidade Federal de Itajubá
Itabira-MG

<http://lattes.cnpq.br/5851096299806158>

Francielle Crispim Araújo

Universidade Federal de Itajubá
Itabira-MG

<http://lattes.cnpq.br/2177298449655010>

Kevinny Chaves Florencio

Universidade Federal de Itajubá
Itabira-MG

<http://lattes.cnpq.br/0836583366943961>

Lucas Lima Batista

Universidade Federal de Itajubá
Itabira-MG

Lizandra Lopes Carrara

Universidade Federal de Itajubá
Itabira-MG

Tércio José Lage Ferreira

Universidade Federal de Itajubá
Itabira-MG

<http://lattes.cnpq.br/3311450237676303>

Kelvin Willie de Carvalho

Universidade Federal de Itajubá
Itabira-MG

Aislan Lúcio Valério

Universidade Federal de Itajubá
Itabira-MG

RESUMO: Apesar da Engenharia ser uma área extremamente prática e aplicada, o ensino nesse curso de graduação ainda envolve muitas aulas meramente expositivas. A metodologia de aprendizagem baseada em projetos (ABP, ou, em inglês, *project based learning* - PBL) favorece a aprendizagem através de uma estratégia pedagógica na qual o aluno atua como agente ativo da construção de seu conhecimento, que se dá durante o desenvolvimento de um projeto. No presente trabalho é relatado um caso de aplicação de ABP no desenvolvimento de materiais poliméricos, que englobou as etapas de processamento e caracterização de materiais, assim como de escrita de artigo científico com a discussão dos resultados obtidos. A metodologia de aprendizagem por projetos foi aplicada durante dois semestres letivos, com diferentes turmas do componente curricular “Processamento de Materiais Poliméricos” da Universidade Federal de Itajubá. Os trabalhos desenvolvidos por alunos participantes da disciplina resultaram em publicações em congressos e revistas. O

aprendizado adquirido facilitou a contratação e desempenho de alunos como estagiários de empresas de processamento de plásticos e no rendimento de alunos em intercâmbios internacionais, conforme depoimentos dos mesmos. Os discentes sentiram-se mais seguros e confiantes do conhecimento adquirido. A metodologia da forma empregada pode ser adaptada e reaplicada a outras áreas de diversas engenharias.

PALAVRAS-CHAVE: Aprendizagem baseada em projetos (ABP), Engenharia, Materiais poliméricos, Processamento.

PROJECT-BASED LEARNING IN MATERIAL DEVELOPMENT

ABSTRACT: Although Engineering is an extremely practical and applied area, teaching in this undergraduate course still involves many classes that are merely expository. The project-based learning methodology (PBL) favors learning through a pedagogical strategy in which the student acts as an active agent for the construction of his knowledge, which occurs during the development of a project. In the present work, a case of application of PBL in the development of polymeric materials is reported, which included the stages of materials processing and characterization, as well as the writing of a scientific article with the discussion of the results obtained. The project learning methodology was applied during two academic semesters, with different classes of the curricular component “Processing of Polymeric Materials” at the Federal University of Itajubá. The works developed by students participating in the discipline resulted in publications in conferences and journals. The acquired learning facilitated the hiring and performance of students as interns of plastics processing companies and in the performance of students in international exchanges, according to their testimonies. The students felt more secure and confident of the knowledge acquired. The methodology of the form used can be adapted and reapplied for other areas of diverse engineering.

KEYWORDS: Project-based learning (PBL), Engineering, Polymeric materials, Processing.

1 | INTRODUÇÃO

Componentes curriculares que tratam da ciência, do processamento e da caracterização de materiais integram comumente a matriz curricular de diversos cursos de Engenharia, como Engenharia Mecânica, Engenharia de Produção, Engenharia de Materiais, entre outras. No curso de Engenharia de Materiais da Universidade Federal de Itajubá (Unifei) a matriz curricular prevê que os alunos cursem o componente “Processamento de Materiais Poliméricos” no quarto ano de graduação, após terem cursado disciplinas de ciências, ensaios e caracterização de materiais, além de disciplinas que tratam do aprendizado de metodologia científica. Portanto, por ser um componente cursado em um momento avançado da graduação, após a aquisição de conhecimentos básicos relacionados, apresenta-se uma conjuntura oportuna para exercício, reforço e aplicação do conhecimento adquirido ao longo do curso no desenvolvimento de um projeto de maior complexidade. O projeto em questão envolveu o desenvolvimento de materiais, englobando as etapas de revisão bibliográfica, processamento, caracterização, discussão

das propriedades encontradas, escrita de artigo científico, apresentação de seminário e avaliação. Ou seja, a metodologia de ensino utilizada possibilitou a aplicação e consolidação do entendimento do tetraedro básico que fundamenta a Engenharia de Materiais, com a correlação Composição-Estrutura-Processamento-Propriedades do material, conforme apresentado na Figura 1.

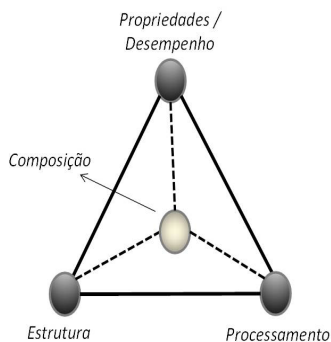


Figura 1. Esquema do tetraedro básico da Ciência e Engenharia de Materiais.

Polímeros são definidos como materiais de alta massa molecular constituídos por inúmeras unidades de repetição (meros). Eles podem ser divididos em plásticos (polipropileno, polietileno tereftalato, policloreto de vinila, etc), elastômeros (borracha natural, borracha nitrílica, etc) e fibras (de poliéster, de algodão, Nylon®, etc). O aprendizado do processamento de materiais poliméricos é de extrema importância para a formação de um engenheiro de materiais, dado o amplo campo de trabalho no qual esse conhecimento é requisitado. O Brasil possui mais de 11.000 indústrias de transformação de plásticos (ABIPLAST, 2018), além de inúmeras indústrias de transformação de borrachas e compósitos, cuja teoria básica também é vista no mesmo componente curricular, com carga horária semestral de 64 horas de aulas teóricas e 32 horas práticas.

Apesar da Engenharia ser uma área extremamente prática e aplicada, o ensino desse curso de graduação ainda envolve muitas aulas meramente expositivas. Segundo Brauer (1963), a atenção de um aluno a uma aula expositiva tende a durar apenas cerca de 15 min. Mesmo no caso de aulas práticas, dificilmente os alunos têm liberdade de operar equipamentos e testar diferentes materiais, sendo comum apenas a visualização de processos “referência”, sem grandes desvios do comportamento esperado, sem se depararem com problemas operacionais inesperados e sem participarem de forma ativa da análise e resolução de problemas. É apenas no operacional “mão-na-massa” que o entendimento de maior abrangência é fomentado.

A metodologia de aprendizagem baseada em projetos (ABP, ou, em inglês, *project based learning*) estabelece uma estratégia pedagógica na qual o aluno atua como agente ativo da construção de seu conhecimento, exercitando o “aprender mediante o fazer” (GUERRA *et al.*, 2017; REIS *et al.*, 2017). Nessa metodologia, os alunos, em equipes, devem desenvolver um projeto tendo que buscar os materiais e conhecimentos necessários para se atingir o propósito desejado. O professor atua como um facilitador do processo. Essa metodologia estimula o desenvolvimento de inúmeras competências e habilidades de fundamental importância na atuação de um engenheiro, que são inclusive previstas nas diretrizes curriculares para engenharia (BRASIL, 2001), como: atuação em equipe; conhecimento para projetar e conduzir experimentos e interpretar resultados; ética e responsabilidade profissionais; comunicação eficiente nas formas escrita, oral e gráfica; saber identificar e resolver problemas de engenharia; entre outras.

No presente trabalho é relatado um caso de aplicação de ABP no desenvolvimento de materiais poliméricos. Para processamento dos materiais foram escolhidos dois processos utilizados em larga escala pela indústria de plásticos: moldagem por extrusão e termoformagem. Após a demonstração inicial do procedimento de operação de cada equipamento, os alunos puderam utilizar seus horários de aula prática para desenvolvimento de seus projetos e cumprimento do cronograma previsto. Eles tiveram que fundamentar e escolher seu objeto de estudo, a partir de revisão bibliográfica, definir as condições ideais para processamento de seus materiais e realizar o processamento propriamente dito. Na sequência também tiveram que realizar caracterizações mecânicas, térmicas e morfológicas de seus materiais, escrever um artigo em inglês (cujo domínio do idioma é exigido no mercado de trabalho para um engenheiro) e apresentar um seminário. A professora atuou como facilitadora, acompanhando as operações e instigando os alunos a buscarem soluções às dificuldades encontradas em todas as etapas.

A metodologia de aprendizagem por projetos foi aplicada durante dois semestres letivos, com diferentes turmas do componente curricular “Processamento de Materiais Poliméricos” da Unifei, favorecendo a consolidação do aprendizado dos alunos envolvidos. A metodologia da forma empregada pode ser adaptada e reaplicada a outras áreas de diversas engenharias. A seguir é apresentado um detalhamento das etapas desenvolvidas durante a aplicação da metodologia.

2 | METODOLOGIA

Os fundamentos teóricos básicos ligados ao processamento por extrusão e termoformagem dos materiais foram apresentados em sala de aula aos alunos. Em seguida foram feitas aulas práticas demonstrativas do procedimento operacional de cada equipamento a ser utilizado. Os alunos da turma foram divididos em dois grupos (um grupo com 4 alunos e outro com 5 alunos) e foi feita a proposta de que cada grupo deveria escolher

como projeto de desenvolvimento um material compósito de matriz polimérica (polímero e carga) ou uma blenda polimérica (mistura mecânica de dois polímeros), para aproveitar o potencial da extrusora como equipamento de mistura. A metodologia de ensino aplicada foi constituída por oito etapas, conforme representado no fluxograma da Figura 2. Algumas dessas etapas foram desenvolvidas simultaneamente, como detalhado na sequência.

2.1 ETAPA 1 – definição do tema

Essa etapa teve o objetivo de nortear os alunos quanto à definição de seu objeto de estudo no projeto, o que foi auxiliado através das atividades propostas descritas abaixo:

A) Cada aluno do grupo teve que sugerir dois temas a serem trabalhados, escolhidos com base nos seguintes critérios:

- I. **Motivação** - Por que estudar/desenvolver o material proposto?; Quais os resultados esperados?;
- II. **Inovação** - Qual o diferencial do trabalho proposto com relação ao que já foi feito segundo a literatura?;
- III. **Facilidade na obtenção das matérias-primas** a serem utilizadas no trabalho.

B) Cada aluno teve que apresentar diante da turma suas duas propostas de projetos em seminários de 5 a 10 min, citando no mínimo duas referências bibliográficas recentes (após 2015) para cada tema apresentado.

C) Ao final das apresentações, cada grupo teve que chegar a um consenso e escolher um único tema a ser trabalhado. Essa escolha foi facilitada a partir da realização de perguntas por parte da professora após cada seminário, com base nos critérios de escolha sugeridos. Os temas centrais finais escolhidos por cada um dos dois grupos da disciplina foram:

- **Grupo 1:** Compósitos de acrilonitrila-butadieno-estireno (ABS) reforçados com bagaço de cana-de-açúcar (BC);
- **Grupo 2:** Compósitos de polipropileno (PP) com fibras de *Luffa Cylindrica* (LC).

Na sequência, cada grupo foi incitado a aprofundar a revisão bibliográfica sobre seu tema e a buscar as condições de processamento de seus materiais.

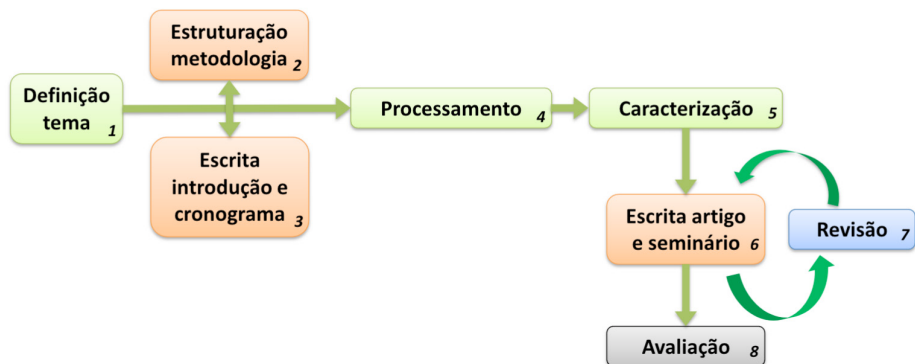


Figura 2. Fluxograma com as diferentes etapas seguidas no desenvolvimento do projeto.

2.2 ETAPA 2 – estruturação da metodologia experimental a ser seguida

Essa etapa teve o objetivo de orientar os alunos a buscarem a metodologia experimental a ser seguida para desenvolvimento do projeto de pesquisa, o que foi auxiliado através das atividades propostas descritas abaixo:

A) Cada grupo teve que propor as condições a serem utilizadas em cada etapa de processamento, com base em pelo menos três artigos usados como referencial teórico.

B) Os grupos tiveram que providenciar os materiais a serem utilizados, através de pedidos de doação a empresas, coleta de materiais ou solicitação dos mesmos dentro da própria universidade.

C) Cada grupo teve que preparar e apresentar um fluxograma dos ensaios a serem realizados.

D) A metodologia proposta por cada grupo para desenvolvimento de seu trabalho foi apresentada a professora e demais alunos.

O bagaço de cana utilizado pelo Grupo 1, já lavado e moído, foi doado pela empresa Cachaça Mineiriana, fabricante de cachaça, localizada em Itabira-MG. O ABS (AG1000) foi doado pela empresa Innova. O bagaço foi submetido a um tratamento alcalino em solução de NaOH (4% em massa) por 24 h, para remoção parcial da lignina e melhora da interação com a matriz de ABS (MOHANTY e MISRA, 2005). Na sequência o bagaço foi lavado abundantemente com água até pH neutro e foram selecionadas fibras com comprimento médio de 50 a 100 mm através de peneiramento manual. As fibras e o ABS foram secos por 24 h a 60°C antes da extrusão.

O PP utilizado pelo Grupo 2 (CP 442XP, da Braskem) foi obtido na própria Unifei e se trata, na verdade, de um copolímero de etileno-propileno heterofásico. As fibras de *Luffa Cylindrica* foram extraídas a partir de buchas secas coletadas no sítio de um dos alunos do grupo de trabalho. As buchas foram lavadas, seus caroços foram retirados, e

foram cortadas fibras com comprimentos de 2 a 3 cm. Em seguida as fibras de *Luffa* foram submetidas ao mesmo tratamento alcalino realizado pelo Grupo 1 no bagaço de cana. As fibras de *Luffa* e o PP foram secos por 4 h a 80°C antes da extrusão.

2.3 ETAPA 3 – escrita da introdução teórica e definição de cronograma

Essa etapa foi realizada concomitantemente à etapa 2. Os grupos tiveram que escrever a introdução teórica de seus artigos em inglês e definir seus cronogramas de trabalho, até a data de entrega acordada. As introduções e os cronogramas foram avaliados pela professora-facilitadora e entregues para revisão, com sugestões de alteração. Para escrita do artigo em inglês a professora indicou seguirem a formatação exigida pela revista JAPS (*Journal of Applied Polymer Science*), de classificação Qualis A1 (CAPES), da área de Engenharias II. Os alunos tiveram que acessar a página da revista para verem as exigências de formatação.

2.4 ETAPA 4 - processamento

Essa etapa compreendeu o processamento dos materiais propriamente dito, com o acompanhamento da professora-orientadora e de técnicos envolvidos com a disciplina, para garantir a segurança dos discentes e dos equipamentos durante o trabalho prático. Os alunos puderam operar os equipamentos, seguindo procedimentos operacionais previamente passados pela professora. Percalços inesperados ocorreram durante os processos exigindo a busca por uma solução técnica correta e viável por parte dos alunos. Apesar da revisão bibliográfica inicial para definição dos pontos de partida quanto às condições de processo, as condições finais utilizadas foram definidas empiricamente, buscando-se evitar a ocorrência de defeitos no extrudado (fratura do fundido) e nas chapas termoprensadas (fusão incompleta da matriz, heterogeneidades, etc). Um exemplo disso foi a definição do teor de fibra de *Luffa Cylindrica* adicionado à matriz de PP pelo Grupo 2. Por ser muito volumosa e ter densidade muito baixa, a alimentação dessa fibra na extrusora foi muito difícil, mesmo utilizando alimentação manual forçada, de modo que o teor máximo utilizado acabou sendo definido como 1,5% em massa.

A extrusão foi feita em extrusora monorroscas ES25 da Seibt e a termoprensagem foi feita em prensa Solab SL11. Antes da prensagem os compósitos extrudados foram secos. A prensagem foi feita utilizando um molde metálico de dimensões 100 x 100 x 1,7 mm. As condições de extrusão e termoformagem utilizadas por cada grupo estão apresentadas na Tabela 1, assim como o teor de fibra utilizado. A termoprensagem do grupo 2 foi feita em duas etapas seguidas: uma prensagem inicial com uma pressão mais baixa (2 ton) por 2 min para aquecimento do polímero e redução da viscosidade do mesmo, seguida do aumento de pressão (4,5 ton) por 15 min para formação da chapa homogênea. Após os processamentos, os grupos prosseguiram com as caracterizações dos materiais.

	Teor de fibra	Temperaturas na Extrusão (°C)				Termoprensagem
	(%massa)	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Matriz	Temperatura / Pressão / tempo
Grupo 1 (ABS/BC)	15	160	190	210	230	245 °C/ 3 ton / 10 min
Grupo 2 (PP/LC)	1,5	130	140	150	155	a) 200 °C / 2 ton / 2 min b) 200°C / 4,5 ton / 15 min

Tabela 1. Condições de processamento utilizadas na extrusão e termoprensagem.

2.5 ETAPA 5 – caracterizações dos materiais obtidos

Cada grupo teve que realizar caracterizações térmicas e mecânicas. Os grupos fizeram análises de Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC) utilizando um equipamento Perkin Elmer DSC8000. A Termogravimetria (TGA) foi feita utilizando um equipamento Shimadzu DTG-60. Os ensaios de tração foram realizados em uma máquina universal Instron/Emic 23-10. Em adição, foi dada a orientação de que a caracterização microscópica seria desejável, caso o grupo encontrasse tempo hábil para fazê-la. O Grupo 1 fez Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) em um microscópio Vega3 Tescan. A Tabela 2 apresenta as condições utilizadas por cada grupo em cada um dos ensaios realizados.

Os grupos foram estimulados a apresentarem seus resultados na forma de tabelas e de curvas construídas no programa OriginLab®, muito utilizado na Engenharia.

	DSC	TGA	Tração	MEV
Grupo 1 (ABS/ BC)	25-200°C; 10°C.min ⁻¹ ; N ₂	30-750°C; 10°C.min ⁻¹ ; Ar	Com base na ASTM D638, em amostras de 10 x 100 x 1 mm	Voltagem: 5 KV.
Grupo 2 (PP/LC)	0-200°C; 10°C.min ⁻¹ ; N ₂	30-700°C; 10°C.min ⁻¹ ; Ar		Não foi feito.

Tabela 2. Condições utilizadas nos ensaios. Os valores no DSC e no TGA representam a faixa de temperatura, as taxas de aquecimento/resfriamento e a atmosfera utilizadas, respectivamente.

2.6 ETAPA 6 – escrita da primeira versão do artigo em inglês / seminário

De posse de seus resultados, os grupos tiveram que discuti-los e redigir seus artigos completos em inglês, seguindo a formatação exigida pela revista JAPS, e entregar à professora com quase 1 (um) mês de antecedência do final do semestre letivo. Isso possibilitou que a professora corrigisse os artigos e os devolvesse para revisão por parte dos grupos. Logo após a entrega dessa primeira versão, os grupos tiveram que apresentar seminários sobre os mesmos, durante os quais recomendações foram feitas. Todos os integrantes do grupo tiveram que apresentar pelo menos uma parte do seminário.

2.7 ETAPA 7 – revisão e entrega do artigo final

Os grupos tiveram que fazer as revisões sugeridas em seus artigos para entrega final.

2.8 ETAPA 8 – avaliação

A nota final (NF) atribuída a cada aluno referente à parte prática da disciplina de “Processamento de Materiais Poliméricas” foi baseada na Equação 1.

$$NF = 0,2 * (N1 + N2 + N3) + N4 * 0,4 \quad (1)$$

Considerando: N1 como sendo a nota da primeira versão do artigo em inglês (0 a 10, peso 2); N2 a nota da apresentação do seminário relacionado à primeira versão do artigo (0 a 10, peso 2); N3 a nota da autoavaliação do grupo (0 a 10, peso 2); N4 a nota do artigo final, após revisão (0 a 10, peso 4).

A nota da autoavaliação foi dada pelos próprios alunos, a eles mesmos e a cada um dos integrantes do grupo. Essa nota foi uma média feita com base em notas de 0 a 5 atribuídas pelos alunos considerando a participação de um determinado membro do grupo em cada uma das seguintes etapas: desenvolvimento do trabalho prático; revisão bibliográfica; escrita do artigo; preparação do seminário; interação com o grupo. Para entendimento, a Tabela 3 apresenta um exemplo das notas dadas pelo membro de um dos grupos a seus colegas e a ele mesmo, sem identificar nomes. Essa metodologia permitiu retribuir com maiores notas pessoas que se dedicaram mais ao desenvolvimento do trabalho como um todo e foi bem aceita pelos alunos. A média final da avaliação recebida por cada membro do grupo (de 0 a 5 inicialmente) foi normalizada para uma nota de 0 a 10, para entrar no cálculo da nota final conforme apresentado na equação acima.

A partir das datas definidas como limites para o cumprimento de cada etapa, cada grupo teve que definir seu próprio cronograma de trabalho para processamento de seu material, realização de cada ensaio, redação do artigo, etc. Cada grupo também teve autonomia para fazer a divisão de tarefas entre os membros.

Item avaliado	Aluno integrante			
	A	B	C	D (autoavaliado)
Desenvolvimento do trabalho prático	4,5	3,0	4,0	4,0
Revisão Bibliográfica	4,5	3,0	4,0	5,0
Escrita do artigo	4,5	4,5	4,0	4,5
Preparação do seminário	5,0	4,5	4,0	4,5
Interação com o grupo	4,5	3,5	3,0	4,5

Tabela 3. Notas autoavaliação de grupo.

3 | RESULTADOS TÉCNICOS

A Tabela 4 apresenta as justificativas para escolha do tema do projeto de cada grupo, com base nos critérios sugeridos (respostas à etapa 1 da Metodologia) e com algumas citações do referencial teórico pesquisado. Mais adiante estão expostos os resultados das caracterizações realizadas, seguidos das discussões apresentadas pelos alunos.

3.1 Análise visual e morfológica

Apenas o Grupo 1 conseguiu ter tempo hábil para realizar análise de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) em suas amostras. Algumas das imagens obtidas estão expostas na Figura 3. O mesmo grupo registrou o aspecto visual interessante de suas amostras de “polímero-madeira”, em contraste com o aspecto branco translúcido das amostras de ABS puro (Figura 4).

Através das imagens de MEV é possível observar uma interface bem definida entre a fibra e a matriz polimérica com a presença de alguns vazios, especialmente na Figura 3a, devido à remoção de fibras durante o corte da amostra, o que sugere baixa adesão entre as fases (ISHIZAKI *et al.*, 2006). Além disso, agregados de fibras podem ser claramente observados na Figura 3b, provavelmente devido ao baixo poder de dispersão da extrusora de rosca única, o que poderia ser melhorado usando uma extrusora dupla- rosca co-rotacional.

Conforme apresentado na Figura 4b, as amostras de ABS puro permaneceram transparentes e brancas, confirmando o caráter amorfo do polímero e que não ocorreu degradação térmica durante o processamento do material, o que será comprovado pelas análises térmicas apresentadas na sequência. A adição de BC ao ABS resultou em amostras amarronzadas de aspecto amadeirado.

	Critérios		
	Motivação	Inovação	Obtenção das matérias-primas
Grupo 1 (ABS/bagaço de cana) (TRIPATHI e KUMAR, 2016; RAMARAJ, 2006; MARTINS, J. <i>et al.</i> , 2010)	- obter um polímero-madeira de aspecto estético interessante, devido à transparência do ABS. - aproveitamento e agregação de valor a um material leve e abundante no Brasil (bagaço de cana ou <i>Luffa</i>); - redução do custo de produto feito apenas com o polímero (ABS ou PP);	- Não foi encontrado na literatura trabalho que estudasse a adição de fibras de bagaço de cana a uma matriz de ABS.	- Ambas foram obtidas por doação.
Grupo 2 (PP+ <i>Luffa</i>) (SANJAY <i>et al.</i> , 2018; LEMOS <i>et al.</i> , 2017;; DEMIR <i>et al.</i> , 2006)	- substituição parcial do polímero por material biodegradável e de fonte renovável (bagaço ou <i>Luffa</i>) - manutenção ou melhoria de propriedades mecânicas com a adição de fibras vegetais.	- Não foi encontrado na literatura trabalho de processamento por extrusão de compósito de polipropileno com <i>Luffa</i> cilíndrica; tampouco trabalho com o teor utilizado carga/matriz.	- As buchas para extração das fibras foram coletadas no sítio de um dos alunos do grupo. - O PP estava disponível na Unifei para uso dos alunos.

Tabela 4. Justificativas para escolha dos temas dos projetos dos grupos.

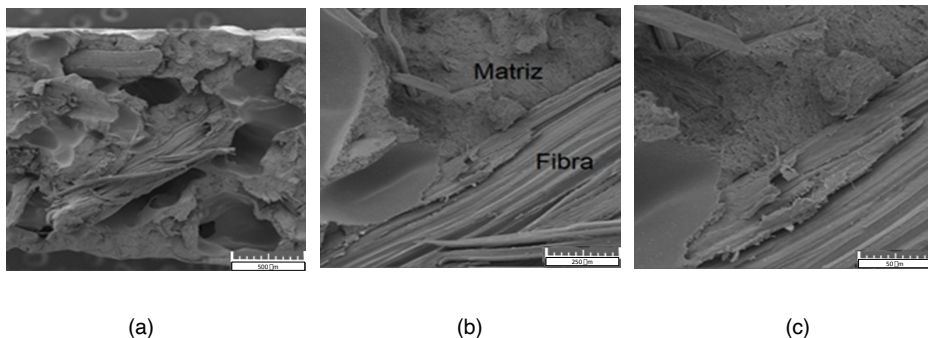


Figura 3. Imagens obtidas por MEV de amostra de ABS/BC com diferentes ampliações: a) 100 x (escala = 500 μm); b) 500 x (escala = 250 μm); c) 1000 x (escala = 50 μm).

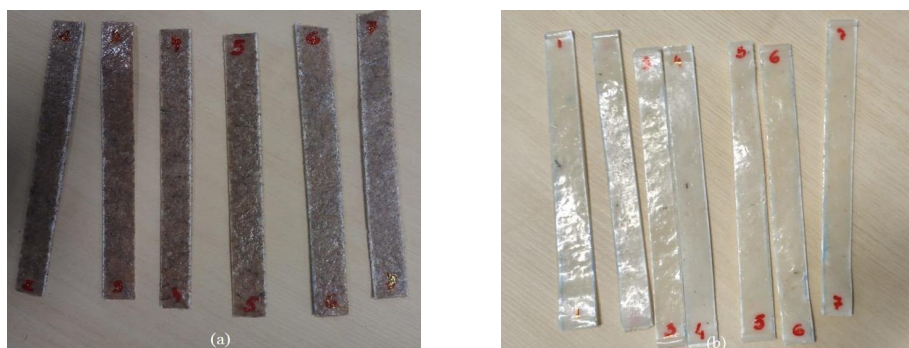


Figura 4. Aspecto visual das amostras de ABS com as fibras de BC (a) e do ABS puro (b).

3.2 Caracterização térmica

A análise de Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC) fomentou a discussão das diferenças existentes entre o polímero amorfo escolhido pelo Grupo 1 (ABS) e o polímero semicristalino trabalhado pelo Grupo 2 (PP).

Na curva do ABS puro e de seu compósito (Figura 5) foi possível observar apenas uma transição de segunda ordem, correspondente à transição vítrea (T_g) do ABS, acima da qual ele passa de um estado vítreo/rígido, para um estado borrachoso/amolecido. A temperatura de T_g do compósito (109 $^{\circ}\text{C}$) foi ligeiramente maior que a observada para o ABS puro (105 $^{\circ}\text{C}$), conforme indicado pelas setas na Figura 5. Isso pode ser um indicativo de que, apesar da interação ruim, a presença de fibras de bagaço de cana causou obstáculos à movimentação macromolecular, sendo necessária mais energia para amolecer o material e fazê-lo fluir.

Já na análise do PP e de seu compósito, foram observados picos de fusão de fase cristalina no aquecimento, e picos de cristalização, no resfriamento (Figura 6). Como o PP estudado na verdade é um copolímero heterofásico de propileno e eteno, ele contém

fases de polipropileno e de polietileno em sua estrutura (MOORE, 1996), o que justifica a existência de dois picos de fusão e de dois picos de cristalização, conforme apresentado na Figura 6. Os picos de menor área, que ocorreram em temperaturas de fusão e de cristalização mais baixas, correspondem à fase etileno, presente em menor quantidade. Foi possível perceber que a adição dos baixos teores de fibra LC à matriz de PP não alterou a temperatura de fusão nem o comportamento de cristalização do polímero. As temperaturas de fusão e de cristalização da fase propileno mantiveram-se em 127°C e em 163°C, respectivamente.

Os resultados de temperatura de início de degradação térmica (Tonset) obtidos pelos dois grupos na análise termogravimétrica (TGA) estão expostos na Tabela 5. Através da Tabela 5 percebe-se que a resistência térmica do ABS é superior à do PP. Em adição, percebe-se que a degradação térmica do ABS inicia-se a uma temperatura significativamente superior às máximas utilizadas durante o processamento do material (230°C na extrusão e 245°C na termoprensagem), justificando a não observação de sinais de degradação nas amostras (Figura 4b). A adição de 15 % em massa do bagaço de cana à matriz de ABS acabou resultando em um compósito de menor resistência térmica, devido à menor temperatura de início de degradação térmica da fibra natural. No caso do compósito preparado pelo Grupo 2, a adição da fibra de *Luffa Cylindrica* não alterou o comportamento de resistência térmica do PP, devido à proximidade dos valores de temperatura de início de degradação térmica entre a matriz e a carga.

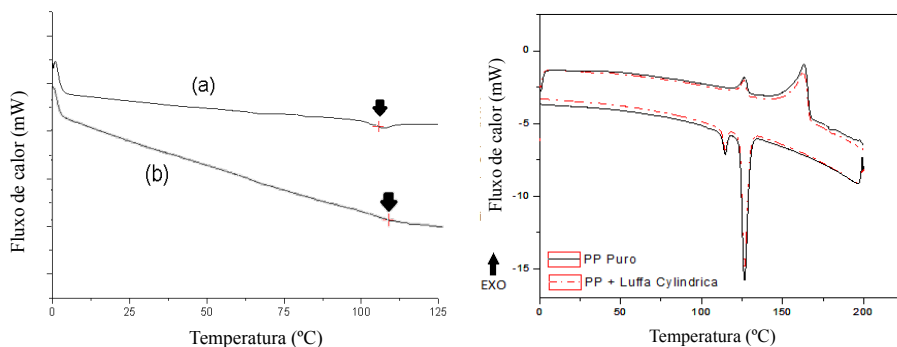


Figura 5. DSC ABS puro (a) e ABS/BC (b). Figura 6. DSC PP puro e PP/LC.

	T_{onset} (°C)		T_{onset} (°C)		T_{onset} (°C)
BC	250	ABS/BC	300	PP	260
ABS	330	LC	250	PP/LC	248

Tabela 5. Tonset do bagaço de cana (BC), da *Luffa Cylindrica* (LC), dos polímeros e compósitos.

3.3. Caracterização mecânica

As médias dos resultados obtidos nos ensaios de tração pelos dois grupos estão apresentadas na Tabela 6. Comparativamente ao PP, o ABS é um polímero mais rígido (maior módulo elástico) e de maior resistência à tração. Considerando os erros associados, as propriedades do ABS significativamente impactadas pela adição das fibras de bagaço foram as relacionadas à ruptura: tensão (σ_b) e deformação (ε_b) de ruptura, que apresentaram redução de 43% e de 61%, respectivamente. Isso é provavelmente decorrência da fraca interface fibra-matriz e da presença de agregados de fibras. No entanto, propriedades extremamente importantes para diversas aplicações, como tensão de escoamento (σ_y), tensão de deformação (ε_y) e módulo de elasticidade (E) podem ser consideradas estatisticamente iguais (Tabela 6), confirmando que a incorporação do resíduo de bagaço à matriz ABS pode ser uma alternativa para reutilização, redução de custos e redução do consumo de fontes não renováveis de petróleo.

	E (MPa)	σ_y (MPa)	ε_y (%)	σ_b (MPa)	ε_b (%)
ABS	766 ± 71	9 ± 1	1,5 ± 0,1	14 ± 1	4,4 ± 0,9
ABS/BC	703 ± 63	7,3 ± 0,8	1,3 ± 0,2	8 ± 1	1,7 ± 0,4
PP	661 ± 2	4,2 ± 0,1	1,0 ± 0,2	5,2 ± 0,1	1,6 ± 0,1
PP/LC	661 ± 2	4,2 ± 0,1	0,9 ± 0,2	5,2 ± 0,1	1,6 ± 0,1

Tabela 6. Módulo elástico (E); tensão (σ_y) e deformação (ε_y) de escoamento; tensão (σ_b) e deformação (ε_b) de ruptura.

A adição da fibra de LC à matriz de PP não alterou as propriedades mecânicas sob tração desse polímero, devido ao pequeno teor de fibra adicionado (1,5% em massa). Logo, vale à pena estudar a adição de maiores teores dessa fibra, uma vez que, assim como comentado para a fibra de BC, também reduz a utilização de material derivado de petróleo (PP) e pode reduzir o custo do material. A incorporação da fibra de LC ao PP em maior quantidade por extrusão pode ser facilitada através da utilização de um alimentador lateral, com alimentação forçada, em zona posterior à fusão do polímero.

4 | RESULTADOS DE ENSINO/APRENDIZAGEM

Durante o desenvolvimento do projeto foi possível perceber que a metodologia utilizada claramente favoreceu o desenvolvimento de competências transversais, além de competências técnicas relacionadas ao processamento de materiais. Dentre competências desenvolvidas é possível citar: trabalhar em equipe; planejar o cronograma de desenvolvimento de um trabalho e cumprir prazos, com disciplina e responsabilidade; comunicar-se eficientemente nas formas oral (relação com a equipe e apresentação de seminário), escrita (redação do artigo, inclusive em inglês) e gráfica (construção dos gráficos de tratamento dos resultados). A metodologia permitiu a construção do conhecimento na prática, utilizando conhecimentos pregressos adquiridos por parte dos alunos ao longo do curso para desenvolvimento de uma percepção global do que é a engenharia de materiais e de como um engenheiro pode atuar. Depoimentos dos alunos reforçaram que o aprendizado adquirido facilitou suas atuações em estágios industriais e científicos na área de processamento de materiais, inclusive em experiências internacionais. Uma aluna declarou sentir-se mais segura do conhecimento adquirido, o que favoreceu sua contratação após uma entrevista técnica.

Por outro lado, houve uma percepção por parte dos alunos e da professora de que o prazo de um semestre letivo, que consiste geralmente em apenas quatro meses e ainda é reduzido por feriados, foi curto para o desenvolvimento de um projeto dessa complexidade. Os alunos sugeriram a escrita do artigo em português em uma próxima oportunidade, uma vez que a escrita em inglês, embora de extrema importância, ainda não é dominada pela maioria. Outra sugestão foi a escolha de um único tema para o desenvolvimento do projeto, envolvendo todos os alunos da sala, que poderiam dividir melhor suas tarefas e cumprir os prazos com mais tranquilidade. No entanto, também foi reconhecido que os prazos das indústrias nas quais atuam os engenheiros geralmente são extremamente desafiadores.

É válido comentar que resultados dos projetos desenvolvidos durante dois semestres de aplicação da metodologia até o momento geraram publicação em três congressos científicos (VALÉRIO et al., 2019; MARTINS, A. et al., 2018; SILVA et al., 2018) e submissão em uma revista internacional (BIAGIOTTI et al., 2020).

5 | CONCLUSÃO

A metodologia aplicada no componente curricular “Processamento de Materiais Poliméricos” fomentou a aprendizagem baseada em projetos (ABP) por parte dos alunos. De modo geral, as etapas propostas no desenvolvimento da metodologia foram bem avaliadas pelos alunos e levaram a resultados técnicos de qualidade que geraram publicações em congressos e revistas. O desenvolvimento dos projetos estimulou o desenvolvimento de inúmeras competências e habilidades nos alunos e reforçou o aprendizado e percepção global do tetraedro base da Engenharia de Materiais, que correlaciona Composição-Estrutura-Processamento-Propriedades de materiais. Acredita-se que a aplicação da metodologia permite que os alunos saiam mais preparados e seguros para o mercado de trabalho, para atuação como engenheiros de materiais.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a prestativa ajuda dos técnicos do laboratório de processamento da Unifei-Itabira, Lúcio Cláudio da Silva e Geraldo Eustáquio Miguel Santos (Cabral). Também agradecem às empresas Innova e Cachaça Mineiriana pela doação, respectivamente, do polímero ABS e da fibra de bagaço de cana.

REFERÊNCIAS

ABIPLAST - Associação Brasileira da Indústria de Plástico. Perfil 2018 - Indústria Brasileira de Transformação e Reciclagem de Material Plástico. Disponível em: <<http://www.abiplast.org.br/wp-content/uploads/2019/08/perfil-2018-web.pdf>>. Acesso em 05 fev. 2020.

BIAGIOTTI, A. et al. **Expanded graphite as reinforcement of polypropylene composites**. International Journal of Materials and Products Technology, Submetido em fev de 2020.

BRASIL. Conselho Nacional de Educação / Câmara de Educação Superior. **Diretrizes Curriculares para os Cursos de Graduação em Engenharia**, aprovado em 12/12/2001. Disponível em: <<http://portal.mec.gov.br/cne/arquivos/pdf/CES1362.pdf>>. Acesso em 5 fev. 2020.

BRAUER, M. **Ensinar na Universidade – conselhos práticos, dicas, métodos pedagógicos**. São Paulo: Parábola Editorial, 2012.

DEMIR, H. et al. **The effect of fiber surface treatments on the tensile and water sorption properties of polypropylene–luffa fiber composites**. Composites: Part A, v. 37, p. 447–456, 2006.

GUERRA, A. et al. **Aprendizaje basado em problemas y educación en ingeniería: Panorama latinoamericano**. Aalborg: Aalborg Universitetsforlag, 2017.

ISHIZAKI, M. H. et al. **Caracterização mecânica e morfológica de compósitos de polipropileno e fibras de coco verde: influência do teor de fibra e das condições de mistura**. Polímeros, v. 16, n. 3, p. 182–186, 2006.

LEMOS, A. L. et al. **Biocomposites reinforced with natural fibers: thermal, morphological and mechanical characterization**. Revista Matéria, v. 22, n. 2, 2017.

MARTINS, A. et al. **Polímero madeira: a influência do pó de serragem nas propriedades do polipropileno**. In: III CONGRESSO DE PESQUISA, EXTENSÃO E ENSINO DA UNIFEI, 2018, Itabira, Anais eletrônicos...Itabira: UNIFEI, 2018. Disponível em: <<https://cpee.unifei.edu.br/anaisiiicpeeisbn.pdf>>. Acesso em 05 fev. 2020.

MARTINS, J. N. et al. **Dynamic mechanical, thermal, and morphological study of ABS/textile fiber composites**. Polymer Bulletin, v. 64, p. 497-510, 2010.

MOHANTY, A. K.; MISRA, M. **Natural fibers, biopolymers and biocomposites**. CRC Press: Boca Raton, 2005.

MOORE JR, E. P. **Polypropylene Handbook**. Hanser Gardner Publications, 1996.

RAMARAJ, B. **Mechanical and Thermal Properties of Polypropylene/Sugarcane Bagasse Composites**. Journal of Applied Polymer Science: v. 103, n. 6, p.3827-3832, 2006.

REIS, A. C. B.; BARBALHO, S. C. M.; ZANETTE, A. C. D. **A bibliometric and classification study of Project-based Learning in Engineering Education**. Production, v. 27(spe), 2017.

SANJAY, M. R. et al. **Characterization and properties of natural fiber polymer composites: A comprehensive review**. Journal of Cleaner Production, vol. 172, p. 566-581, 2018.

SILVA, A. M. G. et al. **Processamento por injeção e extrusão e caracterização da blenda de ABS/HIPS (75/25)**. In: 23º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS, 2018, Foz do Iguaçu, Anais...Foz do Iguaçu, 2018.

TRIPATHI, P.; KUMAR, D. **Study on Mechanical Behaviour of Sugarcane Bagasse Fiber Reinforced Polymer Matrix Composites**. S-JPSET, v. 8, p. 34-42, 2016.

VALÉRIO, A.L. et al. **Produção e caracterização de compósitos de polipropileno reforçados com Luffa cylindrica**. In: IV CONGRESSO DE PESQUISA, EXTENSÃO E ENSINO DA UNIFEI, 2019, Itabira, Anais eletrônicos...Itabira: UNIFEI, 2019.

SOBRE OS ORGANIZADORES

JOÃO DALLAMUTA - Professor assistente da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Graduação em Engenharia de Telecomunicações pela UFPR. MBA em Gestão pela FAE Business School, Mestre pela UEL. Doutorado em Engenharia Espacial pelo INPE, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

HENRIQUE AJUZ HOLZMANN - Professor da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Graduação em Tecnologia em Fabricação Mecânica e Engenharia Mecânica pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Mestre em Engenharia de Produção pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Doutorado em Engenharia e Ciência dos Materiais pela Universidade Estadual de Ponta Grossa. Trabalha com os temas: Revestimentos resistentes à corrosão, Soldagem e Caracterização de revestimentos soldados.

RENNAN OTAVIO KANASHIRO - Professor na Universidade Norte do Paraná (Unopar). Graduação e Mestrado em Engenharia Mecânica pela UTFPR. Trabalha com temas: Identificação de Sistemas, Problema Inverso e Otimização

ÍNDICE REMISSIVO

A

Açaí 87, 90, 92

Aglomerados 80, 81, 86

Água 7, 8, 26, 44, 48, 49, 50, 51, 53, 54, 55, 56, 57, 61, 69, 88, 89, 92, 95, 96, 97, 102, 105, 106, 107, 108, 110, 111, 112, 113, 114, 115, 119, 120, 121, 124, 125, 127, 128, 134, 135, 141, 142, 155, 156, 157, 158, 159, 164, 168, 169, 178

Alimentação 75, 133, 160, 161, 162, 163, 165, 166, 167, 179, 186

B

Bagaço 160

Bagaço de Cana 80, 81, 83, 84, 85, 86, 177, 178, 179, 182, 183, 184, 185, 187

Bioclimatologia 70, 71, 72, 73, 74, 76, 79

C

Camada 8, 131, 136

Cenoura 120, 131, 132, 133, 134, 135, 136, 140, 141, 142, 143

Citronela 59, 60, 61, 64, 65, 66, 67, 68

Climatizadores 105

CO₂ 7, 8, 59, 60, 65, 67, 69, 147, 154

Coagulação 155, 156, 157, 158, 159

Contaminação 44, 45, 48, 49, 50, 53, 54, 55, 56, 57, 112

E

Efeitos 18, 32, 33, 34, 74, 75, 78, 96, 118, 120, 164, 167, 168, 170

Empíricos 34, 131, 132, 133, 135, 136, 137, 138, 139, 140, 142

Ensaio 25, 27, 29, 30, 36, 51, 52, 53, 82, 90, 155, 181

Eucalipto 80, 81, 83, 84, 85, 86, 94, 95, 96

Extração 59, 60, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 87, 88, 147, 150, 152, 154, 167, 170, 182

F

Fibra de Vidro 24, 25, 27, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37

Fluído 59, 88, 89

G

Gengibre 118, 119, 120, 121, 124, 126, 129, 130

Geometria 90, 118, 119, 120, 121, 125, 126, 127, 128, 129

GNSS 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23

Goma Xantana 87, 88, 89, 90, 92

I

Incêndio 1, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 50

Instituições Públicas 1

L

Licor 94, 95, 96, 98

Lubrificante 44, 46, 47, 48, 49, 50

M

Madeira 8, 17, 81, 86, 94, 95, 96, 104, 145, 146, 147, 148, 149, 150, 152, 153, 154, 182, 188

Malte 160, 161, 162, 163, 164, 165, 166, 167, 168, 169, 170, 171, 172

Melhoria 27, 38, 39, 40, 42, 159, 166, 182

Mudança 1, 108, 120

O

Ordenhadeiras 105

P

pH 88, 97, 103, 104, 135, 140, 142, 155, 156, 157, 158, 178

Processos 29, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 69, 74, 118, 125, 130, 132, 133, 136, 146, 161, 165, 166, 171, 175, 176, 179

Produção 43, 44, 45, 52, 56, 59, 69, 70, 71, 72, 73, 75, 76, 78, 79, 80, 81, 88, 89, 94, 95, 96, 104, 105, 106, 108, 117, 143, 147, 150, 154, 156, 166, 167, 170, 174, 188, 189

R

Resistência Elétrica 24, 25, 26, 27, 29, 36, 37

S

Secagem 89, 97, 118, 119, 120, 121, 125, 126, 127, 128, 129, 130, 131, 132, 133, 134, 135, 136, 137, 138, 139, 140, 141, 142, 143, 170

Sementes 96, 143, 155, 156, 157, 158, 159, 168

Soldagem 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 189

Sustentável 76, 94, 104, 145, 146, 149, 150, 154

T

Térmico 27, 74, 75, 81, 82, 86, 105, 106, 114, 117, 148

Transferência de Calor 7, 80, 81, 84, 119

 www.atenaeditora.com.br
 contato@atenaeditora.com.br
 @atenaeditora
 www.facebook.com/atenaeditora.com.br

AMPLIAÇÃO E APROFUNDAMENTO DE CONHECIMENTOS NAS ÁREAS DAS ENGENHARIAS 2

 **Atena**
Editora
Ano 2020

 www.atenaeditora.com.br
 contato@atenaeditora.com.br
 @atenaeditora
 www.facebook.com/atenaeditora.com.br

AMPLIAÇÃO E APROFUNDAMENTO DE CONHECIMENTOS NAS ÁREAS DAS ENGENHARIAS 2


Ano 2020