

Atena
Editora
Ano 2021

DESAFIOS E IMPACTO DAS ENGENHARIAS NO BRASIL E NO MUNDO

**Carlos Augusto Zilli
(Organizador)**



Atena
Editora
Ano 2021

DESAFIOS E IMPACTO DAS ENGENHARIAS NO BRASIL E NO MUNDO

**Carlos Augusto Zilli
(Organizador)**



Editora Chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Assistentes Editoriais

Natalia Oliveira

Bruno Oliveira

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto Gráfico e Diagramação

Natália Sandrini de Azevedo

Camila Alves de Cremo

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

Imagens da Capa

Shutterstock

Edição de Arte

Luiza Alves Batista

Revisão

Os Autores

2021 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2021 Os autores

Copyright da Edição © 2021 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-Não-Comercial-NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 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.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

Conselho Editorial

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

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
Prof. Dr. Crisóstomo Lima do Nascimento – 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
Prof. Dr. Pablo Ricardo de Lima Falcão – Universidade de Pernambuco
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. Saulo Cerqueira de Aguiar Soares – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Vanessa Ribeiro Simon Cavalcanti – Universidade Católica do Salvador
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
Prof. Dr. Arinaldo Pereira da Silva – Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás
Profª Drª Carla Cristina Bauermann Brasil – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – Universidade Federal da Grande Dourados
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. Jayme Augusto Peres – Universidade Estadual do Centro-Oeste
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Profª Drª Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Profª Drª Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

Ciências Biológicas e da Saúde

Prof. Dr. André Ribeiro da Silva – Universidade de Brasília
Prof^a Dr^a Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás
Prof^a Dr^a Daniela Reis Joaquim de Freitas – Universidade Federal do Piauí
Prof^a Dr^a Débora Luana Ribeiro Pessoa – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Douglas Siqueira de Almeida Chaves – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Prof^a Dr^a Elizabeth Cordeiro Fernandes – Faculdade Integrada Medicina
Prof^a Dr^a Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília
Prof^a Dr^a Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina
Prof^a Dr^a Eysler Gonçalves Maia Brasil – Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira
Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof^a Dr^a Fernanda Miguel de Andrade – Universidade Federal de Pernambuco
Prof. Dr. Fernando Mendes – Instituto Politécnico de Coimbra – Escola Superior de Saúde de Coimbra
Prof^a Dr^a Gabriela Vieira do Amaral – Universidade de Vassouras
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Helio Franklin Rodrigues de Almeida – Universidade Federal de Rondônia
Prof^a Dr^a Iara Lúcia Tescarollo – Universidade São Francisco
Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Jefferson Thiago Souza – Universidade Estadual do Ceará
Prof. Dr. Jesus Rodrigues Lemos – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Jônatas de França Barros – Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof. Dr. Luís Paulo Souza e Souza – Universidade Federal do Amazonas
Prof^a Dr^a Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Marcus Fernando da Silva Praxedes – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof^a Dr^a Maria Tatiane Gonçalves Sá – Universidade do Estado do Pará
Prof^a Dr^a Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma
Prof^a Dr^a Natiéli Piovesan – Instituto Federacl do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Dr. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados
Prof^a Dr^a Regiane Luz Carvalho – Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino
Prof^a Dr^a Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora
Prof^a Dr^a Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof^a Dr^a Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Prof^a Dr^a Welma Emidio da Silva – Universidade Federal Rural de Pernambuco

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto
Prof^a Dr^a Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie
Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás
Prof^a Dr^a Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof^a Dr^a Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Prof^a Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande

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
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Sidney Gonçalves de Lima – Universidade Federal do Piauí
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
Profª Drª Edna Alencar da Silva Rivera – Instituto Federal de São Paulo
Profª Drª Fernanda Tonelli – Instituto Federal de São Paulo,
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 Miraniide 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. 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
Profª Ma. Adriana Regina Vettorazzi Schmitt – Instituto Federal de Santa Catarina
Prof. Dr. Alex Luis dos Santos – Universidade Federal de Minas Gerais
Prof. Me. Alexsandro Teixeira Ribeiro – Centro Universitário Internacional
Profª Ma. Aline Ferreira Antunes – Universidade Federal de Goiás
Profª Drª Amanda Vasconcelos Guimarães – Universidade Federal de Lavras
Prof. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão
Profª Ma. Andréa Cristina Marques de Araújo – Universidade Fernando Pessoa
Profª Drª Andrezza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Profª Drª Andrezza Miguel da Silva – Faculdade da Amazônia
Profª Ma. Anelisa Mota Gregoleti – Universidade Estadual de Maringá
Profª Ma. Anne Karynne da Silva Barbosa – Universidade Federal do Maranhão
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. Me. Carlos Augusto Zilli – Instituto Federal de Santa Catarina
Prof. Me. Christopher Smith Bignardi Neves – Universidade Federal do Paraná
Profª Drª 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. Edson Ribeiro de Britto de Almeida Junior – Universidade Estadual de Maringá
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
Prof. Dr. Everaldo dos Santos Mendes – Instituto Edith Theresa Hedwing Stein
Prof. Me. Ezequiel Martins Ferreira – Universidade Federal de Goiás
Profª Ma. Fabiana Coelho Couto Rocha Corrêa – Centro Universitário Estácio Juiz de Fora
Prof. Me. Fabiano Eloy Atilio Batista – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Me. Felipe da Costa Negrão – Universidade Federal do Amazonas
Prof. Me. Francisco Odécio Sales – Instituto Federal do Ceará
Prof. Me. Francisco Sérgio Lopes Vasconcelos Filho – Universidade Federal do Cariri
Profª Drª Germana Ponce de Leon Ramírez – Centro Universitário Adventista de São Paulo
Prof. Me. Gevair Campos – Instituto Mineiro de Agropecuária
Prof. Me. Givanildo de Oliveira Santos – Secretaria da Educação de Goiás
Prof. Dr. Guilherme Renato Gomes – Universidade Norte do Paraná
Prof. Me. Gustavo Krahl – Universidade do Oeste de Santa Catarina
Prof. Me. Helton Rangel Coutinho Junior – Tribunal de Justiça do Estado do Rio de Janeiro
Profª Ma. Isabelle Cerqueira Sousa – Universidade de Fortaleza
Profª Ma. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia
Prof. Me. Javier Antonio Albornoz – University of Miami and Miami Dade College
Prof. Me. Jhonatan da Silva Lima – Universidade Federal do Pará
Prof. Dr. José Carlos da Silva Mendes – Instituto de Psicologia Cognitiva, Desenvolvimento Humano e Social
Prof. Me. Jose Elyton Batista dos Santos – Universidade Federal de Sergipe
Prof. Me. José Luiz Leonardo de Araujo Pimenta – Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria Uruguay
Prof. Me. José Messias Ribeiro Júnior – Instituto Federal de Educação Tecnológica de Pernambuco
Profª Drª Juliana Santana de Curcio – Universidade Federal de Goiás
Profª Ma. Juliana Thaisa Rodrigues Pacheco – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Kamilly Souza do Vale – Núcleo de Pesquisas Fenomenológicas/UFGA
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 Fenomenología & Subjetividade/UFPR
Prof. Me. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Ma. Lilian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará
Profª Ma. Lilian de Souza – Faculdade de Tecnologia de Itu
Profª Ma. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ
Profª Drª Lúvia 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. Dr. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual do Paraná
Profª Ma. Luana Ferreira dos Santos – Universidade Estadual de Santa Cruz
Profª Ma. Luana Vieira Toledo – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados
Prof. Me. Luiz Renato da Silva Rocha – Faculdade de Música do Espírito Santo
Profª Ma. Luma Sarai de Oliveira – Universidade Estadual de Campinas
Prof. Dr. Michel da Costa – Universidade Metropolitana de Santos

Prof. Me. Marcelo da Fonseca Ferreira da Silva – Governo do Estado do Espírito Santo
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. Dr. Pedro Henrique Abreu Moura – Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais
Prof. Me. Pedro Panhoca da Silva – Universidade Presbiteriana Mackenzie
Profª Drª Poliana Arruda Fajardo – Universidade Federal de São Carlos
Prof. Me. Rafael Cunha Ferro – Universidade Anhembi Morumbi
Prof. Me. Ricardo Sérgio da Silva – Universidade Federal de Pernambuco
Prof. Me. Renan Monteiro do Nascimento – Universidade de Brasília
Prof. Me. Renato Faria da Gama – Instituto Gama – Medicina Personalizada e Integrativa
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
Profª Ma. Taiane Aparecida Ribeiro Nepomoceno – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
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

Desafios e impacto das engenharias no Brasil e no mundo

Bibliotecária: Janaina Ramos
Diagramação: Camila Alves de Cremo
Correção: Mariane Aparecida Freitas
Edição de Arte: Luiza Alves Batista
Revisão: Os Autores
Organizador: Carlos Augusto Zilli

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

D441 Desafios e impacto das engenharias no Brasil e no mundo /
Organizador Carlos Augusto Zilli. – Ponta Grossa - PR:
Atena, 2021.

Formato: PDF
Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader
Modo de acesso: World Wide Web
Inclui bibliografia
ISBN 978-65-5983-132-6
DOI 10.22533/at.ed.326210106

1. Engenharia. I. Zilli, Carlos Augusto (Organizador). II.
Título.

CDD 620

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

Atena Editora
Ponta Grossa – Paraná – Brasil
Telefone: +55 (42) 3323-5493
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br

DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa.

APRESENTAÇÃO

Esta obra, intitulada “Desafios e Impacto das Engenharias no Brasil e no Mundo”, apresenta 17 capítulos que abordam pesquisas relevantes sobre os impactos e desafios enfrentados pela engenharia mundo afora, tais como: Saneamento Básico, Concreto em Situações de Incêndio, Sistemas de Monitoramento Térmico em Construções, Estabilidade de Solos, Auditoria de Barragens, Rotas Rodofluviais, Políticas Públicas e Compostos Bioativos.

Desta forma, esta obra se mostra potencialmente disponível para contribuir com discussões e análises aprofundadas acerca de assuntos atuais e relevantes, servindo como base referencial para futuras investigações.

Deixo, aos autores dos capítulos, um agradecimento especial, e aos futuros leitores, anseio que esta obra sirva como fonte inspiradora e reflexiva.

Esta obra é indicada para os mais diversos leitores, tendo em vista que foi produzida por meio de linguagem fluída e abordagem prática, o que favorece a compreensão dos conceitos apresentados pelos mais diversos públicos, sendo indicada, em especial, aos amantes da área de engenharia.

Carlos Augusto Zilli

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

AVALIAÇÃO COMPARATIVA DO IMPACTO DA VARIAÇÃO DE CURVAS GRANULOMÉTRICAS DENSAS NO NÍVEL DE ABSORÇÃO SONORA DE MISTURAS ASFÁLTICAS

Bettina Buchholz
Breno Salgado Barra
Yader Guerrero Pérez
Alexandre Mikowski
Marcelo Heidemann
Helena Paula Nierwinski
Daniel Hastenp lug

DOI 10.22533/at.ed.3262101061

CAPÍTULO 2..... 14

DESIGN FAILURE MODE AND EFFECTS ANALYSIS (DFMEA) OF THE ROD OF THE SUBSEA PIPELINE LOCKING SYSTEM IN AN OPEN PLET

Raphael Basilio Pires Nonato
Weslley Souza Gouvêa

DOI 10.22533/at.ed.3262101062

CAPÍTULO 3..... 29

ANÁLISE COMPARATIVA DE OPÇÕES PARA A DISTRIBUIÇÃO DE CORDOALHAS EM LAJES LISAS PROTENDIDAS SEM ADERÊNCIA

Anselmo Leal Carneiro
Lorenzo Augusto Ruschi e Luchi

DOI 10.22533/at.ed.3262101063

CAPÍTULO 4..... 43

PROPOSTA DE UM MÉTODO SIMPLIFICADO PARA ANÁLISE DE VIGAS DE CONCRETO ARMADO EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO

Marcelo Mesquita do Amaral
Mauro de Vasconcellos Real

DOI 10.22533/at.ed.3262101064

CAPÍTULO 5..... 58

AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO ACÚSTICO DE UMA HABITAÇÃO EM WOOD FRAME NA CIDADE DE SÃO CARLOS – SP

Alexandre Rodriguez Murari
Guilherme Côrrea Stamato
Victor José dos Santos Baldan
Javier Mazariegos Pablos

DOI 10.22533/at.ed.3262101065

CAPÍTULO 6..... 68

SISTEMA DE MONITORAMENTO TÉRMICO DE BAIXO CUSTO PARA ÁREAS DE

ARMAZENAMENTO DE MEDICAMENTOS

Anderson Natel Soares

DOI 10.22533/at.ed.3262101066

CAPÍTULO 7..... 71

DESENVOLVIMENTO DE PAINEL RECONSTITUÍDO PLÁSTICO-MADEIRA DE BAIXA DENSIDADE

Alice Fontineles Ribeiro

Marcio Franck de Figueiredo

Jose Leonardo dos Santos Carvalho

Fabiana Martins Souza da Silva

Juliana Fonseca Cardoso

DOI 10.22533/at.ed.3262101067

CAPÍTULO 8..... 78

SANEAMENTO BÁSICO E ENTEROPARASIToses: INFLUÊNCIA DIRETA NA RELAÇÃO SAÚDE-DOENÇA

Bianca Vallery Fabiano

Leonardo Muniz Belizário

Andressa Cristina Kretschmer

Rodrigo José Paiva Cruz

Isis Carolina Massi Vicente

Daniela Sikorski

Luana Aparecida Cossentini

DOI 10.22533/at.ed.3262101068

CAPÍTULO 9..... 85

A APLICAÇÃO DAS POLÍTICAS PÚBLICAS NO CONTEXTO DO SANEAMENTO BÁSICO NA GESTÃO MUNICIPAL DE BELÉM, ANANINDEUA E CASTANHAL-PA, NO PERÍODO ENTRE 2010 A 2018

Educélio Gaspar Lisbôa

Leonardo Augusto Lobato Bello

Érico Gaspar Lisbôa

Heriberto Wagner Amanajás Pena

DOI 10.22533/at.ed.3262101069

CAPÍTULO 10..... 102

CRITÉRIOS DE SENIORIDADE E NÍVEIS SUBSEQUENTES PARA CLASSIFICAÇÃO DE AUDITORES DE BARRAGENS

Rafaela Baldi Fernandes

Karina Lívia Vieira

Felipe Daiha Alves

DOI 10.22533/at.ed.32621010610

CAPÍTULO 11..... 113

DESEMPENHO MECÂNICO DE DIFERENTES SOLOS ESTABILIZADOS COM CAL HIDRATADA

Aloísio Felipe de Pádua Lima

Diogo Antonio Correa Gomes
Eduardo Hélio de Novais Miranda
Luís Eduardo Silveira Dias
Pedro Luiz Terra Lima

DOI 10.22533/at.ed.32621010611

CAPÍTULO 12..... 120

**ESTUDO DE VIABILIDADE DE ROTAS RODOFLUVIAIS NA CIDADE DE MARABÁ-PA
COMO APOIO AO TRANSPORTE URBANO**

Isaac Gabriel Peixoto Borges de Oliveira
Alan Monteiro Borges
Nuria Pérez Gallardo

DOI 10.22533/at.ed.32621010612

CAPÍTULO 13..... 127

**ANÁLISE DE AEROFÓLIOS DE ALTA SUSTENTAÇÃO PARA APLICAÇÃO EM
AERONAVE CARGUEIRA NÃO TRIPULADA DA EQUIPE ARAERO AERODESIGN**

Jéssica Sales Pereira dos Santos
João Pedro Avancini Dias
Antonio Ricardo Grippa Satiro

DOI 10.22533/at.ed.32621010613

CAPÍTULO 14..... 146

**ESTUDO ANALÍTICO, DIMENSIONAMENTO E FABRICAÇÃO DE UM VENTILADOR
CENTRÍFUGO COM PÁS CURVADAS PARA TRÁS E TRAÇADO DAS CURVAS
CARACTERÍSTICAS**

Carlos Alberto da Maia
Marco Antonio Sampaio Ferraz de Souza

DOI 10.22533/at.ed.32621010614

CAPÍTULO 15..... 156

**ESTUDO ANALÍTICO DE UM VENTILADOR CENTRÍFUGO E CONFECÇÃO DE UMA
BANCADA EXPERIMENTAL**

Carlos Alberto da Maia
Marco Antonio Sampaio Ferraz de Souza

DOI 10.22533/at.ed.32621010615

CAPÍTULO 16..... 167

**INFLUÊNCIA DA IMPREGNAÇÃO CONTRA DEMANDA BIOLÓGICA NAS PROPRIEDADES
FÍSICO-MECÂNICAS DAS MADEIRAS DE CAIXETA (*Simarouba amara*)**

Andréa de Souza Almeida
Gabriel Criscuolo
Francisco Antonio Rocco Lahr
André Luis Christoforo

DOI 10.22533/at.ed.32621010616

CAPÍTULO 17..... 180

EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD ANTIOXIDANTE Y COMPUESTOS BIOACTIVOS EN

**PURÉ INSTANTÁNEO DE DIEZ CLONES DE PAPAS NATIVAS (*Solanum tuberosum*)
CULTIVADAS EN ANDAHUAYLAS**

Carlos Alberto Ligarda Samanez

David Choque Quispe

Betsy Suri Ramos Pacheco

Elibet Moscoso Moscoso

DOI 10.22533/at.ed.32621010617

SOBRE O ORGANIZADOR.....	192
ÍNDICE REMISSIVO.....	193

CAPÍTULO 1

AVALIAÇÃO COMPARATIVA DO IMPACTO DA VARIACÃO DE CURVAS GRANULOMÉTRICAS DENSAS NO NÍVEL DE ABSORÇÃO SONORA DE MISTURAS ASFÁLTICAS

Data de aceite: 25/05/2021

Data de submissão: 24/02/2021

Daniel Hastenpflug

Universidade Federal de Santa Catarina
(UFSC)

Joinville – SC

<http://lattes.cnpq.br/7563604853609620>

Bettina Buchholz

Universidade Federal de Santa Catarina
(UFSC)

Joinville – SC

<http://lattes.cnpq.br/5049004361552738>

Breno Salgado Barra

Universidade Federal de Santa Catarina
(UFSC)

Joinville – SC

<http://lattes.cnpq.br/2025525990806416>

Yader Guerrero Pérez

Universidade Federal de Santa Catarina
(UFSC)

Joinville – SC

<http://lattes.cnpq.br/7760597238169813>

Alexandre Mikowski

Universidade Federal de Santa Catarina
(UFSC)

Joinville – SC

<http://lattes.cnpq.br/9095069694057203>

Marcelo Heidemann

Universidade Federal de Santa Catarina
(UFSC)

Joinville – SC

<http://lattes.cnpq.br/5642066924918215>

Helena Paula Nierwinski

Universidade Federal de Santa Catarina
(UFSC)

Joinville – SC

<http://lattes.cnpq.br/4640632012639918>

RESUMO: O objetivo deste estudo é avaliar comparativamente o impacto da variação de curvas granulométricas no nível de absorção sonora de misturas asfálticas. Para tanto, as composições granulares foram compostas com base no método teórico, utilizando a equação de Füller-Talbot. Foram analisadas três curvas granulométricas, com características densa (*Béton Bitumineux Semi-Grenus* - BBSG), semi-densa (*Béton Bitumineux Très Mince* - BBTM) e aberta (*Béton Bitumineux Drainante* - BBDr), compreendendo a variação do diâmetro considerado máximo na série de peneiras, 19,1mm (BBSG) e 12,7mm (BBTM e BBDr), bem como da inserção de descontinuidade fracionária no intervalo 2/6mm (BBTM e BBDr). Os granulares utilizados provêm de britagem de rocha gnáissica e os ligantes betuminosos de penetração 30/45 (0,1mm) para a mistura BBSG e com matriz base de penetração 50/70 com adição de 4% de polímero Estireno-Butadieno-Estireno (SBS) (Poliflex 60/85) para as misturas BBTM e BBDr. As misturas asfálticas foram produzidas no Laboratório de Desenvolvimento e Tecnologia em Pavimentação (LDTPav) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Campus Joinville, a partir da metodologia Marshall, em função de ser oficialmente adotada no Brasil pelo Departamento Nacional

de Infraestrutura de Transportes (DNIT). As medidas de absorção sonora foram efetuadas com o equipamento denominado tubo de impedância acústica, do Centro de Pesquisas (CENPES) da Petrobrás, a fim de determinar o coeficiente de absorção sonora das misturas asfálticas. Os resultados obtidos indicam que a concepção de curvas granulométricas que compreendem descontinuidades em sua distribuição fracionária (BBTM e BBDr), a partir da geração de maior volume de vazios na estrutura interna do material, são mais eficientes na propiciação de absorção sonora em relação às misturas densas (BBSG). Sendo assim, são mais recomendadas para uso em camadas superficiais de rolamento nas estruturas de pavimento. Em contrapartida, a natureza do ligante betuminoso parece não influenciar de forma decisiva nesta propriedade.

PALAVRAS-CHAVE: Curva granulométrica; mistura asfáltica; absorção sonora; ruído.

COMPARATIVE ASSESSMENT OF AGGREGATE GRADATION IMPACT ON THE SOUND ABSORPTION LEVEL OF DENSE ASPHALT MIXES

ABSTRACT: The main aim of this research is to evaluate comparatively the impact of distinct aggregate gradations on the sound absorption level of asphalt mixes. The granulometric curves were formulated based on the theoretical method of Füller-Talbot, in order to determine the gradation of the material. Three granulometric curves were analyzed, so-called as dense (Béton Bitumineux Semi-Grenus - BBSG), semi-dense (Béton Bitumineux Très Mince - BBTM) and opened (Béton Bitumineux Drainante - BBDr), comprising the variation of the maximum diameter of the sieve opening series, 19,1mm (BBSG) e 12,7mm (BBTM and BBDr), as well as the insertion of fractional discontinuity in the interval 2/6mm (BBTM and BBDr). The granular fractions are provided by gneissic crushed massive rock and the asphalt binders have penetration 30/45 (0,1mm) for BBSG and a base matrix 50/70 added to 4,0% of polymer Styrene-Butadiene-Styrene (SBS) for BBTM and BBDr. The asphalt mixes were produced in the Laboratório de Desenvolvimento e Tecnologia em Pavimentação (LDTPav) from Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Campus Joinville, taking into account the Marshall methodology, due to be officially homologated in Brazil by Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), thus, applied in road works. The sound absorption measurements were carried out at Centro de Pesquisas (CENPES) from Petrobrás, with an equipment so-called acoustic impedance tube, aiming at to determine the sound absorption coefficients of the asphalt mixes produced in laboratory. The results obtained indicate that the conception of semi-dense and opened granulometric curves, mainly those with fractional discontinuities as BBTM and BBDr, provide higher air void volumes and, consequently, better sound absorption capacity than dense asphalt mixes, such as BBSG, being more recommended to be used as surface layers in pavement structures. In addition, the nature of the asphalt binder seems not to be decisively influent in this property.

KEYWORDS: Aggregate gradation; Asphalt mix; Sound absorption; Noise.

1 | INTRODUÇÃO

Veículos de carga e transporte de passageiros expõem seus usuários, operadores e tripulação a longos períodos de exposição a ruídos. Porém, este não é um problema apenas para os ocupantes destes meios de transporte, visto que a poluição sonora figura

no topo da lista de reclamações dos cidadãos. O controle deste problema pode ser feito atuando mecanicamente sobre as principais fontes irradiantes de som, buscando obter a maior redução de energia sonora emitida [OLIVEIRA, 2007].

A totalidade de ruído emitido por um veículo é determinada pela junção de duas fontes predominantes, sendo elas a interação do pneu com o pavimento e o ruído proveniente do motor. Quando em velocidades baixas, o ruído dominante provém do motor do veículo, já em velocidades altas, acima de 40 Km/h, o ruído dominante é advindo da interação pneu/pavimento [SANDBERG e EJSMONT, 2002].

A geração de ruído devido à interação pneu-pavimento está relacionada com a velocidade do movimento do veículo, além disso, é também afetado por características como o tipo de pneu utilizado, seu material, estrutura e largura e pressão de insuflagem, tendo ainda como fatores relevantes, a textura da superfície do pavimento, bem como sua capacidade de absorção sonora [OBSERVATOIRE DU BRUIT EN LLE DE FRANCE, 2011].

Ao considerar os aspectos da superfície do pavimento, os principais responsáveis pela geração de ruído são a macrotextura e a megatextura da pista de rolamento, além de influenciarem na resistência ao rolamento e conseqüentemente causar maior consumo de combustível, desconforto dos ocupantes do veículo e desgaste dos pneus [CALLAI, 2011].

Um das maneiras de interferir no nível de ruído gerado pela interação pneu/pavimento é a utilização de pavimentos mais silenciosos. A rigidez do pavimento influencia na geração de ruído pneu/pavimento. Pavimentos rígidos, mesmo apresentando textura mais lisa, produzem maior ruído em comparação com pavimentos flexíveis, sendo assim, uma mistura asfáltica que apresenta menor rigidez, tenderá a reduzir as forças de impacto transmitidas ao pneu, atenuando assim, o nível de vibração do contato [KNABBEN et. al., 2018].

Nesse contexto, o presente trabalho avalia o nível de absorção sonora de três tipos distintos de misturas asfálticas, a saber: Béton Bitumineux Drainante (BBDr), Béton Bitumineux Très Mince (BBTM) e Béton Bitumineux Semi-Grenus (BBSG), de características granulométricas aberta, semi-densa e densa. Os corpos de prova foram moldados no compactador Marshall por ser a metodologia oficialmente adotada no Brasil pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) e a absorção sonora foi medida com o uso do tubo de impedância de Kundt.

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

O material pétreo utilizado é oriundo de britagem de maciço rochoso gnáissico e foi obtido a partir de jazida situada na região metropolitana de Joinville/SC, pertencente à empresa Rudnick Minérios Ltda.

No que diz respeito aos ligantes betuminosos, a amostra de penetração 30/45 (0,1 mm) em sua forma pura foi fornecida pela refinaria REPLAN da Petrobrás S.A, localizada

na cidade de Paulínia/SP. A matriz base de penetração 50/70 (0,1mm) modificada com 4% de polímero Estireno-Butadieno-Estireno (SBS), denominada Poliflex 60/85, é proveniente de distribuidora CBB Asfaltos, situada em Curitiba/PR.

As misturas asfálticas utilizadas nesta pesquisa foram concebidas granulometricamente de acordo com os princípios normativos franceses [MANUEL LPC, 2007], recebendo a seguinte denominação: *Béton Bitumineux Semi-Grenus* (BBSG), *Béton Bitumineux Très Mince* (BBTM) e *Béton Bitumineux Drainante* (BBDr). No Brasil, estas formulações recebem os nomes de mistura asfáltica densa, muito delgada e drenante, nesta ordem.

A formulação BBSG foi reproduzida da pesquisa de [BARRA, 2009], enquanto a BBTM e a BBDr do trabalho de [FAGUNDES, 2020]. A Figura 1 ilustra as distribuições granulométricas das misturas asfálticas.

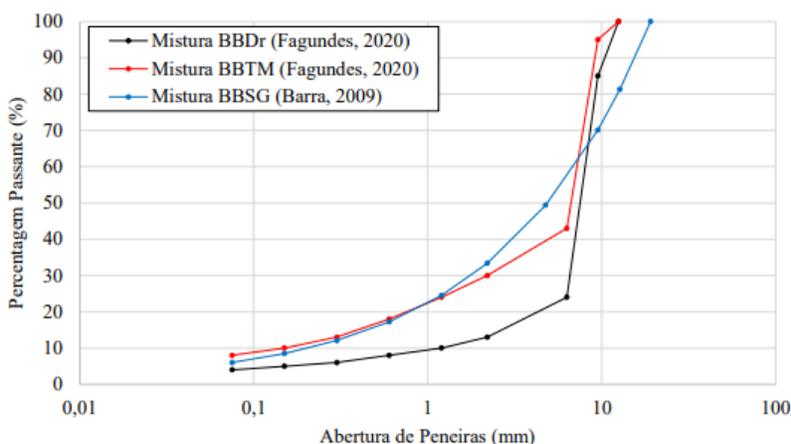


Figura 1 - Curvas Granulométricas das Misturas Asfálticas BBSG, BBDr e BBTM.

Fonte: Autor (2020).

É importante destacar que a mistura BBSG foi composta integralmente por frações granulares gnáissicas, enquanto as misturas BBTM e BBDr tiveram cada uma o aporte de 2,0% de cal hidratada CH-1 no percentual passante na peneira de abertura 0,075mm, pois como se tratam de formulações que possuem descontinuidades na composição granulométrica no intervalo 2/6mm (Figura 1), possuem maior volume de vazios em suas estruturas internas. Logo, necessitam do aporte de material com característica pozolânica para formação de um mástique resistente, capaz de auxiliar na melhor ancoragem do ligante betuminoso às frações granulares, inibindo a desagregação do material quando submetido ao carregamento solicitante no campo [CLARA et. al., 2020].

Com base na Equação 1 de Füller-Talbot, tem-se que as curvas granulométricas apresentadas na Figura 1 possuem os seguintes expoentes “n” de graduação: 0,51 (BBSG);

0,49 (BBTM) e 0,63 (BBDr). Os dois primeiros expoentes se enquadram na graduação densa, enquanto o último na graduação aberta. Porém, deve ser feita a ressalva de que como a mistura BBTM possui descontinuidade fracionária no intervalo 2/6mm, cabe de forma mais adequada enquadrá-la na graduação semi-densa [DNIT, 2006].

$$n = \frac{\log(\%p_{0,075\text{mm}}) - \log(100)}{\log\left(\frac{0,075}{D}\right)} \quad (1)$$

Onde D é o diâmetro máximo, correspondente à abertura da peneira em que passa 100% das frações (mm), n é o expoente indicador de graduação da curva (se mais aberta ou mais densa, por exemplo) e $\%p_{0,075\text{mm}}$ é o percentual passante na menor abertura de peneira da série (0,075mm).

Os teores de ligante betuminoso, em peso, adotados para a dosagem das misturas asfálticas foram os mesmos considerados como ótimos pelas pesquisas já mencionadas de [BARRA, 2009] e [FAGUNDES, 2020], a saber: 4,86% (BBSG) e 4,22% (BBTM e BBDr). As amostras foram produzidas a partir do compactador Marshall, totalizando 30 corpos de prova (20 BBSG, 5 BBTM e 5 BBDr), devido ser a metodologia oficialmente adotada no Brasil pelo DNIT [DNIT - ME 043, 1995].

A partir das medições geométricas dos corpos de prova e da realização de procedimento a vácuo, com pressão de 0,05MPa [ABNT NBR 15619, 2012], foram determinadas as massas volumétricas aparente (MVA) e real (MVR) das misturas asfálticas, bem como o teor de vazios (%V). A Tabela 1 apresenta os valores médios obtidos.

Mistura Asfáltica	MVA (g/cm³)	MVR (g/cm³)	V (%)
BBSG	2,587	2,743	5,7
BBTM	2,314	2,594	10,8
BBDr	2,136	2,562	16,6

Tabela 1 - Propriedades Volumétricas das Misturas Asfálticas.

Fonte: Autor (2020).

Entretanto, nesta pesquisa, a ideia foi constituir amostras que representassem as condições de superposição das camadas asfálticas no campo, a fim de que fossem simuladas as propagações das ondas sonoras em um ambiente mais próximo possível da situação prática. Para tanto, foram montados 15 conjuntos de amostras com as configurações apresentadas na Tabela 2.

Conjunto N°	Posição	Composição
1-5	1ª Camada	BBSG
	2ª Camada	BBSG
6-10	1ª Camada	BBTM
	2ª Camada	BBSG
11-15	1ª Camada	BBDr
	2ª Camada	BBSG

Tabela 2 - Composição dos Conjuntos de Amostras.

Fonte: Autor (2020).

Cabe esclarecer que as composições apresentadas na Tabela 2. representam na 1ª camada as superfícies de rolamento, ou seja, aquelas que estarão diretamente em contato com os pneumáticos quando da aplicação das cargas solicitantes no campo. Já a 2ª camada desempenha a função de ligação (*binder*) entre as camadas de rolamento e estruturais do pavimento (Figura 2).



Figura 2 - Estrutura do Pavimento com as Camadas de Rolamento e de Ligação.

Fonte: Autor (2020).

A adesão entre as superfícies dos corpos de prova para compor a superposição das amostras foi viabilizada com a aplicação de emulsão asfáltica catiônica de ruptura lenta (RL-1C) (Figura 3), usualmente utilizada em obras de pavimentação para a execução dos serviços de pintura de ligação, em que as seguintes dosagens foram adotadas a partir da curva granulométrica: 0,8 l/m² (BBSG), 0,9 l/m² (BBTM) e 1,0 l/m² (BBDr). Cabe ressaltar que as dosagens adotadas estão conformidade com as especificações brasileiras [DNIT - ES 145, 2012] para aplicações de emulsões diluídas em pinturas de ligação.



Figura 3 - Aplicação da Emulsão na Interface dos Conjuntos de Amostras.

Fonte: Autor (2020).

Outro aspecto importante a ser destacado é que a emulsão RL-1C foi utilizada em substituição à de ruptura rápida RR-1C, pois como duas das três curvas granulométricas possuem descontinuidades (BBTM e BBDr; Figura 1), ou seja, com maior quantidade de vazios (Tabela 1), conseqüentemente mais rugosa, verificou-se que seria prudente aplicar uma emulsão que permitisse maior tempo de ruptura, a fim de propiciar uma adesão mais efetiva das superfícies. Assim, para que não houvesse distinção entre as emulsões utilizadas entre os conjuntos de amostras, foi adotada a mesma para todos. O tempo médio de ruptura foi de 72h.

Para compor as camadas de ligação, a mistura BBSG foi escolhida em razão de suas características serem destinadas também a este tipo de funcionalidade no projeto de pavimentos reais [MANUEL LPC, 2007]. Para manter a 2ª camada como uma variável constante no processo de tomada das medições de absorção sonora, tendo-se como única variante nos experimentos a camada superficial.

A Figura 4 ilustra os conjuntos dos corpos de prova constituídos após os procedimentos de aplicação da emulsão RL-1C em suas interfaces.



Figura 4 - Conjuntos de Amostras Após a Aplicação da Emulsão em suas Interfaces: Esquerda (BBDr/BBSG), Centro (BBTM/BBSG) e Direita (BBSG/BBSG).

Fonte: Autor (2020).

Para a realização das medições absorção sonora dos conjuntos de amostras descritos, foi utilizado um tubo de impedância, também denominado de tubo de Kundt. O equipamento utilizado pertence ao Centro de Pesquisas (CENPES) da Petrobrás.

O tubo utilizado é feito em aço inoxidável, com diâmetro interno de $101,6\text{mm} \pm 1,0\text{mm}$, $1000,0\text{mm}$ de altura, dispondo ainda de uma chapa de aço perfurada em sua base, com dimensões de $30,0\text{cm} \times 30,0\text{cm} \times 0,03\text{cm}$, a fim de evitar perda da propagação sonora na área de contato com os corpos de prova. O posicionamento entre os pontos de captação dos microfones é de $68,0\text{mm}$.

Os conjuntos de corpos de prova foram colocados no interior da base do tubo, a fim de que recebessem diretamente as ondas sonoras propagadas pela caixa amplificadora acoplada a um flange na parte superior (Figura 6), sem qualquer interferência entre a fonte emissora e o material receptor.

Foram definidas as faixas de frequência: mínima (250Hz), central (1260Hz) e de corte (1980Hz) para que não houvesse problemas na propagação das ondas sonoras. As determinações do coeficiente de absorção sonora (α) foram realizadas em cada conjunto amostral, obtendo-se o resultado médio em cada caso. O processamento dos dados obtidos nos testes para as representações gráficas foi desenvolvido com o uso da ferramenta computacional MatLab.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

O resultado obtido para o conjunto amostral BBSG/BBSG apresentou valor médio de 0,25 para o coeficiente de absorção sonora (α), comportando oscilação a partir de 1800Hz, em que o valor médio de " α " até 1900Hz foi 0,18. Para a frequência de 1000 Hz, considerada crítica quanto ao incômodo gerado pelo ruído pneu-pavimento, o valor obtido foi de 0,26 (Figura 5).

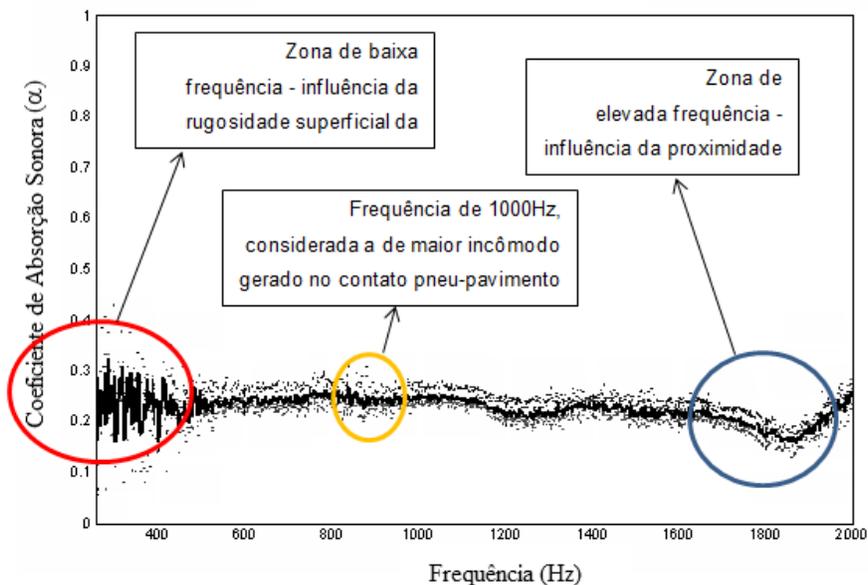


Figura 5 - Curva de absorção sonora em relação à frequência do conjunto BBSG/BBSG.

Fonte: Autor (2020).

Destaca-se também a forte variação de 'a' para frequências abaixo de 600Hz, o que pode ser atribuído à rugosidade superficial das misturas asfálticas associada à menor velocidade de propagação das ondas a baixas frequências, mais sensíveis à modificação de trajetória que em condições mais rápidas de incidência.

A partir de 1800Hz, percebe-se a influência da proximidade à frequência de corte ' f_c ' de 2000Hz, em que as ondas sonoras não se propagam de forma plana, mas em trajetórias laterais ou cilíndricas, gerando perturbações no ponto de captação.

Verificar-se que estas tendências abaixo de 600Hz e acima de 1800Hz se repetem para todos os conjuntos amostrais testados, ratificando o raciocínio apresentado.

No caso dos conjuntos BBTM/BBSG, é perceptível que as oscilações de ' α ' que ocorreram abaixo de 600Hz são de maior escala que no conjunto BBSG/BBSG (Figura 5). Isto se explica pela descontinuidade granulométrica da mistura asfáltica BBTM no intervalo fracionário 2/6mm (Figura 1), formando uma superfície com maior rugosidade que a BBSG, de característica densa. Como resultado, tem-se maior difusão das ondas reflexivas propagadas a baixa frequência.

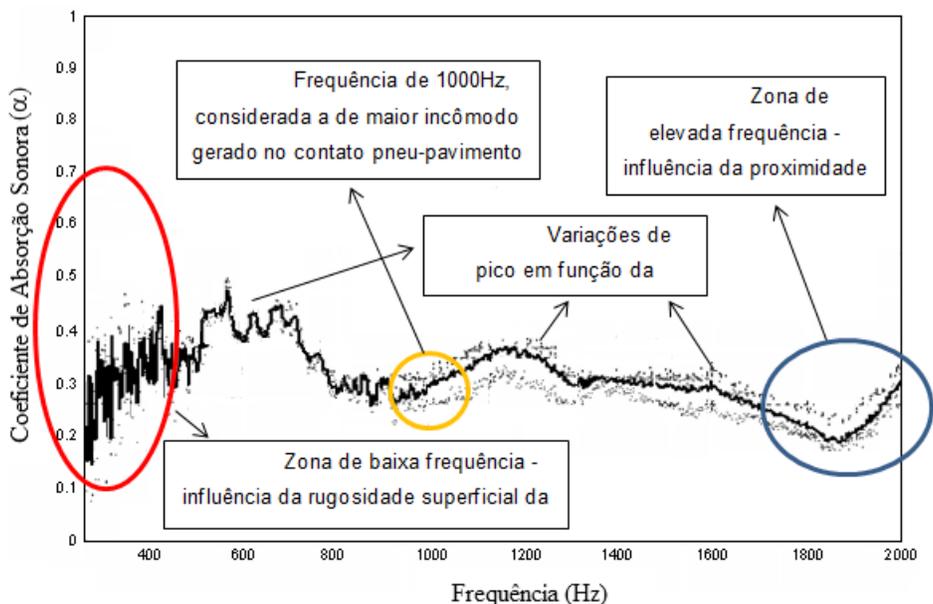


Figura 6 - Curva de absorção sonora em relação à frequência da mistura asfáltica BBTM.

Fonte: Autor (2020).

Em contrapartida, também é notória a maior absorção sonora da mistura BBTM em comparação à BBSG, em razão da maior presença do volume de vazios (%V) (Tabela 1) na estrutura interna do material, o que possibilita a formação de maior quantidade de pontos de passagem das ondas sonoras, mesmo a curva granulométrica tendo menor diâmetro máximo. Para efeito de escala, foram atingidos picos ' α ' de 0,49 para frequências abaixo de 600Hz, e entre 1800Hz a 1900Hz o valor médio de 0,22. Na frequência referencial de 1000Hz o valor médio foi de 0,30.

Entre 600Hz e 1800Hz percebe-se um comportamento típico de materiais que possuem característica absorvedora do som, em razão das oscilações constantes dos picos. Esta situação é suportada no fato de que as misturas asfálticas sofrem um processo de acomodação dos granulares de forma aleatória durante a compactação. Portanto, há regiões do material que concentram maior quantidade de vazios em relação a outras, o que distingue as zonas de absorção sonora, em que maior será o ' α ' na medida que maior for a concentração de vazios.

Esta afirmação é sustentada pela observação do espectro referente ao conjunto BBSG/BBSG (Figura 5), pois em razão de possuir maior densificação, face à curva granulométrica sem descontinuidades, apresenta maior linearidade de absorção no espectro frequencial, indicando menor variação na distribuição dos vazios na estrutura interna do material.

Para o conjunto BBDr/BBSG valem as mesmas considerações efetuadas para o

conjunto BBTM/BBSG, porém, como o BBDr se trata de uma mistura asfáltica com curva granulométrica de graduação aberta ($n = 0,63$) (Figura 1), com maior teor de vazios que todas as demais testadas (Tabela 1) e menor percentual de frações finas na composição granulométrica, houve um aumento na escala de α em relação à mistura BBTM abaixo de 600Hz, tendo sido atingidos picos de 0,60, e na frequência de 1000Hz o valor médio foi de 0,43 (Figura 7).

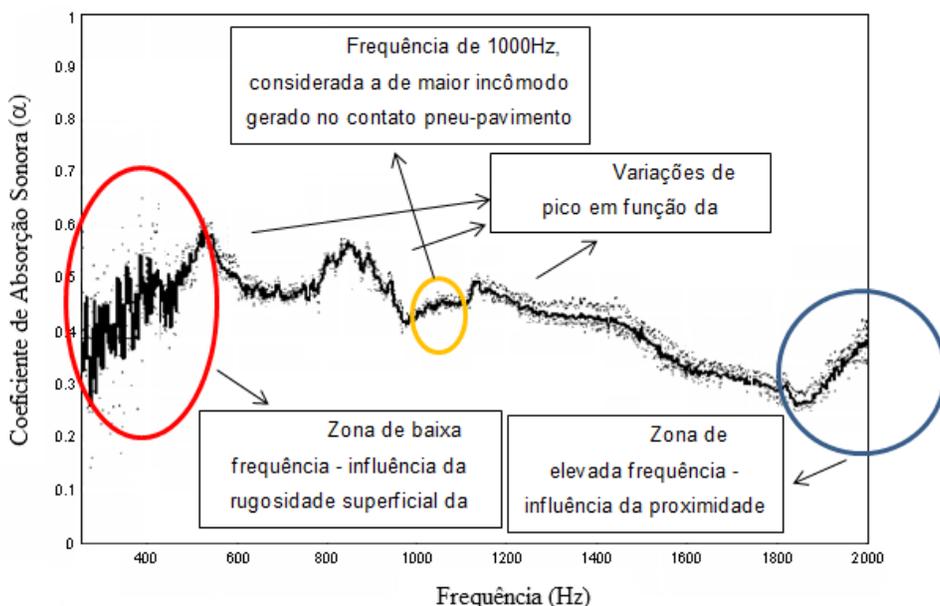


Figura 7 - Curva de absorção sonora em relação à frequência da mistura asfáltica BBDr.

Fonte: Autor (2020).

Entre 1800Hz e 1900Hz o α ficou situado em torno de 0,30, o que evidencia de forma reiterada que próximo à frequência de corte as perturbações sonoras na zona de captação geram incertezas nas medições executadas. Isto porque era de se esperar valores mais elevados para a BBDr.

Analisando os espectros frequenciais de todos os conjuntos testados, tem-se que os resultados obtidos estão coerentes com as características das misturas asfálticas testadas. Sendo assim, é possível estabelecer a seguinte ordem de classificação quanto ao nível de absorção sonora: BBDr (drenante) > BBTM (semi-densa) > BBSG (densa).

Em função de o processo de compactação pela metodologia Marshall ser muito severa em comparação com o processo de compactação por amassamento, presentes em outras metodologias, como a francesa por exemplo, o teor de vazios podem ser diminuído, afetando, por consequência a capacidade de absorção sonora das misturas

devido a intensidade do impacto empregado. Sendo assim, recomenda-se a confecção das amostras com procedimentos de compactação por amassamento para verificar a real capacidade de absorção sonora das misturas asfálticas.

4 | CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos, verificou-se que o processo de concepção das misturas asfálticas é um parâmetro fundamental no que diz respeito ao nível de absorção sonora, contribuindo para a propiciação de maior qualidade de vida dos usuários e moradores das áreas lindeiras, ou seja, próximo às rodovias, e em áreas urbanas, a partir da diminuição do ruído gerado no contato pneu-pavimento.

Neste contexto, tem-se que as composições granulométricas com característica semi-densa e aberta, como as misturas asfálticas BBTM e BBDr, sobretudo com presença de descontinuidades, geram aumento do teor de vazios na estrutura interna do material em relação às misturas densas (BBSG). O aumento do teor de vazios influencia de forma decisiva para o aumento da absorção sonora das misturas asfálticas, sobretudo na frequência crítica de 1000Hz no contato pneu-pavimento. Portanto, é mais recomendado este tipo de formulação em camadas de rolamento nas estruturas de pavimento.

Todavia, a distribuição aleatória dos vazios gerados na estrutura interna dos materiais é também fator crucial na variação dos picos de absorção sonora em um mesmo espectro de análise, devendo ser observado com cuidado em cada caso.

Em contrapartida, o ligante betuminoso parece não ser tão influente na capacidade de absorção sonora das misturas asfálticas testadas. As formulações BBTM e BBDr utilizaram a mesma matriz betuminosa (Poliflex 60/85), com o mesmo teor de dosagem (4,22%), bem como o diâmetro máximo da curva granulométrica (12,7mm), e apresentaram comportamento similar quanto aos níveis de absorção sonora.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15619**: Misturas asfálticas – Determinação da densidade máxima teórica e da massa específica máxima teórica em amostras não compactadas. 6 p. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

BARRA, B. S. **Avaliação da ação da água no módulo complexo e na fadiga de misturas asfálticas densas**. 2009. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

CALLAI, S. C. **Estudo do ruído causado pelo tráfego de veículos em rodovias com diferentes tipos de revestimentos e pavimentos**. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Departamento de Engenharias de Transporte, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

CLARA, E.; BARRA, B. S.; MOMM, L.; MIKOWSKI, A.; SANTOS, A. G. dos. Influência da utilização das cinzas de carvão em misturas asfálticas densas, *In*: CONGRESSO INTERNACIONAL DE ENGENHARIA AMBIENTAL. **Anais [...]** Porto Alegre, 23 a 28 de outubro de 2020. CD-ROM.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). **DNIT - ME 043:** Misturas betuminosas a quente: ensaio Marshall. Rio de Janeiro, 1995. 11 p. Disponível em: <http://ipr.dnit.gov.br/normas-e-manuais/normas/meetodo-de-ensaio-me/dner-me043-95.pdf>. Acesso em: 13 de jul. 2020.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). **DNIT - ES 145:** Pavimentação: Pintura de ligação com ligante asfáltico convencional. Rio de Janeiro, 2012. 7 p. Disponível em: http://ipr.dnit.gov.br/normas-e-manuais/normas/especificacao-de-servicos-es/dnit145_2012_es.pdf. Acesso em: 13 de jul. 2020.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). **Manual de Pavimentação.** Rio de Janeiro, 2006. 274 p. Disponível em: http://www1.dnit.gov.br/arquivos_internet/ipr/ipr_new/manuais/Manual%20de%20Pavimenta%E7%E3o_05.12.06.pdf. Acesso em: 13 de jul. 2020.

FAGUNDES, P. M. **Avaliação do comportamento funcional de misturas BBDr e BBTM.** 2020. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciências Mecânicas) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciências Mecânicas, Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, 2020.

KNABBEN, R. M. *et al.* Análise comparativa do ruído pneu-pavimento entre pavimento rígido e flexível através do Trailer-CPX . *In:* 32º CONGRESSO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTE DA ANPET. **Anais** [...] Gramado, 04 a 07 de novembro de 2018. Disponível em: http://www.anpet.org.br/anais32/documentos/2018/Aspectos%20Economicos%20Sociais%20Politicos%20e%20Ambientais%20do%20Transporte/Transporte%20e%20Meio%20Ambiente%20II/6_5_AC.pdf. Acesso em: 12 fev.2020.

Manuel LPC. **Manuel LPC d'aide à la formulation des enrobés.** Groupe de Travail RST "Formulation des enrobés". 199 p. Laboratoire Central des Ponts et Chaussées. Paris, France, 2007.

OBSERVATOIRE DU BRUIT EN LLE DE FRANCE. **Etat des lieux des performances acoustiques des revêtements de chaussées.** Dossier technique et pédagogique. 114 p. France, 2011.

OLIVEIRA, L. P. R. **Controle ativo de ruído em veículos e seu impacto na qualidade sonora.** 2007. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

SANDBERG, U.; J. A. EJSBOM. **Tyre/Road Noise reference book.** Sweden: Informex, 2002.

DESIGN FAILURE MODE AND EFFECTS ANALYSIS (DFMEA) OF THE ROD OF THE SUBSEA PIPELINE LOCKING SYSTEM IN AN OPEN PLET

Data de aceite: 25/05/2021

Data de submissão: 28/02/2021

Raphael Basilio Pires Nonato

CEFET/RJ, Mechanical Engineering
Department

Nova Iguaçu – RJ

<http://lattes.cnpq.br/9331089672178927>

Wesley Souza Gouvêa

CEFET/RJ, Mechanical Engineering
Department

Nova Iguaçu – RJ

<http://lattes.cnpq.br/5601658783880913>

ABSTRACT: One of the most important equipment in a subsea oil and gas production field is the PLET (pipeline end termination), which in its open configuration (open PLET) allows the locking of part of this pipeline at a time after the launch of the equipment itself. Based on preliminary analytical calculation and assumptions made, it was found that the critical component of this system is the locking rod, reason why, in addition to the mentioned calculation, a finite element analysis was performed, obtaining displacement and stress. However, the detection of the regions most susceptible to failure cannot be ruled out only by the calculated safety factors corresponding to these regions. To perform a more comprehensive mapping, a design failure mode and effects analysis (DFMEA) was conducted, resulting in an ordination of the critical regions of the studied component. As the main result, the DFMEA

presented the transition region between the thread rod and the slender cylinder as the critical one, both with regard to compression and torsion combined, as well as when the referred efforts are aggregated to the contact with the mobile pin thread.

KEYWORDS: DFMEA, FMEA, structural analysis, open PLET, subsea pipeline.

1 | INTRODUCTION

Fossil fuels are responsible for about 85% of world's energy consumption, being oil and gas representative of around 65% of fossil fuels. The exploration of these natural resources in deep and ultra-deep water depth (off shore) makes required process more expensive when compared to surface (on shore). From this perspective, there is a continuous search for cost reduction, mainly in what refers to installation and retrieval time, according to Bai and Bai (2012). Therefore, in the scope of this industry, the research plays an important role, highlighting the care to extract these products with the maximum efficiency (due to being a non-renewable resource) and safety (being operationally effective without failures).

1.1 Open PLET

In an improvement context, a newly developed version of the PLET is presented in an open configuration. The main difference between the open PLET and the conventional

one (see Figure 1) is that in the former the pipeline and the open PLET are installed separately (the pipeline is installed on the seabed and posteriorly the open PLET is installed, or the PLET can be installed first, waiting for the lowering of the pipeline). No matter the selected sequence, at the end of installation, the pipeline will be locked in the open PLET by the locking system. This type of configuration is employed mainly in situations where the loads imposed by the environment on the conventional PLET are estimated to be very high or when the weight of the PLET may damage the seabed in the installation.

The design of the equipment intrinsically addresses the restrictions about the possible installation methods of the pipeline. In Figure 2, in the first step, the pipeline is vertically lowered and landed on the seabed (the open PLET is subsequently lowered). The second step consists of landing the PLET over the pipeline. Third step is the axial fine adjustment between the two. The fourth step is the pipeline lifting to fit in the receptacle of the PLET. The last step is the locking of the pipeline in the operational position via the four mechanical lock assemblies.

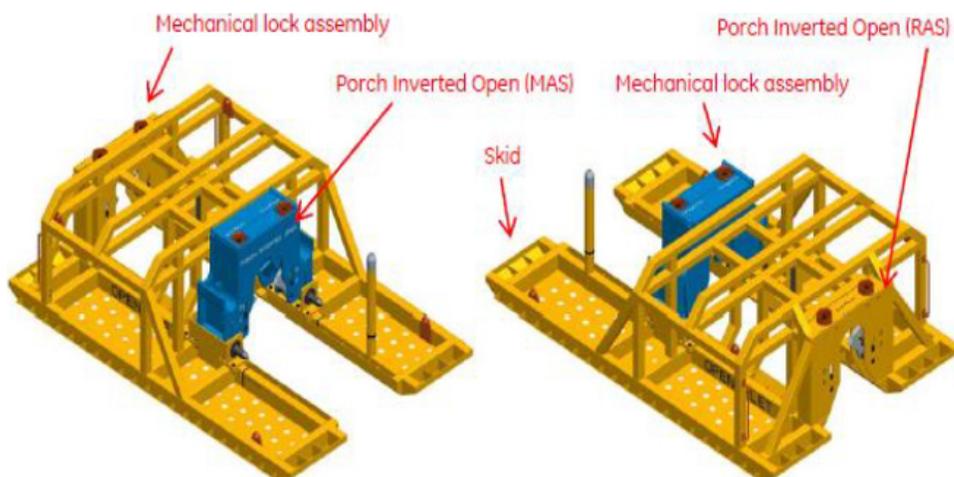


FIGURE 1. Main components of an open PLET.

Source: adapted from Thorsen (2012).

The rear alignment structure (RAS) and the main alignment structure (MAS) are designed to provide orientation, alignment and vertical locking of the pipeline. The former receives the pipeline in the rear part (inlet) of the open PLET, while the latter is where the outlet of the pipeline is locked. There are two mechanical lock assemblies at each alignment structure, totalizing then four mechanical lock assemblies in an open PLET. The skid refers to the structure itself to house the locking system, support, and transfer all the loading to the seabed.

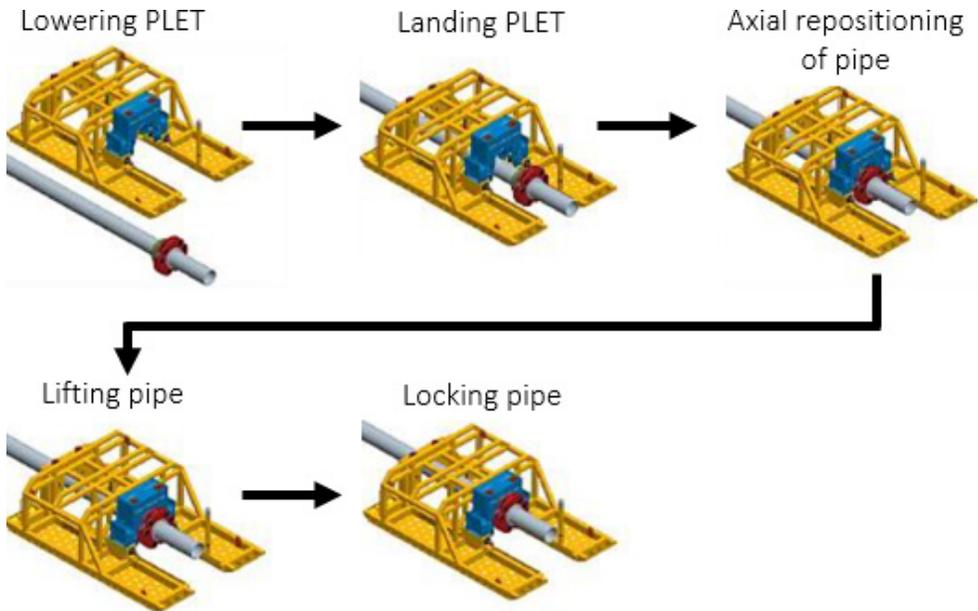


FIGURE 2. Steps for installation of a pipeline in an open PLET.

Source: adapted from Thorsen (2012).

Upon this open PLET configuration and coherently with the installation sequence, the pipe locking step (last step in Figure 2) requires a subsystem to lock (or unlock in the case of retrieval of the equipment), which is shown in Figure 3, highlighting its main components. In order to operate the mechanical lock assembly, a torque tool and a remotely operated vehicle (ROV) are required. The former is the tool responsible to apply directly the torque on the hex interface to activate the entire locking mechanism and the latter is the referred robot to operate the torque tool.

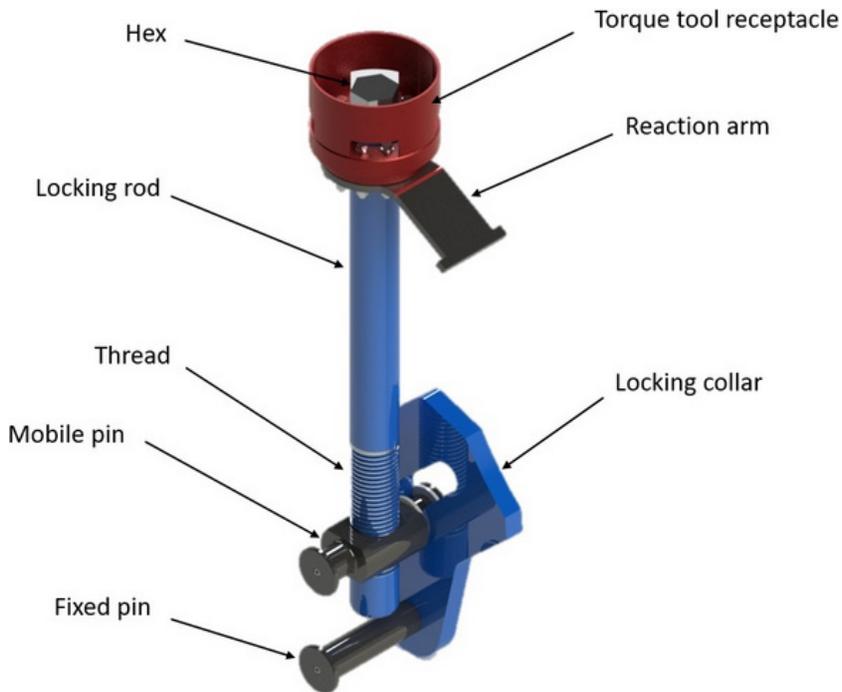


FIGURE 3. Main components of the mechanical lock assembly.

Source: own authorship (2020).

The torque tool receptacle is responsible to keep the hex end of the locking rod protected from accidental loads and allow the first alignment of the torque tool during loosening or tightening operations. It also has a reaction arm attached to it in order to lock the rotation due to its contact with other parts of the structure. The fixed pin supports the rotation of the locking collar and the mobile pin is reciprocal to the locking rod, pushing the locking collar to rotate and lock the pipeline in its position. Finally, the locking rod is responsible to transmit the work done by the torque tool to the locking collar through the mobile pin. The locking rod is the object of calculation of this paper. Its possible working positions are shown in Figure 4.

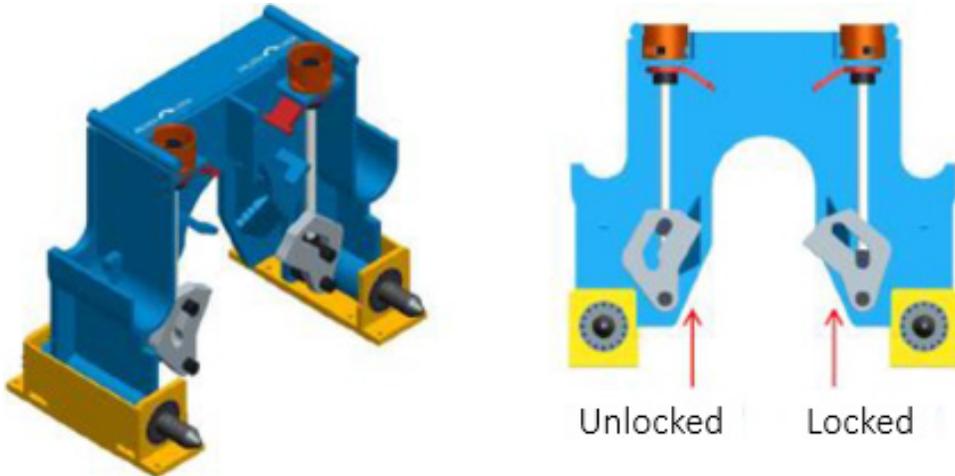


FIGURE 4. Working positions of the locking system.

Source: adapted from Thorsen (2012).

1.2 Design Failure Mode and Effects Analysis (DFMEA)

According to Stamatis (2003), FMEA consists of an engineering technique mainly used to define, identify, and eliminate known and/or potential failures, errors, etc. in systems, designs, processes and/or services before they are delivered to the customers, which requirements must be attended. It is widely employed in the most diverse types of industries due to its applicability and potential to generate financial return. As mentioned by Peeters et al. (2018), it is a bottom-up method, since the analysis starts from the component level to the assembly. It is also used for reducing the potential failures, therefore increasing reliability (Liu et al., 2013). In addition, from a strategic point of view, FMEA provides enough information to support risk management decisions (Jacoby, 2012).

The whole process is conducted at first mapping all the failure modes and their corresponding effects. Thenceforth, for each failure mode a grade is attributed in the following categories: (a) severity; (b) occurrence; and (c) detection. For each category, a table is commonly used to relate a description to a grade. The risk priority number, RPN, is therefore generated by multiplying the grades from the three categories, as mentioned by McDermott et al. (2008) in Equation 1, where S stands for severity (see Table 1), O for occurrence (see Table 2), and D for detection (see Table 3):

$$RPN = S O D. \quad (1)$$

In order to clarify the descriptions of Tables 1 and 3, some terms employed must be enlightened. The word “customer” in Table 1 may have different meanings. For example, if a company has only the design as scope of work, then the customer is outside. However, if

the referred company also covers post-design processes such as manufacturing, assembly, testing, painting, etc., then the customer is inside the company itself. Supplier means the design team or members, whereas performance in design refers to evaluation in a simulation or calculation. The context of the word “product” refers to the virtual product created in computer softwares.

Severity Categories	
Description	Grade
The discrepancy is imperceptible by the customer.	1
The discrepancy is insignificant.	2
Customer dissatisfied, with slight effect on product.	3
Customer dissatisfied, communication with the supplier, modifications necessary.	4
Customer complains, with moderate effect on product performance.	5
Failure of at least one subsystem, impairing functionality.	6
Customer now considers an alternative supplier, if it is possible.	7
The product is not functioning.	8
Critical effect on customer satisfaction with threat to property.	9
Threat to life; company image under risk. Failure occurs suddenly.	10

TABLE 1. Severity categories adopted.

Source: adapted from Stamatis (2003).

Occurrence categories		
Probability (%)	Description	Grade
0 – 20	Failure does not occur or the chance is low.	2
21 – 40	The failure probability is lower than that of not occurring.	4
41 – 60	The probability of occurrence of failure is a little lower, equal, or a little higher than that of not occurring.	6
61 – 80	The failure probability is much greater than that of not occurring.	8
81 – 100	The failure is almost a natural consequence of the design.	10

TABLE 2. Occurrence categories adopted.

Source: own authorship (2020).

Detection categories		
Phase	Description	Grade
Initial specification	Failure to understand customer specifications/standards.	1.25
Preliminary calculation	Failure in calculation to provide initial dimensions (proportionality between components).	2.5
Conceptual design	Failure occurs when the concepts and functioning of the product are defined.	3.75
Calculation	Failure in calculation to provide almost definitive design dimensions.	5
Detailed design	Failure when providing dimensions, material, surface finish, geometrical characteristics, etc. to the product.	6.25
Virtual assemblage test	Failure to virtually assembly all the components under the information provided.	7.5
Design verification	Failure detected in the verification process related to the work done up to this stage.	8.75
Design approval	Failure detected in the approval process related to the work done up to this stage.	10

TABLE 3. Detection categories adopted.

Source: own authorship (2020).

Research related to FMEA has been conducted all over the years, even with little emphasis on DFMEA. Peeters et al. (2018) combined FMEA with fault tree analysis (FTA) in an additive manufacturing system. Mashaqbeh et al. (2019) proposed a method to optimize FMEA through an application in a power plant. Kulcsár et al. (2020) introduced a pairwise comparison based FMEA which allows the estimation of indices of the previously not evaluated risks.

Related specifically to DFMEA, Chang and Wen (2010) proposed a novel approach for DFMEA (combining 2-tuple and the ordered weighted averaging, OWA, operator). Nonato and Pastoukhov (2012) implemented DFMEA calculation on a structural frame similar to a PLET. Tamaldin et al. (2013) performed a design optimization of a vehicle system using DFMEA and other analyses. Torres et al. (2018) created a probabilistic Boolean network modeling and model check as surrogate approach for DFMEA of manufacturing systems.

2 | MATERIALS AND METHODS

The analysis of the locking rod was made considering that the process is isothermal and isochoric, the material is homogeneous and isotropic, and that Saint Venant's principle is observed (concentration factors are taken into account). The material of the locking rod is the AISI 4130, normalized at 870°C, exception made for the hex part and for the thread, which are suddenly cold when the heating reaches 855°C (quenching process). The material

properties of this component are presented in Table 4.

Quantity		Magnitude		Magnitude
Brinell hardness (HB)	NORMALIZED PART	163	QUENCHED PART	241
Ultimate tensile strength (MPa)		615		841
Yield tensile strength (MPa)		400		655
Modulus of elasticity (GPa)		205		205
Poisson's ratio		0.29		0.29
Elongation at break (%)		27.0		20.5
Reduction of area (%)		61.2		63.6

TABLE 4. Locking rod material properties (AISI 4130). Source: Matweb (2020).

2.1 Free Body Diagram

This diagram is made to input the analytical calculation and the finite element analysis performed to output the DFMEA. The particular situation in which this design is performed occurs at exact moment of the pipeline locking. This can be described by the torque tool applying its maximum torque on the locking rod, besides the existence of the weight force from the assembly composed by the torque tool and ROV (considered partially). The complete free body diagram is shown in Figure 5, in which the nomenclature is understood as follows: variables initiating with letter “D” stand for diameters; “F” for forces; “L” for lengths; and “M” for moments, which values (geometrical and loading) are listed in Table 5. The values contained in this table are only magnitudes, not reflecting the vector representation related to the coordinate axes. For details about directions, refer to Figure 5.

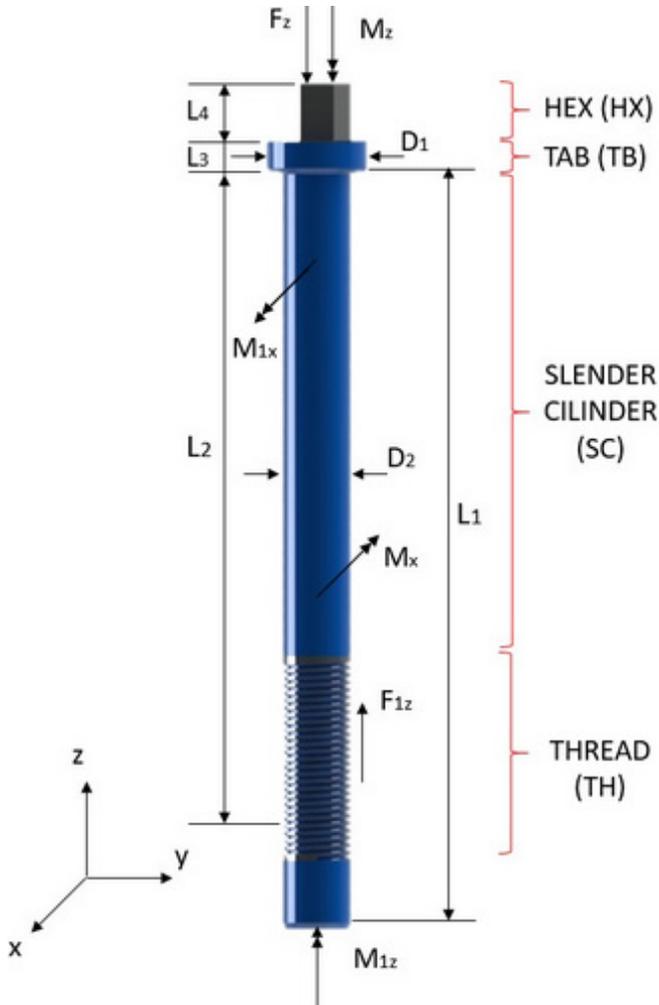


FIGURE 5. Free body diagram of the locking rod.

Source: own authorship (2020).

GEOMETRICAL	Quantity	Magnitude (mm)	LOADING	Quantity	Magnitude
	Length L_1	1300.0		Force F_z	4542 N
	Length L_2	1183.0		Force F_{1z}	4542 N
	Length L_3	50.000		Moment M_{1x}	91771852.5 Nmm
	Length L_4	100.00		Moment M_x	91771852.5 Nmm
	Diameter D_1	138.00		Moment M_z	2700000 Nmm
	Diameter D_2	114.30		Moment M_{1z}	2700000 Nmm

TABLE 5. Values of the geometrical and loading quantities.

Source: own authorship (2020).

The force F_z comes from the partially considered weight of the ROV and the full weight of the torque tool from up above in the operation. The torsional moment M_z is transferred to the locking rod via torque tool. The moment M_x originates due to the weight of the pipeline on the collar and the distance between the mass center of the pipeline and the center of the mobile pin. The other loadings are reactions due to F_z , M_x , and M_z . The reaction F_{1z} is caused directly by F_z when the locking rod thread touches the mobile pin thread, i.e. it is due to the threaded connection of the mobile pin (when the pipeline lands over the locking collar, the latter intends to lower the mobile pin and the locking rod). The reaction moment M_{1x} is due to a support in the structure, preventing the upper part of the slender cylinder to bend. The moment M_{1z} concerns the impossibility to rotate locking rod related to the mobile pin via threaded interface.

2.2 Analytical Calculation and Finite Element Analysis (FEA)

The analytical calculation was performed by applying the classical solid mechanics formulation for stresses and safety factors for ductile materials. The stress concentration phenomenon was taken into account by the stress concentration factor associated to the mean actuating stress, selecting the most suitable concentration factors available for the geometrical transitions found in this design. The infinitesimal elements selected are potentially the most critical and are under plane stress state. These elements are located at: (a) transition between hex and tab, but at hex; (b) the edge of the torque tool touches the edge of the hex; (c) periphery of the cylindrical surface of the tab; (d) lower surface of the tab; (e) transition between the slender cylinder and the tab, but at the slender cylinder; (f) mid-span of the slender cylinder; (g) transition between the slender cylinder and thread, but at the thread; (h) thread flank.

The main equations applied in this work are compression, torsion, bending, contact stresses, and critical load from buckling, which are expressed, respectively, by Equations 2, 3, 4, 5, and 6:

$$\sigma_{COM} = \frac{F}{A}, \quad (2)$$

$$\tau_T = \frac{M_T r}{I_P}, \quad (3)$$

$$\sigma_B = \frac{M_B y}{I}, \quad (4)$$

$$\sigma_C = \frac{F_C}{A_P}, \quad (5)$$

$$F_{CRI} = K_B \left(\frac{\pi}{L} \right)^2 E I, \quad (6)$$

in which F is the force normal to the analyzed plane, and A is the area under

compression (which normal to the plane under analysis is parallel to the compression force vector and opposite in direction to it). M_T is the torsional moment, r is the radius of the region under torsion, and I_P is the polar moment of inertia. The bending moment is M_B , the distance between the neutral axis and the point to calculate is y , and I is the moment of inertia related to the rotation axis. F_C is the contact force and A_P is the area of a component projected on the other. $K_B = 1$ (one end fixed, the other articulated) is the support condition for buckling, F_{CR1} is the critical load magnitude to provoke the buckling phenomenon, L is the length under buckling, and E is the elasticity modulus.

The combination of stresses is made when and where necessary to compose the principal stresses in plane stress state. These principal stresses are introduced in von Mises failure criterion to calculate the safety factor N (Equation 7) of each infinitesimal element mentioned based on yield strength.

$$N = \frac{S_Y}{\left(\sigma_1^2 + \sigma_2^2 - \sigma_1\sigma_2\right)^{\frac{1}{2}}}, \quad (7)$$

After the analytical calculation, a finite element analysis (FEA) was performed in Ansys® software. The results are given in terms of displacements and stresses. The analysis followed the free body diagram, in which material parameters were taken from Table 4, and geometrical and loading parameters were extracted from Table 5.

3 | RESULTS AND CONCLUSIONS

The free body diagram shown in Figure 5 and the data contained in Tables 4 and 5 were input for the calculation performed. The finite element analysis performed is represented graphically in Figure 6 (mesh adopted, and stress in hex and tab regions), Figure 7 (stress in transition from the slender cylinder to the thread, and displacement in hex and tab regions). The edge sizes of the largest and the smallest of the tetrahedral finite elements employed are 7.5 and 2.5 mm, respectively (using the curvature-based mesh).

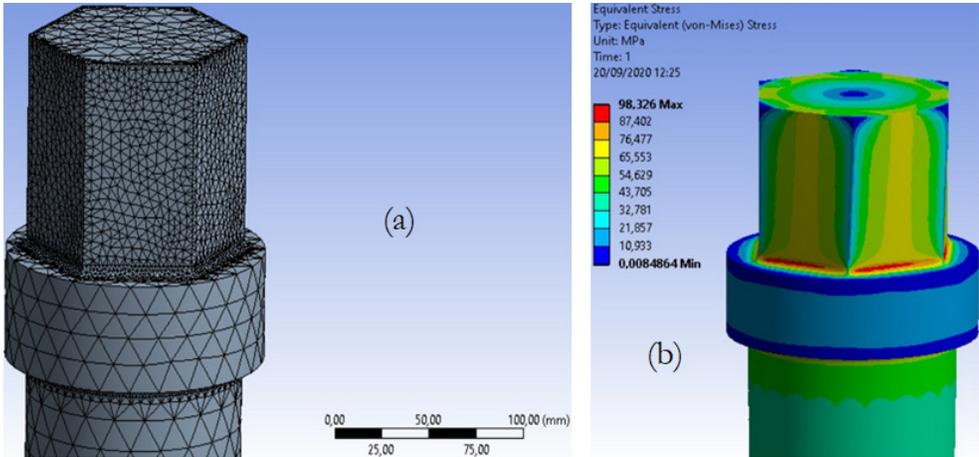


FIGURE 6. (a) Mesh in hex and tab regions of the locking rod; (b) Stress in hex and tab regions of the locking rod.

Source: own authorship (2020).

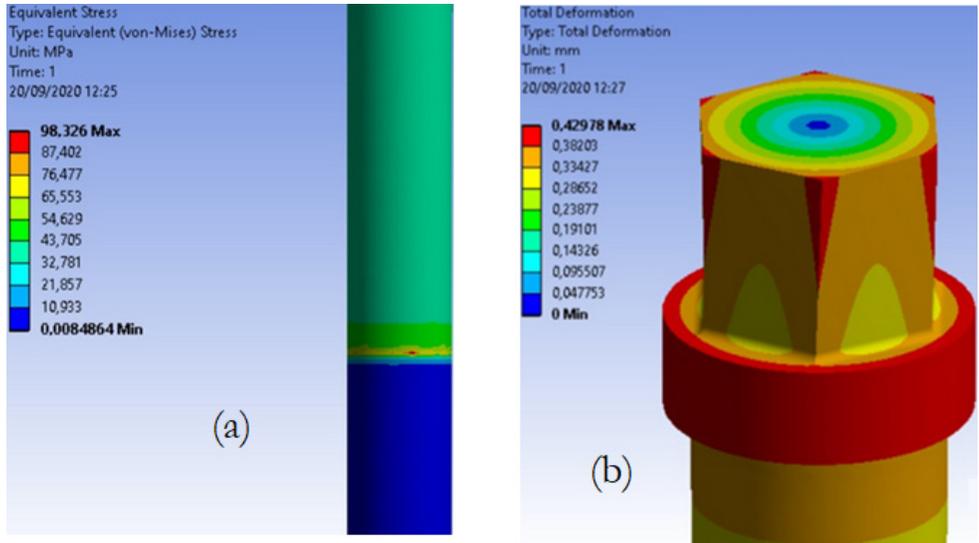


FIGURE 7. (a) Stress in transition between the slender cylinder and the thread of the locking rod; (b) Displacement in hex and tab regions of the locking rod.

Source: own authorship (2020).

For simplification purposes and highlighting the focus on the output DFMEA, the analytical calculation is summarized by the safety factors of each region of the locking rod. The proposed initial design could not support the bending moment M_x from the pipeline weight acting over the rod. Therefore, a new design had to be proposed, eliminating the bending moment by the addition of a support plate behind the rod. Besides the desired effect, a friction coefficient equal to 0.12, as indicated by Stachowiak and Batchelor (2013)

between the rod and the plate surfaces now exist, generating a resistant torque and an axial force not present in the old design. The safety factors for the old and new designs are presented in Table 6. It can be noted that the situation in which combined stresses (compression, torsion, and bending) in the slender cylinder result in a safety factor of 0.637 in the old design, which is obviously not acceptable. Adding the referred plate to the design, a new safety factor of 5.711 results, besides also changing the safety factors corresponding to the other regions analyzed. The possible effects related to the failure modes identified in Table 6 are listed in Table 7.

Region of the locking rod	Type of stress or phenomenon	Code of failure mode	Old safety factor	New safety factor
Hex	Compression and torsion	1	15.963	8.535
	Contact	2	14.846	8.022
Tab	Compression and torsion	3	43.825	23.327
	Contact	4	408.004	41.414
Slender cylinder	Compression, torsion, and bending	5	0.637	8.257
	Buckling	6	2209.124	224.232
Thread	Compression and torsion	7	12.626	6.725
	Contact	8	309.713b	31.437

TABLE 6. Safety factors for the old and new designs.

Source: own authorship (2020).

It is important to note that, although the safety factors corresponding to the new design are relatively high, one of the most important premises of oil and gas industry (besides efficiency and safety) is the maintenance frequency. In other words, during the expected operational life, it is not desired to retrieve the equipment from its operation, for example, to perform maintenance, no matter how small or simple it may be. Other reasons undergo the uncertainties related to every information related to the design (estimations, assumptions, considerations, etc.).

Effect	Code of effect
Instability condition	1
Inutilization (substitution is required)	2
Significant geometry change	3
Warpage	4
Plastification	5
Ovalization	6

Flattening	7
Buckling	8
Functionality loss (repair is possible)	9
Additional difficulty to function	10

TABLE 7. Effects related to the failure modes and their codes.

Source: own authorship (2020).

The DFMEA was performed based on the new design assumed (presented in Table 8). As can be noted, in terms of failure and effects, the critical region is the thread. This is mainly explained by the fact that the stresses amplify their magnitudes in the transition from the slender cylinder to the thread, which is a common stress concentration region. Any damage to the thread may imply strong difficulty in locking system operation or even the loss of functionality. The second most critical region is the slender cylinder, according to the results of the DFMEA performed here (Table 8). The stress concentration phenomenon is present at both ends (interface with the thread and the tab). Because it is the most slender region, buckling was checked. In the third position, the hex region may be geometrically mangled, making hexagonal fitting difficult with the torque tool. Therefore, the efficiency and efficacy of the operation may not be achieved.

From this perspective, if the failure occurs, the region corresponding to the transition between the thread and the slender cylinder will be the most critical, producing the effect of making the locking mechanism inoperable. If the damage allows the pipeline to be locked in its working position, the open PLET may even operate as it is. Otherwise, extra time and money will be spent in the substitution of the mechanical lock assembly to recover the equipment functionalities.

Code of failure modes	Effects	Severity	Occurrence	Detection	RPN	Aggregated RPN
1	3, 4, 7, 10	5	4	3.75	75	105
2	5	2	4	3.75	30	
3	4, 5, 6, 7	1	2	2.5	5	10
4	5, 7, 10	1	2	2.5	5	
5	5, 7	8	4	5	160	250
6	1, 3, 4, 5, 6, 8, 10	9	2	5	90	
7	2, 3, 5, 9	9	6	6.25	338	412.5
8	5	6	2	6.25	75	

TABLE 8. DFMEA of the locking rod.

Source: own authorship (2020).

REFERENCES

BAI, Y.; BAI, Q. **Subsea Engineering Handbook**. Elsevier, Amsterdam, Netherlands, 908 p., 2012.

CHANG, K.-H.; WEN, T.-C. **A novel efficient approach for DFMEA combining 2-tuple and the OWA operator**. Expert Systems with Applications, v. 37, p. 2362-2370, 2010.

JACOBY, D. **Optimal supply chain management in oil, gas, and power generation**. PennWell, Tulsa, USA, 290 p., 2012.

KULCSÁR, E.; CSISZÉR, T.; ABONYI, J. **Pairwise comparison based failure mode and effects analysis (FMEA)**. MethodsX, v. 7, p. 1-8, 2020.

LIU, H. C.; LIU, L.; LIU, N. **Risk evaluation approaches in failure mode and effects analysis: a literature review**. Expert Systems with Applications, v. 40, n. 2, p. 828-838, 2013.

MASHAQBEH, S. A.; MUNIVE-HERNANDEZ, J. E.; KHAN, M. K. **Using EWGM method to optimize the FMEA as a risk assessment methodology**. Concurrent Engineering Research and Applications, v. 27, n. 2, p. 144-154, 2019.

MATWEB: **Material properties of AISI 4130 normalized at 870°C**. Available in: <<http://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=c2decafd41b94684bf6f9114ff3cb661&ckck=1>>. Access on: 13 may. 2020.

MATWEB: **Material properties of AISI 4130 water quenched at 855°C**. Available in: <<http://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=ac4f5d5520754966925563d4437e07a6>>. Access on: 13 may. 2020.

McDERMOT, R. E.; MIKULAK, R. J.; BEAUREGARD, M. R. **The Basics of FMEA**. Productivity Press, New York, USA, 75 p., 2008.

NONATO, R. B. P.; PASTOUKHOV, V. **Análise de Efeitos e de Modos de Falhas de Projetos (DFMEA) Aplicada a um Pórtico Espacial Metálico Visando à Otimização**. Proceedings of the 10th Symposium of Computational Mechanics (SIMMEC), Belo Horizonte, Brazil, pp. 1-15, 2012.

PEETERS, J. F. W.; BASTEN, R. J. I.; TINGA, T. **Improving failure analysis efficiency by combining FTA and FMEA in a recursive manner**. Reliability Engineering and System Safety, v. 172, p. 36-44, 2018.

STACHOWIAK, G.; BATCHELOR, A. **Engineering Tribology**. Butterworth-Heinemann, Oxford, England, 884 p., 2013.

STAMATIS, D. H. **FMEA from Theory to Execution**. Quality Press, Milwaukee, USA, 686 p., 2003.

TAMALDIN, N.; YAMIN, A. K. M.; ABDOLLAH, M. F. B.; AMIRUDDIN, H.; ABDULLAH, M. A. **Design optimization of thermal management system for electric vehicle utilizing CFD analysis, DFMEA and CES**. Procedia Engineering, v. 68, p. 305-312, 2013.

THORSEN, S. **Conceptual Design and Review of Open PLET System**. Master's thesis in Mechanical Engineering – University of Stavanger, 172 p., 2012.

TORRES, P. J. R.; MERCADO, E. I. R.; RIFÓN, L. A. **Probabilistic Boolean network modeling and model checking as an approach for DFMEA for manufacturing systems**. J. Intell. Manuf., v. 29, p. 1393-1413, 2018.

ANÁLISE COMPARATIVA DE OPÇÕES PARA A DISTRIBUIÇÃO DE CORDOALHAS EM LAJES LISAS PROTENDIDAS SEM ADERÊNCIA

Data de aceite: 25/05/2021

Data de submissão: 25/03/2021

Anselmo Leal Carneiro

Universidade Federal do Rio de Janeiro -
Campus Macaé, Engenharia Civil
Macaé - Rio de Janeiro
<http://lattes.cnpq.br/3303416737276543>

Lorenzo Augusto Ruschi e Luchi

Universidade Federal do Espírito Santo,
Departamento de Engenharia Civil
Vitória – Espírito Santo
<http://lattes.cnpq.br/1673469347273305>

RESUMO: Este trabalho discute o projeto de lajes lisas protendidas sem aderência com relação aos modos de distribuição dos feixes de cordoalhas no pavimento. Para tanto, propõe-se um pavimento onde os feixes de cordoalhas são distribuídos de três modos, à saber: distribuídos de forma uniforme nas duas direções; distribuídos em faixas nas duas direções; e distribuídos de forma uniforme em uma direção e concentrados sobre os pilares na outra. Comparam-se os momentos fletores e os deslocamentos das cargas equivalentes na laje, mediante a análise por analogia de grelha. Realiza-se o pré-dimensionamento da armadura ativa pelo método de balanceamento de cargas para então se considerar a protensão na análise por meio de cargas equivalentes lineares que são inseridas manualmente nos modelos de grelha. Verificou-se que a distribuição dos feixes de cordoalhas

do modo concentrados e uniformes foi o mais adequado do ponto de vista de distribuição dos momentos fletores na laje.

PALAVRAS-CHAVE: Protensão sem aderência, laje lisa, carregamento equivalente, distribuição das cordoalhas.

COMPARATIVE ANALYSIS OF OPTIONS FOR TENDON LAYOUTS IN POST-TENSIONED FLAT SLAB SET WITH UNBONDED TENDONS

ABSTRACT: This work discusses the design of post-tensioned flat slab set with unbonded tendons with relation to the modes of tendon layouts. For that, a floor is proposed where the tendons are distributed in three ways: distributed uniform in both directions; distributed in bands in both directions; and uniform distributed in one direction and concentrated on the pillars in the other. It compares the bending moments and floor displacements of the equivalent loads on the slab. The analysis occurs by means of grid analogy. The pre-design of the tendons is performed by the load balancing method so that the post-tension is considered in the analysis by means of linear equivalent loads that are inserted manually in the grid models. It was found that the distribution uniform in one direction and concentrated on the pillars in the other was the most adequate from the point of view of distribution of the bending moments on the slab.

KEYWORDS: Unbonded post-tension, flat slab, equivalent loads, tendon layout.

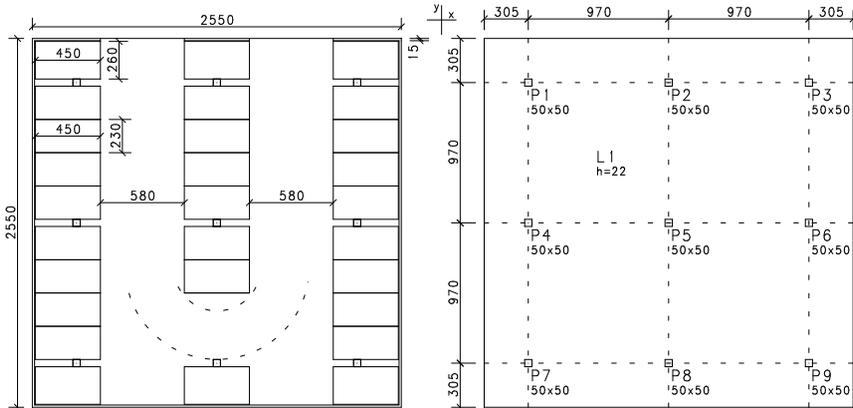
1 | INTRODUÇÃO

O sistema de lajes lisas protendidas sem aderência tem-se tornado amplamente utilizado em edificações, quando se pretende vencer, com segurança, maiores vãos, sem deixar de lado praticidade na construção e economia na estrutura. O objetivo deste trabalho é discutir opções para distribuição dos feixes de cordoalhas em projetos de lajes lisas protendidas sem aderência. Para tanto, se utiliza um pavimento proposto (Figura 1) considerando três configurações de distribuições, à saber: distribuídos uniformemente nas duas direções; distribuídos em faixas nas duas direções; e distribuídos uniformemente em uma direção e concentrados sobre os pilares na outra. Comparam-se os momentos fletores e os deslocamentos das cargas equivalentes de protensão na laje.

A análise ocorre por meio da analogia de grelha utilizando-se o sistema Grelha-TQS. Realiza-se o pré-dimensionamento da armadura ativa pelo método de balanceamento de cargas para então se considerar a protensão na análise por meio de cargas equivalentes lineares que são inseridas manualmente nos modelos de grelha. Assim, o módulo de lajes protendidas do programa TQS não é utilizado, de modo que metodologia apresentada independe de recursos pré-estabelecidos em programas computacionais comerciais.

2 | CARACTERÍSTICAS DA LAJE ANALISADA

A espessura da laje (h) foi obtida por $L/45$, onde L é o vão da laje, de acordo com Nawy (2003), que corresponde à 22 cm para o pavimento analisado (Figura 1). Para os carregamentos considera-se o peso próprio $g_1 = 5,5$ kN/m², revestimento $g_2 = 2,0$ kN/m², acidental $q = 3,0$ kN/m² e alvenaria de 1,50 m de altura no contorno $g_3 = 2,7$ kN/m. Considera-se classe de agressividade ambiental II (moderada) com adequado controle de qualidade e rígidos limites de tolerância da variabilidade das medidas durante a execução. Desse modo, adota-se 3 cm para o cobrimento das cordoalhas de protensão. O concreto utilizado é o C30 (resistência característica à compressão aos 28 dias $f_{ck} = 30$ MPa) que apresenta módulo de deformação secante aos 28 dias $E_{cs} = 27000$ MPa. A armadura ativa utilizada é a cordoalha de sete fios engraxada e plastificada CP 190 RB 12,7 com diâmetro nominal $\phi_p = 12,7$ mm, área de aço nominal $A_p = 98,7$ mm², massa linear de 0,88 kg/m, carga de escoamento convencional $R_{pyk} = 168,6$ kN (referente à 1% de alongamento) e carga de ruptura $R_{ptk} = 187,3$ kN.



NOTA: COTAS E DIMENSÕES EM CENTÍMETROS

Figura 1 – Pavimento garagem

Para elevação das cordoalhas, considera-se o perfil parabólico (Figura 2) com 10% do vão ou balanço para o ponto de inflexão, onde as elevações indicam a distância do eixo da cordoalha à face inferior da laje. De acordo com a ABNT NBR 6118 (2014), a tensão da armadura de protensão na saída do aparelho de tração (σ_{pi}) deve obedecer aos limites máximos de $0,88f_{pyk}$ e $0,8f_{ptk}$, onde f_{pyk} é a tensão de escoamento convencional e f_{ptk} é a tensão de ruptura. No exemplo, σ_{pi} resulta em 1518 MPa. Dessa forma, a força inicial considerada na cordoalha é de 150 kN ($151,8 \cdot 0,987 \approx 150$ kN). O cálculo das perdas médias resultou em aproximadamente 6% para as perdas imediatas e 14% para as perdas progressivas, totalizando 20% de perdas, conforme se verifica em Carneiro (2015). Dessa forma, considera-se 120 kN para a força na cordoalha no tempo “infinito” (P_{∞}), após todas as perdas.

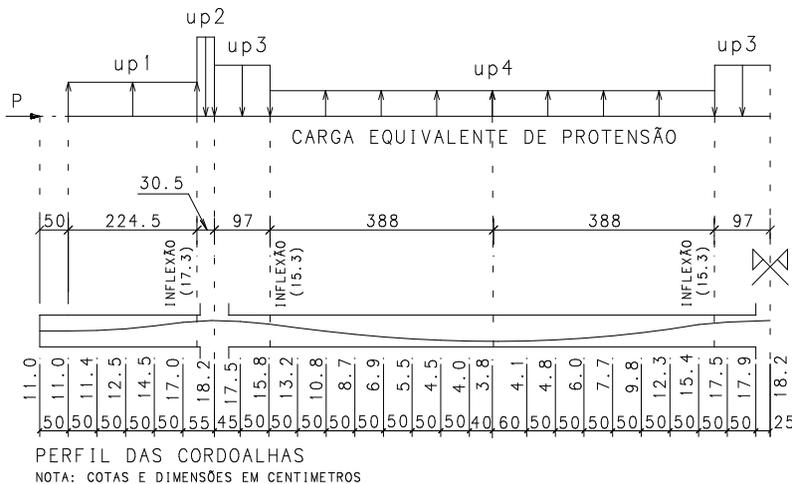


Figura 2 – Perfil (elevação) das cordoalhas e indicação do carregamento equivalente

Sendo “P” a força na cordoalha, “f” a flecha do perfil da cordoalha (diferença de elevação do trecho analisado) e “l” o comprimento do trecho de parábola do perfil, o carregamento equivalente de protensão “ u_p ” é dado pela expressão (1), conforme indicado por Lin e Burns (1981).

$$u_p = \frac{8Pf}{l^2} \quad (1)$$

Em geral, utilizam-se agrupamentos de cordoalhas denominados feixes, que podem constituir grupos de duas, três ou quatro cordoalhas. A Tabela 1 apresenta o carregamento equivalente (u_p), auto equilibrado, de acordo com a Figura 2, para feixes de duas e três cordoalhas no tempo “infinito”. A convenção é que o carregamento positivo atua no sentido gravitacional. Foi utilizada a expressão (1) com $l=2l_s$, onde l_s corresponde aos comprimentos dos trechos de semiparábolas (cotas horizontais na Figura 2).

u_p (kN/m)	u_{p1}	u_{p2}	u_{p3}	u_{p4}
feixes de 2 cordoalhas	-6,00	46,44	14,79	-3,67
feixes de 3 cordoalhas	-9,00	69,66	22,19	-5,50

Tabela 1 - Cargas equivalentes de protensão por feixe após todas as perdas

3 | ANÁLISE DA LAJE

3.1 Método da grelha equivalente

O processo de analogia de grelha substitui a placa (laje) por uma grelha equivalente bidirecional composta de elementos de barra. O método de analogia de grelha permite inserir os carregamentos equivalentes no modelo, onde, de fato, estão localizados os feixes de cordoalhas na laje. Para cada feixe de cordoalha, são inseridas as cargas equivalentes lineares da Tabela 1. Para modelagem e resolução da grelha, utiliza-se o sistema Grelha-TQS com barras espaçadas em 50 cm, onde os carregamentos equivalentes de protensão foram inseridos manualmente no modelo. Assim, a metodologia utilizada neste trabalho é independente de recursos pré-estabelecidos em programas computacionais comerciais de lajes protendidas.

Em lajes lisas modeladas como grelhas, a análise a flexão é realizada por meio de regiões (faixas) da laje. Em geral, são determinados os momentos médios das barras da grelha contidas nas regiões. Nesse trabalho, utilizam-se as faixas conforme se indica na Figura 3 (faixas dos apoios e faixas centrais de acordo com o método dos pórticos múltiplos), de modo a comparar os momentos fletores na laje. No método dos pórticos múltiplos a faixa do apoio é compreendida pelo eixo do pilar acrescida de um quarto do vão para cada lado e o restante do painel da laje é considerado como faixa central.

Em cada faixa da Figura 3 são obtidos os valores médios de momento fletor por metro da laje nas direções x e y. As regiões A e C representam a faixa dos apoios (faixas externas no método dos pórticos múltiplos) e a região B representa a faixa central (faixas internas no método dos pórticos múltiplos). O esquema do diagrama de momentos fletores para as faixas na direção y está indicado na Figura 3.

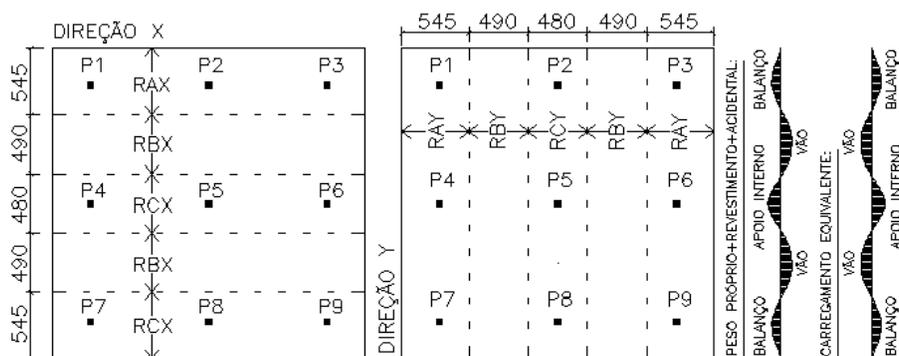


Figura 3 – Faixas utilizadas para a comparação dos momentos fletores (dimensões em centímetros)

3.2 Cálculo da quantidade de cordoalhas

Conhecido o perfil da cordoalha, a expressão (1) possibilita determinar a força de protensão “P” por metro de laje necessária para equilibrar determinada parcela “ q_b ” da carga externa aplicada por metro quadrado de laje. Aalami e Jurgens (2003) orientam balancear entre 60% e 80% da carga permanente, considerando o carregamento externo integralmente para cada direção da laje. Escolhendo o balanceamento de 60% da carga permanente, deve-se balancear a carga distribuída de 4,5 kN/m² e a carga linear de alvenaria do balanço de 1,62 kN/m. Assim, para uma faixa de largura unitária (1 m), a força de protensão necessária, de acordo com a expressão (1), com $q_b = u_p$ e $l = 2l_s$, é dada pela Tabela 2.

No balanço	No vão
$\frac{\left(4,5 + \frac{1,62}{2,245}\right) \cdot (2,245)^2}{8 \cdot (0,173 - 0,11)} \cong 209 \text{ kN/m}$	$\frac{4,5 \cdot (2,388)^2}{8 \cdot (0,153 - 0,038)} \cong 295 \text{ kN/m}$

Tabela 2 - Força de protensão (P_{∞}) necessária, por metro de laje, para balanceamento de 60% da carga permanente

Deve-se adotar “ P_{∞} ” como sendo o maior valor obtido entre o balanço e o vão.

Assim, considerando-se o valor de 295 kN/m, verifica-se que para cada direção da laje de 25,5 m são necessárias 63 cordoalhas com força, após todas as perdas, de 120 kN cada. Considerando feixes de duas cordoalhas, são necessários 32 feixes em cada direção da laje, totalizando 64 cordoalhas em cada direção. A tensão média de compressão na laje é dada por 1,4 MPa (64.1200/2550.22), que por sua vez atende a tensão de compressão média mínima de 1 MPa recomendada pela ABNT NBR 6118 (2014). Considerando o comprimento de 26 m para cada cordoalha, o índice de massa das 128 cordoalhas por metro quadrado de área do pavimento é de, aproximadamente, 4,5 kg/m². Emerick (2005) apresenta que para valores práticos de projeto, esse consumo gira em torno de 4 kg/m² para lajes lisas com vãos entre 7 e 9 metros. Como o pavimento proposto possui vão de 9,70 m, o índice de consumo obtido está coerente.

3.3 Distribuição das cordoalhas na laje

3.3.1 Considerações gerais

Existem diversas possibilidades para disposição dos feixes de cordoalhas na laje (Figuras 6, 7 e 8). Feixes são agrupamentos de cordoalhas que, em geral, podem constituir grupos de duas, três e quatro cordoalhas. Em geral, os feixes podem estar concentrados sobre os pilares, distribuídos em faixas ou de forma uniforme. Em todos os casos, recomenda-se passar pelo menos duas cordoalhas, em cada direção ortogonal, sobre os pilares.

No caso de uma laje apoiada no seu perímetro por paredes ou vigas rígidas, a distribuição uniforme dos feixes é a mais aconselhável, uma vez que os valores dos momentos fletores são próximos. No entanto, em lajes apoiadas diretamente sobre os pilares, os valores dos momentos fletores são maiores nas faixas dos pilares e a distribuição dos feixes de cordoalhas em faixas se torna mais eficiente que a distribuição uniforme. Nawy (2003) orienta utilizar entre 65% a 75% dos cabos nas faixas dos pilares e 25% a 35% dos cabos na faixa central (faixa do vão).

O ACI 423 (1996) orienta que o número de cabos necessário para a faixa compreendida de centro a centro de painéis de laje adjacentes deve ser concentrado sobre os pilares em uma direção e distribuídos na outra. Em geral, os feixes distribuídos assumem espaçamentos uniformes. O referido código esclarece ainda que a região entre as faixas de cabos concentrados, onde não há nenhum cabo, também é considerada protendida desde que se respeite a tensão de compressão média mínima de 0,9 MPa. Nesse caso, os efeitos da protensão não se fazem sentir integralmente apenas nas regiões triangulares entre as faixas de cabos concentrados próximas às bordas da laje (zonas de regularização das tensões indicada na Figura 4).

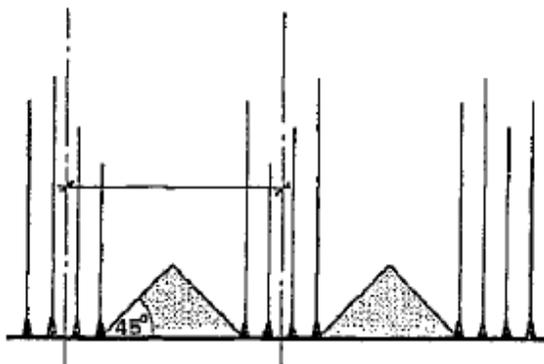


Figura 4 – Zonas de regularização de tensões para os feixes concentrados (Adaptado de Concrete Society, 1994).

Aalami (2000) esclarece que a disposição concentrados e uniformes, se mostra vantajosa por não causar interferência entre os cabos nas duas direções, uma vez que os cabos não se cruzam em suas excentricidades máximas. A única exceção é o encontro dos feixes concentrados com o feixe distribuído que passa sobre os pilares (Figura 5). Nesse caso, apenas esse feixe distribuído é posicionado sob os cabos concentrados (Figura 5). Desse modo, com exceção do feixe distribuído que passa sobre o pilar, todos os outros feixes, nas duas direções, assumem as excentricidades máximas possíveis obedecendo ao cobrimento mínimo de projeto. Em geral, os outros tipos de disposições causam alguma interferência entre os feixes, dificultando o aspecto construtivo. Assim, a disposição concentrados e uniformes é a opção mais usual em lajes lisas. O Relatório nº43 do Concrete Society (1994) orienta que o modo de distribuição concentrados e distribuídos é interessante também quando há aberturas na laje e em situações em que os pilares não estejam devidamente alinhados.

A ABNT NBR 6118 (2014) estabelece que o espaçamento entre cordoalhas ou feixes de cordoalhas deve ser no máximo $6h$ (sendo h a espessura da laje), não excedendo 120 cm. A norma indica também que cabos dispostos em faixa externa (região dos apoios) devem estar contidos numa porção de laje, de tal forma que a largura desta não ultrapasse a dimensão em planta do pilar de apoio, tomada transversalmente à direção longitudinal da faixa, acrescida de 3,5 vezes a espessura da laje para cada um dos lados do pilar. Para espaçamentos mínimos entre feixes, é usual utilizar 20 cm, 25 cm e 30 cm entre feixes de dois, três e quatro cordoalhas, respectivamente.

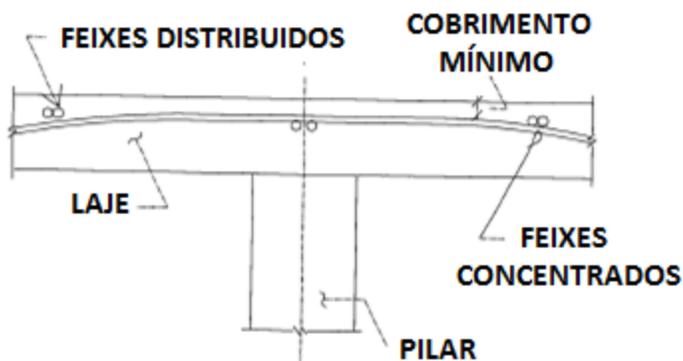


Figura 5 – Feixes de cordoalhas sobre o apoio (Adaptado de Aalami, 2000).

3.3.2 Opções de distribuição das cordoalhas na laje

Os três modos considerados de distribuição das cordoalhas na laje estão ilustrados nas Figuras 6, 7 e 8. Em todos os casos consideram-se dois feixes no alinhamento dos pilares centrais a fim de possibilitar simetria na distribuição.

Na distribuição uniforme (Figura 6), as 64 cordoalhas calculadas para cada direção são distribuídas em 32 feixes de 2 cordoalhas a cada 80 cm.

Na distribuição em faixas (Figura 7), as 64 cordoalhas calculadas para cada direção são distribuídas em feixes de 2 cordoalhas utilizando 75% das cordoalhas para as faixas dos pilares (8 feixes para cada uma das três faixas) e 25% das cordoalhas para as faixas centrais (4 feixes para cada uma das duas faixas). Os feixes das faixas dos pilares e das faixas centrais são espaçados em 70 cm e 104 cm, respectivamente.

Na distribuição concentrados e uniformes (Figura 8), as 64 cordoalhas calculadas para a direção x são distribuídas em 32 feixes de 2 cordoalhas a cada 80 cm. Na direção y, utilizam-se 20 cordoalhas (10 feixes de 2 cordoalhas a cada 20 cm) para a faixa de 7,90 m compreendida da borda ao centro do painel de laje e 24 cordoalhas (8 feixes de 3 cordoalhas a cada 25 cm) para a faixa de 9,70 m compreendida de centro à centro de painéis de laje. Utilizam-se feixes de 3 cordoalhas nos pilares centrais da direção y de modo a atender a largura máxima de 204 cm (dimensão do pilar de apoio acrescida de 3,5 vezes a espessura da laje para cada um dos lados do pilar) para a faixa de distribuição dos feixes concentrados, conforme a prescrição da ABNT NBR 6118 (2014).

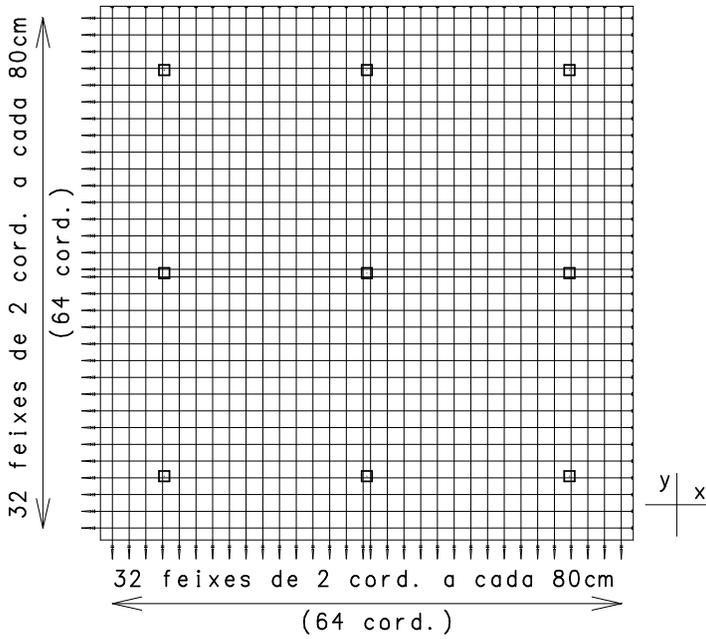


Figura 6 – Distribuição uniforme nas duas direções

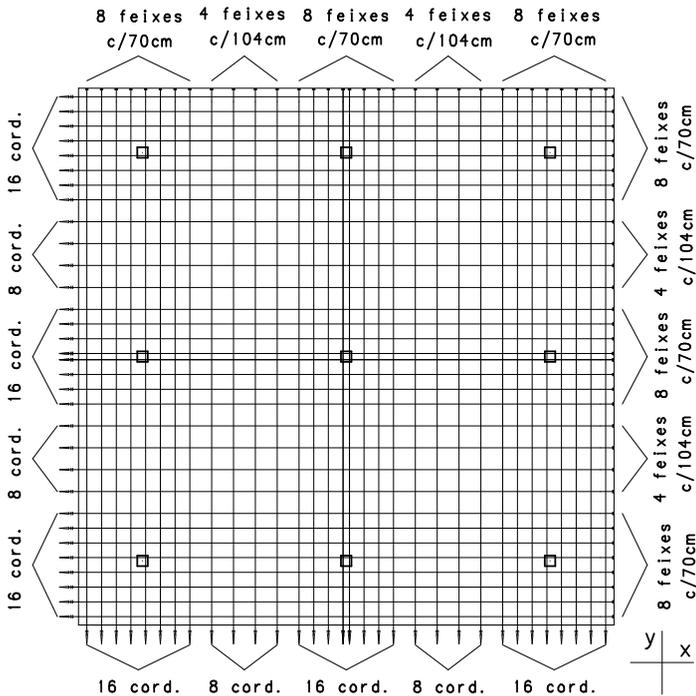


Figura 7 – Distribuição em faixas nas duas direções

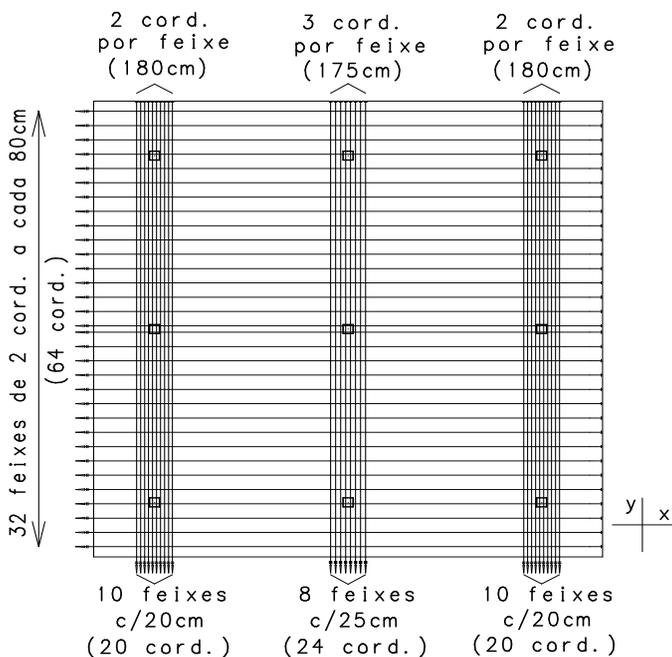


Figura 8 – Distribuição concentrados e uniformes

3.4 Avaliação dos deslocamentos (flechas)

Neste item, avaliam-se os deslocamentos do pavimento considerando comportamento elástico e linear, ou seja, admitindo o momento de inércia bruto do concreto. Em virtude da simetria da laje, os deslocamentos são apresentados de acordo com os pontos (A, B, ..., K) da Figura 9. Como o objetivo é comparar os deslocamentos das distribuições de feixes de cordoalhas, não se inclui, por simplificação, o efeito de fluência já que o coeficiente de fluência será o mesmo para todas as distribuições consideradas.

A Figura 10 apresenta o comparativo dos deslocamentos da laje para os pontos (A, B, ..., K) em relação aos carregamentos considerados. Como os deslocamentos devido somente a protensão são negativos, isto é, no sentido oposto ao gravitacional, os mesmos são apresentados em valores absolutos a fim de se comparar com os deslocamentos da combinação quase permanente sem considerar a protensão.

Observa-se que os deslocamentos devido apenas à protensão para as distribuições consideradas apresentam valores próximos. A distribuição concentrados e uniformes apresenta, em geral, flechas devido apenas à carga equivalente ligeiramente maiores e, portanto, mais próximas da flecha para a combinação quase permanente sem considerar a protensão.

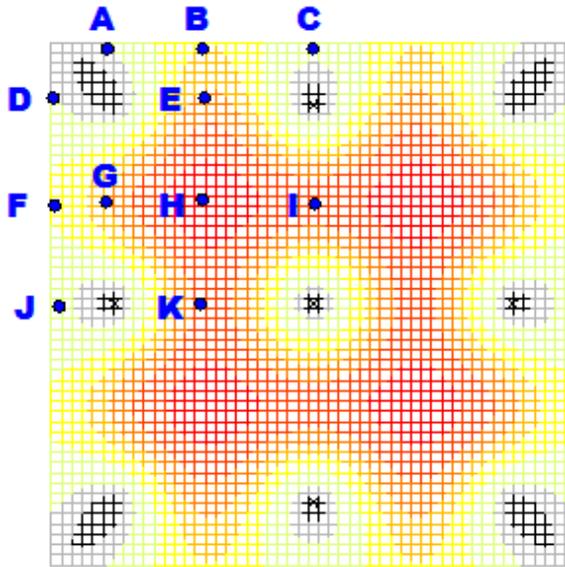


Figura 9 – Pontos do pavimento para a análise dos deslocamentos

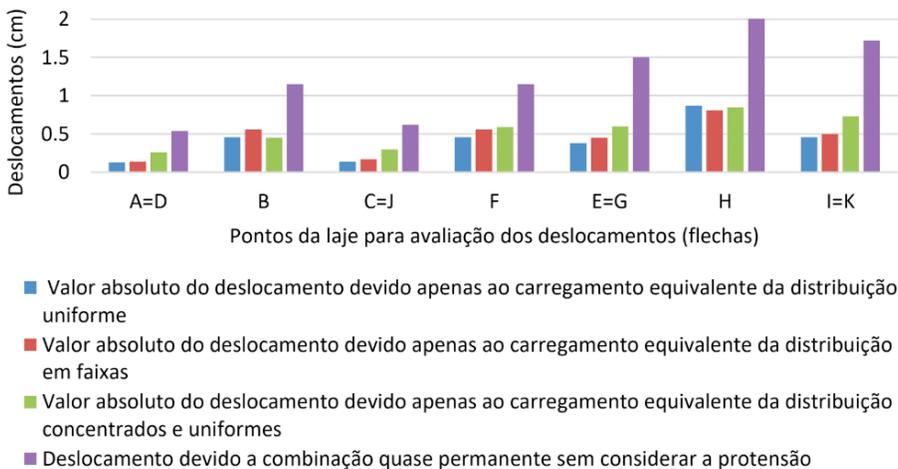


Figura 10 – Deslocamentos de acordo com os carregamentos

3.5 Avaliação dos momentos fletores

Com base nas faixas indicadas na Figura 3, as Figuras 11, 12 e 13 apresentam os momentos fletores do carregamento equivalente de protensão para as distribuições analisadas e os momentos fletores dos demais carregamentos considerados na laje. Analisam-se os momentos fletores no apoio do balanço, no vão e no apoio interno das faixas da Figura 3. Na distribuição concentrados e uniformes é apresentado separadamente os momentos fletores em cada direção da laje tendo em vista que a distribuição das cordoalhas é diferente nas duas direções.

Verifica-se que a distribuição concentrados e uniformes, em relação aos outros modos de distribuição, apresenta os maiores momentos fletores do carregamento equivalente nas faixas dos apoios e os menores momentos na faixa central. Assim, esses valores da distribuição concentrados e uniformes acompanham a configuração dos momentos fletores dos demais carregamentos que também apresentam maiores valores nas faixas dos apoios e menores na faixa central. A distribuição uniforme e a distribuição em faixas apresentam maior uniformidade nos valores dos momentos fletores entre as faixas, e desse modo, não acompanham tão bem a variação dos momentos fletores dos demais carregamentos.

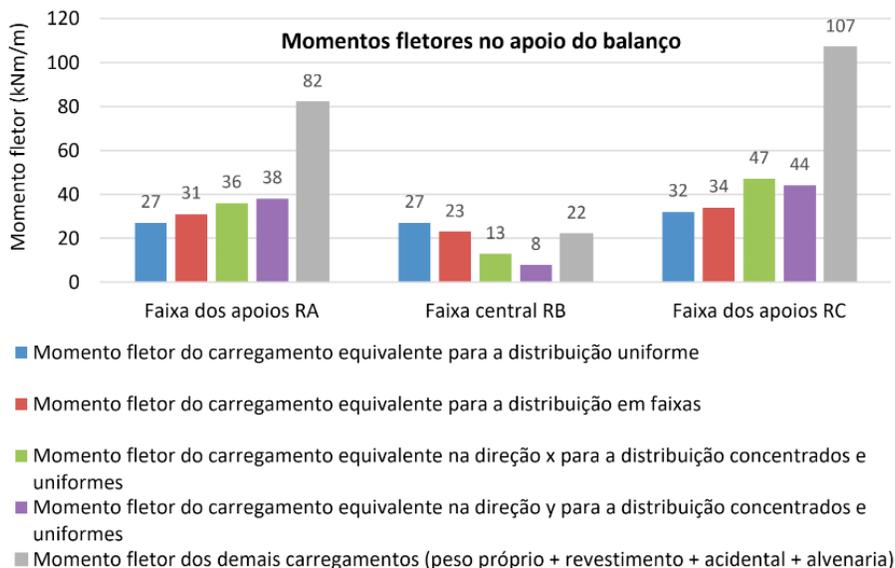


Figura 11 – Valores absolutos dos momentos fletores no apoio do balanço

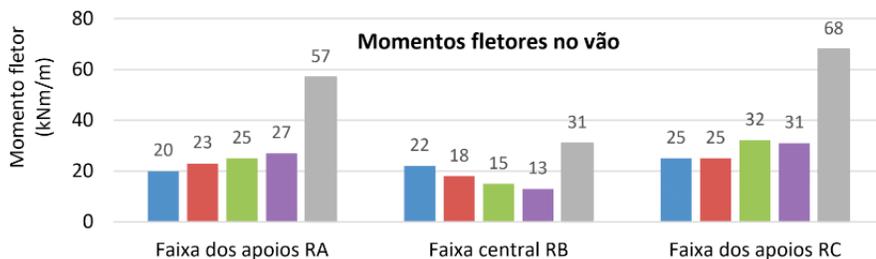


Figura 12 – Valores absolutos dos momentos fletores no vão (legenda na Figura 11)

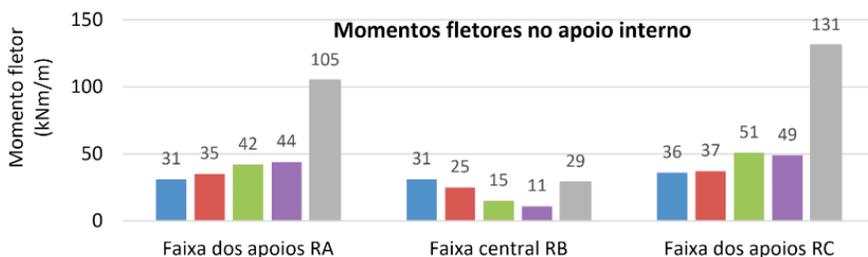


Figura 13 – Valores absolutos dos momentos fletores no apoio interno (legenda na Figura 11)

4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho, mediante a análise de diferentes distribuições de feixes de cordoalhas em um pavimento proposto, possibilita concluir que a distribuição de feixes de cordoalhas do modo concentrados e uniformes, além de ser a de maior praticidade construtiva, também é a mais adequada em relação a distribuição dos momentos fletores de protensão na laje. Ao comparar os momentos fletores do carregamento equivalente entre as distribuições consideradas verifica-se que a distribuição concentrados e uniformes apresenta os maiores momentos nas faixas dos apoios e os menores momentos na faixa central. Assim, os valores dos momentos fletores do carregamento equivalente da distribuição concentrados e uniformes são mais coerentes com a variação dos momentos dos demais carregamentos do pavimento. Em relação aos deslocamentos da laje, verifica-se que as distribuições consideradas apresentam valores próximos.

REFERÊNCIAS

AALAMI, B. O. **Layout of Post-Tensioning and Passive Reinforcement in floor slabs**. Post-Tensioning Institute, n.8, Arizona, 2000, 12 p.

AALAMI, B. O.; JURGENS, J. D. **Guidelines for the Design of Post-Tensioned Floors**. Concrete International, 2003; p.77-83.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **Recommendations for Concrete Members Prestressed with Unbonded Tendons** - ACI 423.3R, Farmington Hills, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Projeto de Estruturas de Concreto. – Procedimento**. - NBR 6118, Rio de Janeiro, 2014.

CARNEIRO, A. L. **Análise e Dimensionamento de Lajes Lisas Protendidas sem Aderência**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2015, 159 p.

CONCRETE SOCIETY. **Post-Tensioned Concrete Floors** – Design Handbook. Technical Report, n. 43, 1994, 176 p.

EMERICK, A. A. **Projeto e Execução de Lajes Protendidas**. 1. ed. Brasília: Interciência, 2005, 192 p.

LIN, T. Y.; BURNS, N. H. **Design of Prestressed Concrete Structures**. New York: John Wiley & Sons, 3ed, 1981, 646 p.

NAWY, E. G. **Prestressed Concrete – A Fundamental Approach**, New Jersey: Prentice Hall, 4ed, 2003, 939 p.

PROPOSTA DE UM MÉTODO SIMPLIFICADO PARA ANÁLISE DE VIGAS DE CONCRETO ARMADO EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO

Data de aceite: 25/05/2021

Marcelo Mesquita do Amaral

Engenheiro Civil, Programa de Pós-graduação em Engenharia Oceânica - FURG

Mauro de Vasconcellos Real

Professor Doutor, Programa de Pós-graduação em Engenharia Oceânica - FURG

RESUMO: O projeto de estruturas de concreto consiste na determinação das dimensões das peças e da quantidade e disposição das armaduras, para que não seja atingido um estado limite. Atualmente, ao considerar os efeitos de um incêndio, softwares comerciais de projeto, em geral, limitam-se apenas às verificações com base no método tabular, conforme a ABNT NBR 15200:2012, sem levar em consideração os esforços solicitantes e resistentes, deixando ao projetista a necessidade de alterar o dimensionamento da seção de concreto. Este fato, não estimula a utilização da norma brasileira por não apresentar soluções econômicas. O objetivo principal desse artigo é propor um método simplificado de dimensionamento de vigas de concreto armado, de estruturas portuárias, em situação de incêndio que permita a implementação em softwares comerciais de projeto. Tal método simplificado proposto pretende conciliar segurança estrutural, facilidade do dimensionamento e economia na execução. Através de um exemplo numérico, demonstrou-se a aplicação prática dos métodos tabular e simplificado. Os resultados obtidos pelo

método simplificado foram mais econômicos do que aqueles provenientes do método tabular. A validação dos modelos de cálculo foi feita através de um estudo comparativo com valores encontrados na literatura, bem como com os calculados pelo método da isoterma 500°C, e com o software ANSYS. Ao final desse trabalho, concluiu-se que o método simplificado proposto, além de ser um método de fácil aplicação, apresenta resultados, em geral, a favor da segurança; e, mesmo assim, permite resultados mais econômicos que o método tabular.

PALAVRAS-CHAVE: Dimensionamento à flexão, viga, concreto armado, estruturas portuárias, incêndio.

ABSTRACT: The reinforced concrete structural design consists in determining the structural members dimensions, steel ratio and location of steel rebars so that a limit state is not reached. Currently, when considering fire effects, commercial design software, in general, are limited to do the verifications only based on the tabular method, according to ABNT NBR 15200, without considering internal and external forces, so the designer needs to change the dimensions of the concrete section. This fact does not stimulate the use of the Brazilian standard codes since they do not present economic solutions. This paper aims to propose a simplified method to design reinforced concrete beams, of harbor structures, in a fire situation, which allows the implementation in commercial design software. Such proposed simplified method intends to involve structural safety, improves design facilities and economy in construction. Then,

through a numerical example, the practical application of the tabular and simplified method was demonstrated. The results obtained by the simplified method were more economical than the tabular method. The calculation models validation was done through a comparative study with values found in the literature, as well as those calculated by the 500 °C isotherm method, and with the software ANSYS results. At the end of this work, it was concluded that the proposed simplified method, besides this being a method that allows an easy application, presents results, in general, in favor of safety; and, withal, allows more economics results when compared with the tabular method.

KEYWORDS: Flexure design; Beam; Reinforced concrete; Harbor structures; Fire scenario.

1 | INTRODUÇÃO

O projeto de estruturas de concreto consiste na determinação das dimensões das peças e da quantidade e disposição das armaduras, para que não seja atingido um estado limite. A estrutura não deve atingir nem um estado limite último, que corresponderia à ruína ou ao colapso; nem um estado limite de serviço, que tornaria inviável a sua utilização (Araújo, 2014).

Atualmente, ao considerar os efeitos de um incêndio, softwares comerciais de projeto, em geral, limitam-se apenas às verificações com base no método tabular, conforme a ABNT NBR 15200:2012, sem levar em consideração os esforços solicitantes e resistentes, deixando ao projetista a necessidade de alterar o dimensionamento da seção de concreto. Este fato, não estimula a utilização da norma brasileira por não apresentar soluções econômicas. O objetivo principal desse artigo é propor um método simplificado de dimensionamento de vigas de concreto armado, de estruturas portuárias, em situação de incêndio que permita a implementação em softwares comerciais de projeto.

2 | METODOLOGIA

Segundo a ABNT NBR 15200:2012, em condições usuais, as estruturas são projetadas à temperatura ambiente e, dependendo de suas características e uso, devem ser verificadas em situação de incêndio. Existem muitos métodos para se fazer essa verificação, sendo que a norma brasileira aceita os seguintes métodos: método tabular; método simplificado de cálculo; método avançado de cálculo; e método experimental.

Conforme Albuquerque (2012), o método tabular é o único realmente detalhado, na norma brasileira, por ser bastante prático e simples. Quanto aos outros, apenas são apresentadas diretrizes para aplicação, pois demandam programas de computador específicos ou a realização de ensaios em laboratório.

Entretanto, nesse artigo será proposto um método simplificado que permita um dimensionamento de vigas, em situação de incêndio, com cálculos manuais, de forma relativamente simples, sem o auxílio de gráficos ou de programas computacionais sofisticados.

2.1 Método Tabular

Para garantir a segurança estrutural em situação de incêndio, pelo método tabular, basta que as vigas atendam às dimensões mínimas tabeladas, em função do Tempo Requerido de Resistência ao Fogo (TRRF), determinado conforme ABNT NBR 14432:2001, ou pelo Método do Tempo Equivalente, conforme a ABNT NBR 15200:2012. Tais dimensões mínimas são apresentadas nas Tabelas 2.1 e 2.2.

TRRF	Combinações de b_{min}/c_1 mm/mm				b_{wmin} mm
	1	2	3	4	
30	80/25	120/20	160/15	190/15	80
60	120/40	160/35	190/30	300/25	100
90	140/60	190/45	300/40	400/35	100
120	190/68	240/60	300/55	500/50	120
180	240/80	300/70	400/65	600/60	140

Tabela 2.1- Dimensões mínimas para vigas biapoiadas

Fonte: ABNT NBR 15200:2012

TRRF	Combinações de b_{min}/c_1 mm/mm				b_{wmin} mm
	1	2	3	4	
30	80/15	160/12	-	-	80
60	120/25	190/12	-	-	100
90	140/37	250/25	-	-	100
120	190/45	300/35	450/35	500/30	120
180	240/60	400/50	550/50	600/40	140

Tabela 2.1 - Dimensões mínimas para vigas contínuas ou vigas de pórticos

Fonte: ABNT NBR 15200:2012

Onde,

b_{min} – largura mínima da seção transversal;

b_{wmin} – largura mínima da alma de seção transversal de viga com largura variável;

c_1 – distância entre o eixo da armadura longitudinal (CG) e a face do concreto exposta ao fogo.

A ABNT NBR 15200:2012 estabelece algumas prescrições importantes para a aplicação do método tabular; dentre essas, destaca-se o caso de armaduras em uma camada.

Em vigas com somente uma camada de armaduras e largura não superior ao b_{min} indicado na coluna 3 da Tabela 2.1, e coluna 2 da Tabela 2.2, conforme o TRRF, a distância

c_{1l} (conforme Figura 2.1) no fundo das vigas deve ser 10 mm maior do que o c_1 dado pela referida tabela. Esse ajuste se faz necessário, visto que junto às bordas da face inferior da viga há concentração de temperatura.

Como alternativa, para se manter iguais os cobrimentos das armaduras tanto em relação à face inferior quanto à lateral da viga, deve-se:

- Para concreto armado, especificar barras de canto com um diâmetro imediatamente superior ao calculado;
- Para concreto protendido, considerar para efeito de dimensionamento, uma força de protensão igual a 0,7 da indicada para obra;

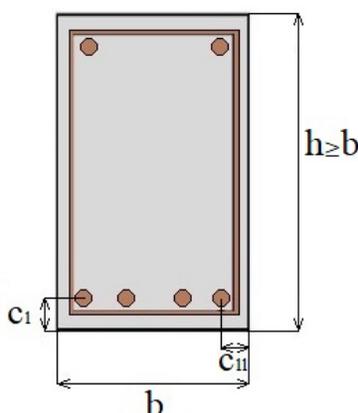


Figura 2.1 - Distância c_1 e c_{1l}

Fonte: ABNT NBR 15200:2012, ajustada

2.2 Método Simplificado

Diferentemente do método tabular, que consiste em uma verificação, para determinado TRRF, das dimensões mínimas das vigas, os métodos simplificados avaliam a resistência ao fogo, por analisar os esforços tanto solicitantes, quanto resistentes para determinado TRRF.

Assim, a ação do incêndio se traduz, usualmente, apenas na redução da resistência dos materiais e na capacidade dos elementos estruturais e a verificação usual da segurança da estrutura em situação de incêndio é garantida quando a Eq. (2.1) é satisfeita:

$$S_{d,fi} \leq R_{d,fi} \quad (2.1)$$

Onde:

$S_{d,fi}$ – valor de cálculo do esforço solicitante em situação de incêndio;

$R_{d,fi}$ – valor de cálculo do esforço resistente em situação de incêndio.

2.2.1 Momento Solicitante em Situação de Incêndio

Para se calcular o momento solicitante considerando em situação de incêndio, pode-se empregar a Eq. (2.2).

$$M_{Sd,fi} = (1,2M_{gk} + 0,7\psi_2M_{qk}) \quad (2.2)$$

Onde:

$M_{Sd,fi}$ – momento solicitante de cálculo, em situação de incêndio [kNm];

M_{gk} – momento característico referente à ação permanente, à temperatura ambiente [kNm];

ψ_2 – fator de redução de combinação quase permanente para ELS, conforme ABNT NBR 6118:2014 [adimensional];

M_{qk} – momento característico referente à ação variável, à temperatura ambiente [kNm];

Alternativamente, por simplificação, pode-se utilizar a Eq. (2.3).

$$M_{Sd,fi} = 0,7M_{Sd} \quad (2.3)$$

Onde:

M_{Sd} – momento solicitante de cálculo à temperatura ambiente [kNm].

Destaca-se que tais equações independem do tipo de incêndio ou do tempo de exposição ao fogo.

2.2.2 Momento Resistente em Situação de Incêndio Proposto

Para se calcular Momento Resistente em Situação de Incêndio, $M_{Rd,fi}$, pelo Método Proposto pode-se utilizar a Eq. (2.4):

$$M_{Rd,fi} = f_{yk}k_{s,m}A_s \left(d - \frac{f_{yk}A_s}{2f_{ck}b} \right) \quad (2.4)$$

Onde:

f_{yk} – resistência característica à tração do aço, à temperatura ambiente [kN/cm²];

$k_{s,m}$ – fator médio de redução da resistência do aço [adimensional];

A_s – área total da seção transversal da armadura longitudinal [cm²];

f_{ck} – resistência característica à compressão do concreto, à temperatura ambiente [kN/cm²];

b – largura da seção da viga de concreto [cm];

Todos os dados da Eq. (2.4) são conhecidos com o dimensionamento à temperatura ambiente, exceto o $k_{s,m}$, dessa forma, a grande incógnita do problema é o $k_{s,m}$. Seu valor está diretamente relacionado com as temperaturas de cada barra de aço.

Essas por sua vez podem ser calculadas, com uma simplificação razoável, pelo método de Wickström (1986), em função apenas do tempo de exposição ao fogo, e da profundidade de cada barra com coordenadas x_i e y_i , conforme expressa pela Eq. (2.5):

$$\theta_{c,xy} = [n_w(n_x + n_y - 2n_x n_y) + n_x n_y] \theta_g \quad (2.5)$$

Onde n_w , n_x , n_y , e θ_g , são dados pelas seguintes equações:

$$n_w = 1 - 0,0616t^{-0,88} \quad (2.6)$$

$$n_x = 0,18 \ln \left(\frac{t}{x_i^2} \right) - 0,81 \quad (2.7)$$

$$n_y = 0,18 \ln \left(\frac{t}{y_i^2} \right) - 0,81 \quad (2.8) \quad (2.19)$$

$$\theta_g = 345 \log_{10}(480t + 1) + \theta_0 \quad (2.9)$$

Onde:

t – tempo [horas];

x_i – coordenada cartesiana horizontal da barra de aço i [m];

y_i – coordenada cartesiana vertical da barra de aço i [m];

θ_g – temperatura média dos gases no ambiente em chamas [°C];

θ_0 – temperatura dos gases no instante $t = 0$, geralmente admitida 20°C ;

Conhecidas as temperaturas de cada barras de aço, determina-se o fator de redução da resistência médio $k_{s,m}$, pela média ponderada dos $k_{s,\theta i}$ em função da área de aço de cada barra de aço i , conforme a Eq. (2.10):

$$k_{s,m} = \frac{\sum k_{s,\theta i} A_{s,i}}{\sum A_{s,i}} \quad (2.10)$$

Onde:

$A_{s,i}$ - área da seção transversal da barra i da armadura longitudinal

$k_{s,\theta i}$ – fator de redução da resistência, à temperatura θ , da barra de aço i , que pode ser calculado conforme a conforme a Eq. (2.11):

$$\begin{aligned}
k_{s,\theta i} &= 1 && \text{para } 20^{\circ}\text{C} \leq \theta_s \leq 400^{\circ}\text{C} \\
k_{s,\theta i} &= 1 - 0,0022(\theta_s - 400) && \text{para } 400^{\circ}\text{C} < \theta_s \leq 500^{\circ}\text{C} \\
k_{s,\theta i} &= 0,78 - 0,0031(\theta_s - 500) && \text{para } 500^{\circ}\text{C} < \theta_s \leq 600^{\circ}\text{C} \\
k_{s,\theta i} &= 0,47 - 0,0024(\theta_s - 600) && \text{para } 600^{\circ}\text{C} < \theta_s \leq 700^{\circ}\text{C} \\
k_{s,\theta i} &= 0,23 - 0,0012(\theta_s - 700) && \text{para } 700^{\circ}\text{C} < \theta_s \leq 800^{\circ}\text{C} \\
k_{s,\theta i} &= 0,11 - 0,0005(\theta_s - 800) && \text{para } 800^{\circ}\text{C} < \theta_s \leq 900^{\circ}\text{C} \\
k_{s,\theta i} &= 0,06 - 0,0002(\theta_s - 900) && \text{para } 900^{\circ}\text{C} < \theta_s \leq 1000^{\circ}\text{C} \\
k_{s,\theta i} &= 0,04 - 0,0002(\theta_s - 1000) && \text{para } 1000^{\circ}\text{C} < \theta_s \leq 1100^{\circ}\text{C} \\
k_{s,\theta i} &= 0,02 - 0,0002(\theta_s - 1100) && \text{para } 1100^{\circ}\text{C} < \theta_s \leq 1200^{\circ}\text{C} \\
k_{s,\theta i} &= 0 && \text{para } \theta_s > 1200^{\circ}\text{C}
\end{aligned} \tag{2.11}$$

Assim como no método tabular, nesse método simplificado proposto não são considerados os efeitos eventuais de spalling (lascamentos) ou restrições à deformação térmica. Além dessa simplificação, visto que em situações mais críticas (temperaturas das barras de aço elevadas), a resistência média à tração do aço decai mais do que a resistência média a compressão do concreto, ou seja, $k_{s,m} < k_{c,m}$ (fator médio de redução da resistência do concreto), conseqüentemente $\left(\frac{k_{s,m}}{k_{c,m}}\right) < 1$; portanto, visto que o $k_{c,m}$ é de difícil determinação, a fim de simplificar a determinação do momento resistente em situação de incêndio, a favor da segurança, considerou-se: $\left(\frac{k_{s,m}}{k_{c,m}}\right) = 1$.

3 I VERIFICAÇÃO DO MÉTODO PROPOSTO

A validação do procedimento de cálculo do momento resistente em situação de incêndio do método simplificado proposto foi feita através de comparação com os resultados encontrados em bibliografia, com o método da isoterma 500°C, e com valores determinados utilizando o software ANSYS.

Analisaram-se seis seções de vigas, submetidas a diferentes tempos de exposição ao fogo, conforme a Figura 3.1.

O comparativo dos Momentos Resistentes de Cálculo em Situação de Incêndio pode ser observado na Tabela 3.1.

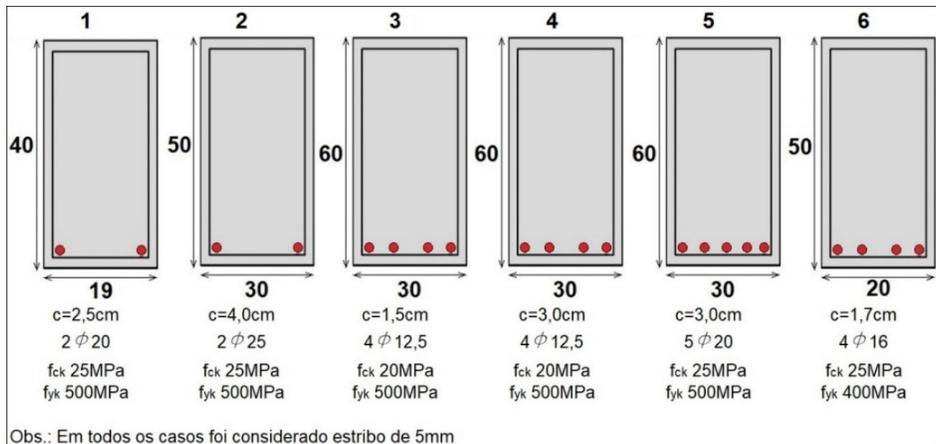


Figura 3.1 – Representação sem escala das seções analisadas, dimensões em centímetros

Viga/ Seção (Figura 4.1)	Tempo do Incêndio Padrão [min]	Fonte Comparativa	Momento Resistente de Cálculo em Situação de Incêndio ($M_{Rd,fi}$) [kNm]			
			Valor Referencial da Fonte Comparativa	Temp. do Aço ANSYS	Temperatura do aço Eq. de Wickström	
				Método Utilizando ANSYS	Método da Isoterma 500°C	Modelo Simplificado Proposto
1	90	Albuquerque, 2012	45,3	46,0	38,2	36,4
2	120	Albuquerque, 2012	138,3	137,0	109,4	107,0
3	30	Soares, 2003	127,6	128,4	125,5	125,5
3	60	Soares, 2003	79,7	82,0	81,8	81,0
3	90	Soares, 2003	31,1	47,9	44,7	43,7
3	120	Soares, 2003	21,3	28,7	24,1	23,5
4	30	Soares, 2003	132,1	131,7	131,7	132,1
4	60	Soares, 2003	115,3	120,9	116,4	116,6
4	90	Soares, 2003	78,2	92,7	88,7	88,2
4	120	Soares, 2003	60,8	64,6	60,5	59,6
5	60	Sousa e Silva, 2015	378,4	381,7	367,5	371,8
6	30	Gonçalves, 2007	139,0	139,6	136,8	137,9
6	60	Gonçalves, 2007	94,0	110,6	89,8	88,7
6	90	Gonçalves, 2007	43,0	62,0	47,1	45,3
6	120	Gonçalves, 2007	22,0	32,9	24,8	23,6

Tabela 3.1 - Comparativo Momento Resistente de Cálculo em Situação de Incêndio

Através desse comparativo, pode-se fazer as seguintes observações:

- O método simplificado proposto apresenta resultados muito similares aos obti-

dos pelo método da isoterma 500°C, que é um método reconhecido internacionalmente;

- Quando comparados, os valores obtidos pelos métodos simplificados com os encontrados na bibliografia, observa-se valores bem próximos.
- Conforme a Tabela 3.1, o método simplificado proposto, em apenas um dos resultados (destacado em cinza), apresentou valor maior do que o método utilizando o ANSYS, o qual faz uma análise mais rigorosa e representativa da realidade (sendo que a diferença, nesse caso, foi inferior a 1,0 kNm, ou seja, desprezível); em todos os demais resultados, obtiveram-se momentos inferiores aos do ANSYS, indicando que o método simplificado proposto, em geral, apresenta valores a favor da segurança.

4 | EXEMPLO DE APLICAÇÃO

A seguir será demonstrado, com exemplo numérico, como se aplicam os métodos Tabular e Simplificado Proposto.

Considerando um edifício de escritórios, situado em zona portuária, com TRRF igual a 90 minutos.

A partir do dimensionamento da viga, considerando os esforços à temperatura ambiente, segundo a ABNT NBR 6118:2014, conforme Figura 4.1, tem-se definido os seguintes parâmetros:

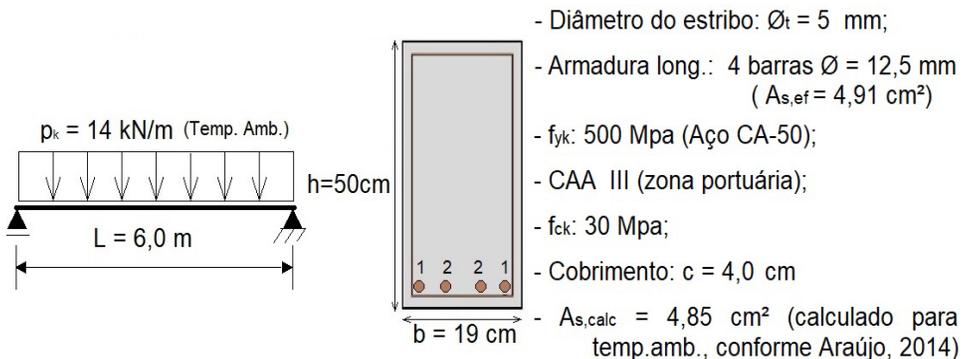


Figura 4.1 – Parâmetros da Viga em Estudo

4.1 Método Tabular

O primeiro passo é a determinação da distância entre o eixo da armadura longitudinal e a face do concreto exposta ao fogo (c_1). Nesse caso, pode ser calculado conforme segue:

$$c_1 = c + \emptyset_t + \frac{\emptyset}{2} = 40 + 5 + \frac{12,5}{2} \therefore c_1 = 51,25 \text{ mm}$$

Após isso, determina-se o c_{1min} , através da Tabela 2.1, para o TRRF, nesse caso 90 min. Então, pela simples leitura da tabela, $c_{1min} = 45 \text{ mm}$.

Embora o método tabular seja bastante expedito, há algumas alternativas e cuidados a serem tomados que talvez não sejam são tão imediatos.

Conforme mencionado no item 2.1, em seções com apenas uma camada de armadura e largura não superior, conforme o TRRF, ao b_{min} indicado na coluna 3 da Tabela 2.1, algumas mudanças em projeto devem ser realizadas. Esse é o caso da seção em estudo, em que as 4 barras de 12,5 mm estão distribuídas em apenas uma camada e a largura de 190 milímetros não é superior à 300 milímetros, conforme coluna 3 da Tabela 2.1 para TRRF de 90 min.

Em vista disso, a distância entre o eixo da armadura longitudinal de canto e a face lateral do concreto exposta ao fogo (c_{1l}) deve ser 10 milímetros maior que o c_{1min} encontrado pelo método tabular. Ou seja, para garantir a segurança estrutural, c_1 deve ser maior que $c_{1l} = c_{1min} + 10 \text{ mm}$. Nesse caso, $c_{1l} = 45 + 10 = 55 \text{ mm}$. Portanto, nesse caso, não há segurança, pois:

$$c_1 = 51,25 \text{ mm} < c_{1l} = 55 \text{ mm}.$$

Caso nenhuma alternativa seja tomada, o Tempo de Resistência ao Fogo (TRF) deve ser calculado, considerando-se, a favor da segurança, c_1 reduzido em 10 milímetros. Nesse caso $c_1 = 51,25 - 10 = 41,25 \text{ mm}$.

Calcula-se o TRF da peça, por interpolação linear dos valores indicados na Tabela 2.1., conforme segue:

Se para $b_{min} = 190 \text{ mm}$ e $c_{1min} = 30 \text{ mm}$, o TRF é igual a 60 min;

E para $b_{min} = 190 \text{ mm}$ e $c_{1min} = 45 \text{ mm}$, o TRF é igual a 90 min;

Portanto, para $b = 190 \text{ mm}$ e $c_1 = 41,25 \text{ mm}$, o TRF, por interpolação, é igual a 83 min;

De modo que, nesse caso, não há segurança, pois:

$$TRF = 83 \text{ min} < TRRF = 90 \text{ min}.$$

Portanto, em resumo, a viga desse exemplo, com as mesmas características do dimensionamento à temperatura ambiente, não apresenta segurança estrutural em situação de incêndio, conforme o método normativo tabular.

A seguir serão apresentadas algumas alternativas, para o dimensionamento com segurança, em situação de incêndio, pelo método tabular:

I. Substituir as duas barras de canto por bitola superior, passando de $4\emptyset 12,5$ para $2\emptyset 16$ nos cantos mais $2\emptyset 12,5$ no centro ($TRF = 101 \text{ min}$);

II. Aumentar a altura da viga de 50 cm para 60cm, considerando a possibilidade de

redução do c_1 ($TRF = 92$ min).

Sendo que as alternativas:

III. Aumentar o cobrimento de 4,0 cm para 4,5cm ($TRF = 92$ min);

IV. Distribuir a armadura em duas camadas de $2\varnothing 12,5$ cada ($TRF = 99$ min);

Embora satisfaçam a condição de segurança, para situação de incêndio, conforme o método tabular; em contrapartida, invalidam o dimensionamento da viga à temperatura ambiente.

E a alternativa:

V. Considerar o Δc_1 (valor de redução do c_1), não é suficiente para atingir uma condição de segurança ($TRF = 84$ min).

4.2 Método Simplificado Proposto

Em primeiro lugar é necessário calcular o momento solicitante característico, à temperatura ambiente. Visto que se trata de uma viga biapoiada, pode-se calcular da seguinte forma:

$$M_{Sk} = \frac{p_k L^2}{8} = \frac{14 \times 6^2}{8} \therefore M_{Sk} = 63,0 \text{ kNm}$$

Apenas para possíveis comparações, o momento solicitante de cálculo à temperatura ambiente, pode ser calculado da seguinte forma:

$$M_{Sd} = 1,4 \times M_{Sk} \therefore M_{Sd} = 88,2 \text{ kNm}$$

Nesse exemplo, considerando $M_{Sd,fi} = 0,7M_{Sd}$, o momento solicitante de cálculo em situação de incêndio pode ser calculado da seguinte forma:

$$M_{Sd,fi} = 0,7(88,2) \therefore M_{Sd,fi} = 61,74 \text{ kNm}$$

Após determinar a solitação, prossegue-se com o cálculo da resistência. Para isso, calcula-se as temperaturas das barras, para o tempo de exposição ao incêndio padrão igual ao TRRF, nesse exemplo, 90 minutos. Pela equação de Wickström, conforme a Eq. (2.5), a temperatura das barras de canto será igual:

$$\begin{aligned} \theta_{c,xy1} &= [0,957(0,333 + 0,333 - 2 \times 0,333 \times 0,333) + 0,333 \times 0,333]1006 = \\ &\therefore \theta_{s1} = \theta_{c,xy1} = 539^\circ\text{C}; \end{aligned}$$

A temperatura das barras do centro será igual:

$$\begin{aligned} \theta_{c,xy2} &= [0,957(0,170 + 0,333 - 2 \times 0,170 \times 0,333) + 0,170 \times 0,333]1006 = \\ &\therefore \theta_{s2} = \theta_{c,xy2} = 432^\circ\text{C}; \end{aligned}$$

A partir da temperatura das barras é possível calcular os fatores de redução da resistência do aço, $K_{s,\theta}$ conforme a Eq. (2.11):

Para , $\theta_{s1} = 539^\circ\text{C}$, $k_{s,\theta1} = 0,78 - 0,0031(539 - 500) = 0,6591$

Para , $\theta_{s2} = 432^\circ\text{C}$, $k_{s,\theta2} = 1 - 0,0022(432 - 400) = 0,9296$

Sendo assim o fator de redução de resistência médio $K_{s,m}$, pode ser calculado, considerando a área de cada barra ($A_{s1} = A_{s2} = A_{s3} = 1,2272 \text{ cm}^2$), conforme a Eq. (2.10):

$$k_{s,m} = \frac{2 \times 0,6591 \times 1,2272 + 2 \times 0,9296 \times 1,2272}{4 \times 1,2272} = 0,7944$$

Por último, aplicando-se a Eq. (2.4), determina-se o momento fletor resistente de cálculo, em situação de incêndio, pelo método simplificado proposto:

$$M_{Rd,fi} = 50 \times 0,7944 \times (4 \times 1,2272) \left[44,875 - \frac{50 \times (4 \times 1,2272)}{2 \times 3,0 \times 19} \right] = 83,29 \text{ kNm}$$

Por último, é verificada se a condição de segurança, conforme a Eq. (2.1), $M_{Sd,fi} \leq M_{Rd,fi}$ é satisfeita. Nesse caso, a segurança estrutural em situação de incêndio é garantida, pelo método simplificado proposto, pois:

$$M_{Rd,fi} = 83,29 \text{ kNm} > M_{Sd,fi} = 61,74 \text{ kNm}$$

4.3 Comparativo dos Resultados

A comparação mais simples a ser feita é sobre a condição de segurança estrutural, conforme a Tabela 4.1.

Condição de Segurança Estrutural	
Método Tabular	Método Simplificado Proposto
Não Satisfeita TRF < TRRF	Satisfeita $M_{Sd,fi} \leq M_{Rd,fi}$

Tabela 4.1 – Comparativo da condição de segurança estrutural em situação de incêndio, Pelo método tabular e o método simplificado proposto, para a viga em estudo, TRRF 90 min

Conforme exposto na Tabela 4.1, nesse exemplo, o método simplificado proposto apresenta resultado mais econômico do que o método tabular.

Outra comparação que se pode fazer, conforme Tabela 4.2, é dos TRF da viga, determinado pelos métodos tabular, da isoterma 500°C , e simplificado proposto, considerando as alternativas mencionadas no item 4.1. desse artigo.

Dados da Viga	Tempo de Resistência ao Fogo TRF [min]		
	Tabular	Isoterma 500°C	Simplificado Proposto
Condição inicial: igual à temperatura ambiente 19x50 cm; c = 4,0 cm; 4ø12,5 – uma camada	83	113	113
Conforme alternativa I: aumentando barras de canto 19x50 cm; c = 4,0 cm; 2ø16 +2ø12,5 – uma camada	101	130	129
Conforme alternativa II: aumentar altura da viga 19x60 cm; c = 4,0 cm; 4ø12,5 – uma camada	92	125*	125*
Conforme alternativa III: aumentando o cobrimento 19x50 cm; c = 4,5 cm; 4ø12,5 – uma camada	92	125	125
Conforme alternativa IV: Distribuir em duas camadas 19x50 cm; c = 4,0 cm; 4ø12,5 – duas camadas	99	113	112
Conforme alternativa V: considerando Δc_1 19x50 cm; c = 4,0 cm; 4ø12,5 – uma camada	84	113	113
* Considerando o $M_{Sd,fi} = 63,95$ kNm devido altura de 60 cm; para os demais casos $M_{Sd,fi} = 61,74$ kNm (altura 50 cm);			

Tabela 4.2 – Comparativo do TRF da viga de estudo, determinado com o método tabular, com o da isoterma 500°C, e com simplificado proposto

Conforme pode-se observar em todas as hipóteses desse exemplo, o método proposto é mais econômico que o tabular. Além disso, observa-se similaridade de resultados entre o método da isoterma 500°C e o simplificado proposto. Informa-se que os valores de TRF determinados com os métodos simplificados foram obtidos por iteração, alterando o tempo de exposição ao fogo até atingir a condição limite: $M_{Rd,fi} = M_{Sd,fi}$

5 | CONCLUSÕES

Através de um exemplo numérico, demonstrou-se a aplicação prática dos métodos tabular e simplificado, abordando-se algumas alternativas possíveis no dimensionamento de vigas de concreto armado. Além disso, realizou-se um comparativo dos resultados entre os métodos tabular e o simplificado proposto. Sendo os resultados obtidos pelo método proposto mais econômico do que aqueles provenientes do método tabular.

Verificou-se também que os resultados pelo método da isoterma 500°C e pelo simplificado proposto são muito próximos; porém, o método proposto tem como vantagem a facilidade do cálculo, pois, através de algumas simplificações, não se precisa determinar a largura da seção reduzida do concreto, em função da isoterma 500°C.

Outra observação importante é que, em praticamente todos os exemplos, através do Método Simplificado Proposto obtiveram-se momentos resistentes inferiores aos do Método utilizando o ANSYS, o qual faz uma análise mais rigorosa e representativa da realidade, indicando que, em geral, o método proposto apresenta valores a favor da segurança.

Sendo assim, a grande vantagem do método simplificado proposto é que o cálculo

pode ser feito manualmente, de forma relativamente simples (mais fácil que o método da Isoterma 500 °C, ou o simplificado utilizando o ANSYS), sem o auxílio de gráficos ou de programas computacionais sofisticados. Porém, mesmo assim, permite-se dimensionar vigas de concreto armado, com segurança em situação de incêndio, e em alguns casos, de forma mais econômica do que em relação ao método normativo tabular.

A validação dos modelos de cálculo tanto das temperaturas quanto dos momentos fletores resistentes em situação de incêndio foi feita através de um estudo comparativo com valores encontrados na literatura, bem como com os calculados pelo método da isoterma 500°C e com o auxílio do software ANSYS.

Portanto, acredita-se que o método proposto, se implantado, poderia permitir uma melhoria em softwares comerciais de projeto, visto que atualmente, no mercado em geral, tais ferramentas limitam-se a realizar apenas uma verificação com base no método tabular, sem levar em consideração os esforços solicitantes e resistentes, deixando ao projetista, muitas vezes, a necessidade de aumentar a seção das vigas de concreto. Tal fato, por não apresentar vantagem econômica, não estimula a utilização da ABNT NBR 15200:2012, de modo que é pouco utilizada pelos profissionais, conforme Costa (2016).

Em resumo, pode-se concluir, que o método simplificado proposto, além de ser um método de fácil aplicação, apresenta resultados, em geral, a favor da segurança; e, mesmo assim, permite resultados mais econômicos que o método tabular. De modo que nos casos em que a estrutura dimensionada à temperatura ambiente não atenda ao TRRF pelo método tabular, recomenda-se uma verificação pelo método simplificado proposto, ao invés de prontamente aumentar as dimensões da estrutura. Dessa forma, os projetistas serão estimulados a utilizar a ABNT NBR 15200:2012 em seus projetos, garantindo a segurança estrutural em situação de incêndio de forma mais econômica.

REFERÊNCIAS

Albuquerque, G. B. de M. L. de. (2012). *Dimensionamento de vigas de concreto armado em situação de incêndio* (Dissertação de mestrado). Universidade de São Paulo, São Paulo. <https://doi.org/10.11606/D.3.2012.tde-09022013-135226>

Araújo, J. M. (2014). *Curso de Concreto Armado - 4 Vols.* Rio Grande: Editora Dunas.

ABNT NBR 6118, de 29 de abril de 2014. Projeto de estruturas de concreto. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas.

ABNT NBR 14432, de 30 de novembro de 2001. Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações - Procedimento. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas.

ABNT NBR 15200, de 26 de abril de 2012. Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas.

Costa, C. R. G. et al. (2016). Estudo Comparativo da Utilização da ABNT NBR 15200:2012 e da ABNT NBR 6118:2014. *REINPEC - Revista Interdisciplinar Pensamento Científico*, 2(1). Retrieved from <http://reinpec.srvroot.com:8686/reinpec/index.php/reinpec/article/view/155>

Gonçalves, M. J. C. R. (2007). *Comportamento ao fogo de elementos estruturais de betão : análise numérica e metodologia* (Tese de doutorado). Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal. Retrieved from <https://repositorio-aberto.up.pt/handle/10216/11946>

Soares, E. M. P. (2003). *Verificação de peças usuais de concreto armado em situação de incêndio* (Dissertação de mestrado). Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG. Retrieved from <http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/handle/1843/FACO-5SMPHR>

Sousa, D. A. de, & Silva, G. P. (2015). *Estruturas de concreto em situação de incêndio* (Trabalho de conclusão de curso). Universidade Federal de Goiás, Goiânia, GO. Retrieved from https://www.eec.ufg.br/up/140/o/ESTRUTURAS_DE_CONCRETO_EM_SITUAÇÃO_DE_INCÊNDIO.pdf

Wickstrom, U. (1986). *A very simple method for estimating temperature in fire exposed concrete structures* (SP Rapport). Retrieved from <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:ri:diva-3987>

AValiação DE DESEMPENHO ACÚSTICO DE UMA HABITAÇÃO EM WOOD FRAME NA CIDADE DE SÃO CARLOS – SP

Data de aceite: 25/05/2021

Alexandre Rodriguez Murari
IAU/USP

Guilherme Côrrea Stamato
Stamade LTDA

Victor José dos Santos Baldan
IAU/USP

Javier Mazariegos Pablos
IAU/USP

RESUMO: O sistema construtivo *wood frame* é um sistema largamente empregado em países como os EUA, Canadá, Japão, dentre outros, e ainda está em fase de implantação no Brasil. É um sistema construtivo leve, onde a madeira é a principal matéria-prima. Pode ser parcial ou totalmente pré-fabricado, possuindo rápida execução e alta durabilidade. A norma NBR 15575 (ABNT, 2013), um marco da construção civil brasileira, estabelece critérios e apresenta metodologias para avaliação de desempenho de edificações habitacionais. Esta pesquisa tem como objetivo avaliar, de acordo com os pré-requisitos estabelecidos pela referida normatização, o desempenho acústico de um painel de vedação vertical externo em *wood frame*, de uma habitação em São Carlos-SP. Para isso, foram realizados testes em campo de isolamento ao ruído aéreo, em frequências que variaram entre 100 e 3150 Hz. A tipologia avaliada apresentou um nível de desempenho superior todas as faixas de frequência. Pode-

se concluir que a tipologia construtiva avaliada possui um desempenho acústico satisfatório.

PALAVRAS-CHAVE: NBR 15575 (ABNT, 2013). Desempenho acústico. Wood frame. Painéis de vedação vertical. Madeira.

ABSTRACT: The wood frame construction system is a widely used system in countries such as the USA, Canada, Japan, among others, and is still being implemented in Brazil. It is a lightweight construction system, where wood is the main raw material. It can be partially or totally prefabricated, having fast execution and high durability. The NBR 15575 (ABNT, 2013), a Brazilian civil construction framework, establishes criteria and presents methodologies for evaluating the performance of residential buildings. This research aims to evaluate, according to the prerequisites established by said standardization, the acoustic performance of a wood frame external vertical panel of a housing in São Carlos-SP. For this, tests were performed in the field of airborne noise insulation. The typology evaluated presented a superior level of performance. It can be concluded that typology evaluated has a satisfactory.

KEYWORDS: NBR 15575 (ABNT, 2013). Acoustic performance. Wood frame. Vertical sealing panels. Timber.

1 | INTRODUÇÃO

O sistema construtivo *wood frame* é um sistema industrializado, com diversas vantagens, relativas ao custo, com rápida execução, alta durabilidade e excelente

desempenho estrutural, acústico e térmico. Basicamente, consiste em painéis estruturados em madeira pinus sp. de floresta plantada tratada autoclavada, combinada com diferentes materiais para revestimento interno e externo, com materiais isolantes no seu interior, para proteção de intempéries, contra o fogo e para melhorar o desempenho (MOLINA; JUNIOR, 2010).

Mesmo sendo largamente utilizado na construção de habitações, em países como os EUA, Canadá, Japão, Alemanha, Nova Zelândia e Chile, ainda está em fase de implantação no Brasil, por diversos fatores, como os culturais, que implicam em uma baixa aceitação por parte dos usuários, que muitas vezes não conhecem o sistema construtivo *wood frame* e associam a madeira com desempenho inadequado quando utilizada em sistemas construtivos de habitações, em vista de exemplos de habitações de baixa qualidade executadas em madeira, de forma artesanal, sem projeto e matéria-prima adequados, ou até por imposições de mercado, pelo uso de estruturas predominantemente de concreto armado.

Pode-se definir o som como qualquer variação de pressão (em um meio de propagação como o ar e a água) captada pelo ouvido humano, sendo assim uma sensação produzida no sistema auditivo. O ruído é um som sem harmonia, composto por um som ou um conjunto de sons indesejáveis, desagradáveis e/ou perturbadores para o ser humano. O critério que distingue o som do ruído é o agente perturbador, que pode variar conforme o fator psicológico de tolerância de cada indivíduo (BISTAFA, 2006).

As normas brasileiras NBR 10151 (ABNT, 2000) e NBR 10152 (ABNT, 1987), estabelecem, com base no tipo de área analisado (áreas rurais, urbanas, mistas e industriais), critérios de avaliação para ambientes externos para avaliação de ruído e níveis de ruído para mensuração do conforto acústico dos usuários das edificações analisadas.

A norma brasileira NBR 15575 (ABNT, 2013), um marco do setor de construção civil brasileiro, foi estabelecida com intuito de que as edificações habitacionais atendam aos requisitos mínimos dos usuários, de segurança, habitabilidade (onde se enquadra o desempenho acústico das edificações habitacionais) e sustentabilidade, dos usuários, independente dos materiais e sistemas construtivos empregados nas edificações habitacionais.

Os sistemas leves de vedações verticais, como os empregados nos sistemas construtivos *wood frame* e *steel frame*, que podem ser pré-fabricados e racionalizados, permitindo uma execução em obra mais eficiente e com menores prazos, em geral, possuem espessura total menor do que as das vedações verticais médias e pesadas, como as alvenarias, mais tradicionais nas edificações brasileiras. Uma vedação vertical leve em *wood frame*, possui diferentes materiais, que podem variar com os requisitos da área em que ela for empregada, como em áreas secas e áreas molhadas, onde são utilizadas diferentes placas e camadas para o revestimento das vedações verticais.

Esta diferença de espessura e de densidade dos materiais utilizados interfere

diretamente na perda de transmissão sonora das vedações verticais. Em geral, vedações verticais com maior espessura e peso específico, possuem maior perda na transmissão sonora e conseqüentemente, um desempenho acústico superior, em uma avaliação que considere somente o ruído aéreo transmitido pela vedação vertical, desconsiderando-se a influência de frestas, portas e janelas. Vedações verticais leves, como as do sistema construtivo *wood frame*, em geral, apresentam desempenho acústico superior quando possuem internamente em seus painéis, camadas de material absorvente, como as lãs de vidro e rocha, com uma espessura de pelo menos 30mm (BISTAFA, 2006).

Este artigo tem como objetivo avaliar o desempenho acústico ao ruído aéreo de uma vedação vertical externa (conjunto fachada e cobertura) de uma habitação em *wood frame* construída conforme as recomendações da Diretriz SINAT nº005 – Revisão 01 (SINAT, 2016), composta por painéis leves, compostos por diferentes materiais isolantes (placas de compensado, gesso acartonado, placas cimentíceas) e absorventes (lã de rocha, lã de vidro).

Para isso, realizou-se ensaios de campo, com diferentes frequências agudas, médias e graves (de 100 a 3150 Hz), para medição do isolamento ao ruído aéreo, conforme método de campo descrito na parte 5 da norma internacional ISO 140 (substituída pela parte 1 norma internacional ISO 16283) indicado na parte 4 da norma brasileira NBR 15575 (ABNT, 2013), que como critério a diferença padronizada de nível ponderada, promovida pela vedação vertical externa.

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Habitação em *wood frame* avaliada

Para este trabalho, avaliou-se uma habitação em *wood frame*, ilustrada na figura 1, localizada em um condomínio de casas, na cidade de São Carlos-SP. Os ensaios de campo foram realizados após a ocupação da edificação.



Figura 1 - Habitação em *wood frame* avaliada, localizada na cidade São Carlos - SP

Fonte: MURARI (2017)¹.

A tipologia construtiva em *wood frame* da habitação avaliada, segue as recomendações da Diretriz SINAT nº005 – Revisão 01 (SINAT, 2016), empregando-se como matéria-prima principal a madeira do gênero *pinus sp.*, que possui como características a de ser leve (baixa densidade), possuir uma estrutura porosa, e ter boa trabalhabilidade, sendo proveniente de florestas plantadas e posteriormente tratada em autoclave com preservantes químicos como o arsenato de cobre cromatado (CCA).

2.2 Características da vedação vertical externa

Para este trabalho, avaliou-se uma habitação em *wood frame*, ilustrada na figura 1, localizada em um condomínio de casas, na cidade de São Carlos-SP. Os ensaios de campo foram realizados após a ocupação da edificação.

¹ A figura 1 faz parte do projeto de pesquisa do autor Alexandre Rodriguez Murari, em fase final de elaboração.



Figura 2 - Vedação vertical externa avaliada

Fonte: MURARI (2017)².

A figura 3 apresenta o corte esquemático com a espessura e disposição de cada um dos diferentes materiais empregados na vedação vertical externa avaliada, com espessura total de 15 cm.

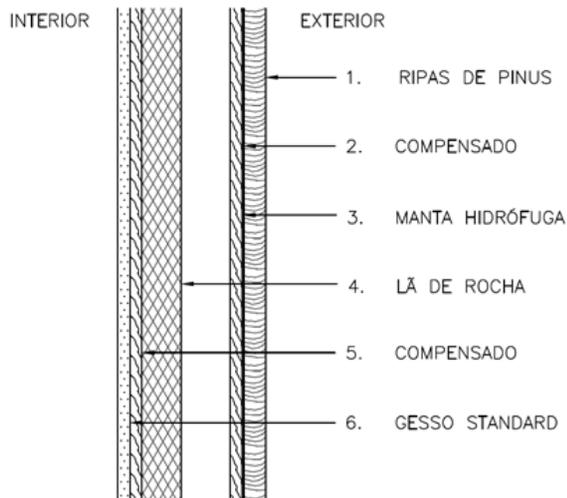


Figura 3 - Corte esquemático da vedação vertical externa avaliada

Fonte: MURARI (2017)³.

2 A figura 2 faz parte do projeto de pesquisa do autor Alexandre Rodriguez Murari, em fase final de elaboração.

3 A figura 3 faz parte do projeto de pesquisa do autor Alexandre Rodriguez Murari, em fase final de elaboração.

2.3 Procedimento do ensaio de campo

Para avaliação do desempenho acústico a vedação vertical externa (conjunto fachada e cobertura) realizou-se ensaios de campo de isolamento sonoro ao ruído aéreo, conforme os procedimentos descritos na norma internacional ISSO 16283-1 (2014), que substituiu a norma ISO 140 (1998), norma esta recomendada pela norma brasileira NBR 15575 (ABNT, 2013) para avaliação do desempenho acústico de edificações habitacionais.

Utilizou-se nos ensaios uma fonte emissora monodirecional de ruído com 30W de potência, com 45° em relação ao plano do piso, e a 5 metros da vedação vertical externa (conjunto fachada e cobertura) avaliada, 2 decibélimetros, e um gerador de sinal, conforme ilustra a figura 4.



Figura 4 - Ensaio realizado em campo pelo método de engenharia para determinação do isolamento sonoro global da vedação externa (conjunto fachada e cobertura)

Fonte: MURARI (2017)⁴.

Gerou-se ruídos com diferentes frequências (agudas, médias e graves), e mediu-se simultaneamente o nível de ruído exterior a 3 metros da fonte emissora unidirecional com inclinação de 45° (a 2 metros da vedação vertical externa), e o nível de ruído interior. O resultado do isolamento ao ruído aéreo se dá pelo valor mínimo da diferença padronizada de nível ponderada $D_{2m,nT,w}$, conforme está descrito na tabela 16 da parte 4 norma brasileira NBR 15575 (ABNT, 2013).

⁴ A figura 4 faz parte do projeto de pesquisa do autor Alexandre Rodriguez Murari, em fase final de elaboração.

2.4 Critérios de desempenho acústico

A parte 1 da norma brasileira NBR 15575 (ABNT, 2013) traz requisitos gerais para edificações habitacionais, onde o desempenho acústico é um dos requisitos do usuário, relativo à habitabilidade.

Em relação ao requisito níveis de ruídos permitidos na habitação, o critério é a diferença padronizada de nível ponderada, promovida pela vedação externa.

O quadro 1, adaptado tabela 17 da parte 4 da norma brasileira NBR 15575 (ABNT, 2013), apresenta os valores mínimos da diferença padronizada de nível ponderada $D_{2m,nT,w}$, conforme a classe de ruído da habitação avaliada.

Classe de ruído	Localização da habitação	$D_{2m,nT,w}$ (db)
I	Habitação localizada distante de fontes de ruído intenso	≥ 20
II	Habitação localizada em situações de ruído não enquadráveis nas classes I e III	≥ 25
III	Habitação sujeita a ruído intenso	≥ 30

Quadro 1 – Valores mínimos da diferença padronizada ponderada da vedação externa de dormitório

Fonte: Adaptada da parte 4 da NBR 15575 (ABNT, 2013)

O quadro 2, adaptado do anexo F recomendações relativas ao nível de desempenho, M – mínimo, I – intermediário, e S – superior, da diferença padronizada de nível ponderada, a 2 metros da vedação vertical externa avaliada.

Classe de ruído	Localização da habitação	$D_{2m,nT,w}$ (db)	Nível de desempenho
I	Habitação localizada distante de fontes de ruído intenso	≥ 20	M
		≥ 25	I
		≥ 30	S
II	Habitação localizada em situações de ruído não enquadráveis nas classes I e III	≥ 25	M
		≥ 30	I
		≥ 35	S
III	Habitação sujeita a ruído intenso	≥ 30	M
		≥ 35	I
		≥ 40	S

Quadro 2 – Níveis de desempenho da vedação vertical externa, relativos a diferença padronizada ponderada

Fonte: Adaptada da parte 4 da NBR 15575 (ABNT, 2013)

3 I RESULTADOS

Realizou-se ensaios de isolamento acústico ao ruído aéreo de uma vedação vertical externa (conjunto fachada e cobertura), de uma habitação em *wood frame* recém construída e ocupada, localizada em um condomínio de casas na cidade de São Carlos-SP, sendo em um local que pode ser classificado com classe de ruído I, por estar afastado de fontes de ruído intenso de natureza qualquer (aeroportos, estádios, ferrovias, rodovias etc.).

O Quadro 3 apresenta os resultados obtidos nos ensaios realizados pelo método de engenharia realizado em campo, através do nível de desempenho descrito no quadro 2 deste trabalho (sendo S um desempenho considerado superior) agrupados por faixas de frequências de ruído (agudas, médias e graves), das frequências utilizadas nos ensaios.

Frequências (Hz)	Classe de ruído	$D_{2m,nT,w}$	Nível de desempenho
Agudas	I	47,1	S
Médias	I	40,6	S
Graves	I	31,6	S

Quadro 3 – Resultados dos ensaios de campo

Fonte: MURARI (2017)⁵.

4 I CONSIDERAÇÕES FINAIS

A vedação externa (conjunto fachada e cobertura) avaliada apresentou um resultado de desempenho acústico satisfatório, não só atendendo ao critério mínimo, com apresentado um desempenho superior de isolamento ao ruído aéreo para as faixas de frequências agudas médias e graves. Novos ensaios poderão ser realizados, quando a habitação estiver com os forros dos beirais concluídos, para verificar uma possível melhora nos níveis de desempenho da vedação vertical externa (conjunto fachada e cobertura) avaliada em relação ao isolamento ao ruído aéreo.

Os resultados positivos indicam a adequabilidade o sistema construtivo em *wood frame* frente as indicações de desempenho acústico da norma NBR 15575 (ABNT, 2013), corroborando para utilização deste sistema construtivo.

Em futuros trabalhos, pode-se realizar ensaios em outras vedações externas e elementos específicos, portas e esquadrias, da habitação em *wood frame* estudada. Também pode-se avaliar as vedações internas, para avaliação do isolamento ao ruído aéreo entre diferentes cômodos da edificação habitacional, para obtenção de outros resultados, mais específicos e completos, para obtenção de resultados globais de desempenho acústico,

5 O quadro 3 faz parte do projeto de pesquisa do autor Alexandre Rodriguez Murari, em fase final de elaboração.

pois desempenho acústico e o isolamento acústico dos elementos e componentes de uma edificação habitacional dependem de diversos fatores, como os materiais empregados (EGAN, 2007), a geometria dos elementos, possíveis fretas e pequenos orifícios que interferem negativamente no isolamento ao ruído aéreo externo e interno, entre diferentes cômodos, ou seja, do sistema construtivo como um todo.

REFERÊNCIAS

ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10151. Acústica - Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade - Procedimento. Rio de Janeiro, 2003.

_____. NBR 10152: Níveis de ruído para conforto acústico – Procedimento. Rio de Janeiro, 1987.

_____. NBR 15575-1: Edificações habitacionais – Desempenho. Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013.

_____. NBR 15575-4: Edificações habitacionais – Desempenho. Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas – SVVIE. Rio de Janeiro, 2013.

BRASIL. Ministério das Cidades. Diretrizes para Avaliação Técnica de Produtos – SINAT. Diretriz SINAT No 005 – Revisão 01 – Sistemas construtivos estruturados em peças de madeira maciça serrada, com fechamentos em chapas delgadas (Sistemas leves tipo “Light Wood Framing”). Brasília, DF, 2016. Disponível em: <http://www.cidades.gov.br/pbqp-h/projetos_sinat.php>. Acesso em maio de 2017.

BRASIL. Ministério das Cidades. Sistema Nacional de Avaliações Técnicas – SINAT. DATec SINAT No 020A – Sistema de vedação vertical leve em madeira. Brasília, DF, 2012. Disponível em: <http://www.cidades.gov.br/pbqp-h/projetos_sinat.php>. Acesso em maio de 2017.

BARING, J. G. D. A. Sustentabilidade e o controle acústico do meio ambiente. *Acústica e Vibrações*, n. 38, p. 1–6, Março de 2007.

BAYEH, R.; AKUTSU, M.; AQUILINO, M.; SALES, E.; BRITO, A.; VITTORINO, F. Desenvolvimento de método para medição de isolamento sonora em fachadas em andares elevados atendendo à norma ABNT NBR 15575. In: XVI Encontro Nacional de Tecnologia Do Ambiente Construído, 2016, São Paulo. Anais... ANTAC 2016. BISTAFA, S. R. *Acústica Aplicada ao Controle do Ruído*. São Paulo: Blucher, 2006.

EGAN, M. D. *Architectural Acoustics*. New York: McGraw-Hill, 2007.

ISO. INTERNATIONAL STANDARDS ORGANIZATION. ISO 140-5: Acoustics - Measurement of sound insulation in buildings and of building elements - Part 5: Field measurements of airborne sound insulation of façade elements and façades. 1998.

ISO. INTERNATIONAL STANDARDS ORGANIZATION. ISO 140-5: Acoustics - Measurement of sound insulation in buildings and of building elements - Part 5: Field measurements of airborne sound insulation of façade elements and façades. 1998.

_____.ISO 16283-1: Acoustics - Field measurement of sound insulation in buildings and of building elements - Part 1: Airborne sound insulation. 2014.

MOLINA, J. C.; JUNIOR, C. C. Sistema construtivo em wood frame para casas de madeira. São Paulo, SP, 2010. Ciências Exatas e Tecnológicas, Londrina, V.31, n.2, 2010. EDUCAÇÃO para todos: o imperativo da qualidade. Brasília, DF: Unesco, 2005.

CAPÍTULO 6

SISTEMA DE MONITORAMENTO TÉRMICO DE BAIXO CUSTO PARA ÁREAS DE ARMAZENAMENTO DE MEDICAMENTOS

Data de aceite: 25/05/2021

Data de submissão: 08/04/2021

Anderson Natel Soares

Curso de Eletrônica Industrial
Instituto Federal do Rio Grande do Sul –
Campus Restinga
Porto Alegre – RS

RESUMO: No Brasil, a modernização da indústria farmacêutica, no âmbito de garantir o atendimento às normas nacionais e internacionais de boas práticas de fabricação de medicamentos, é uma realidade. Com o aumento da cobrança dos requisitos normativos, pelos órgãos regulatórios nacionais, e conforme acordo de cooperação internacional, o qual traz a iniciativa internacional de modernização de instrumentos regulatórios, o Brasil passa a contar com o reconhecimento global da excelência das inspeções em Boas Práticas de Fabricação (BPF) de medicamentos e insumos farmacêuticos de uso humano. Esse acordo marca também a necessidade de as indústrias farmacêuticas brasileiras melhorarem seus processos e investirem em tecnologias, de modo a dar mais robustez a seus processos e qualidade ao produto final, assim minimizando os riscos aos usuários de medicamentos e atendendo aos aspectos regulatórios. O atual cenário econômico brasileiro faz as indústrias farmacêuticas reinventarem seus processos, buscando encontrar soluções tecnológicas de baixo custo, através de sistemas embarcados,

internet das coisas e softwares.

PALAVRAS-CHAVE: Indústria farmacêutica. Sistemas embarcados. Internet das coisas. Boas Práticas de Fabricação (BPF).

LOW COST THERMAL MONITORING SYSTEM FOR MEDICINE STORAGE AREAS

ABSTRACT: In Brazil, the modernization of the pharmaceutical industry, to ensure compliance with national and international regulations of good manufacturing practices of medicines, is a reality. With the rising normative requirements, by the national regulatory bodies, and according to the international cooperation agreement, which brings the international initiative of modernization of regulatory instruments, Brazil starts to count on the global recognition of excellence in Good Manufacturing Practices (GMP) inspections in medicines and pharmaceutical ingredients industry. This agreement also marks the need for Brazilian pharmaceutical industries to improve their processes and invest in technologies, in order to add robustness to their processes and quality to the final product, thereby minimizing the risks to medicine users and comply with regulatory aspects. The current Brazilian economic scenario makes the pharmaceutical industries to reinvent their processes, looking for low-cost technological solutions, through embedded systems, internet of things and software.

KEYWORDS: Pharmaceutical industry. Embedded systems. Internet of things. Good Manufacturing Practices (GMP).

1 | INTRODUÇÃO

As adequações feitas por reguladores de “*Good Manufacturing Practices*” (GMP) nos Estados Unidos, Canadá, União Europeia, Austrália e China, têm aprimorado o foco em procedimentos, métodos de controle de qualidade, fabricação, condições de instalações, equipamentos e sua manutenção, embalagens, armazenamento e distribuição dos produtos. Acompanhando esse aprimoramento e a globalização da indústria farmacêutica internacional, torna-se necessário, para as indústrias brasileiras, a adequação às normas e padrões internacionais relacionados à produção de medicamentos.

No Brasil, essa adequação se complementa através do atendimento das resoluções da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), como, por exemplo, através da Resolução RDC nº 301, de 21 de agosto de 2019, a qual Dispõe sobre as Diretrizes Gerais de Boas Práticas de Fabricação de Medicamentos em si (ANVISA, 2019).

2 | DESENVOLVIMENTO

Este trabalho tem como objetivo dar ênfase às práticas de monitoramento térmico das áreas de armazenamento de medicamentos e produtos farmacêuticos com ênfase no atendimento dos requisitos da resolução em vigência, conforme o capítulo II – Das Boas Práticas de Fabricação de Medicamentos (Seção II) e capítulo IV – Das Instalações e Equipamentos (Subseção I, II e III).

Tal monitoramento térmico propõe uma análise apurada para as variáveis físicas, como temperatura e umidade, e seus comportamentos periódicos, sob forma de validar as áreas conforme estudo de monitoramento e mapeamento de risco ambiental “Perfil térmico”. Para mapear um espaço de armazenamento, devem-se identificar áreas, onde a qualidade do produto pode estar em risco por conta das variações inaceitáveis de temperatura e umidade e, através desse mapeamento, promover ações que preconizam dar segurança e confiabilidade ao processo que se avalia.

Esta proposta de trabalho desenvolve um sistema de monitoramento térmico de baixo custo para a indústria farmacêutica e é voltada para realização de mapeamento de riscos de áreas de armazenamento e almoxarifado. Este sistema será implementado através de um software de Supervisão e Aquisição de Dados (no original, em inglês, *Supervisory Control and Data Acquisition – SCADA*), com banco de dados dentro do servidor local, ou remoto em nuvens, o qual recebe as informações da rede de sensores *wi-fi*, padrão IEEE 802.11 (IEEE ASSOCIATION, 2018), da plataforma embarcada composta com microcontroladores e sensores capacitivos.

O sistema proposto é inovador, pois substitui a necessidade de preenchimento de formulários e o uso exclusivo de uma pessoa para executar as medições. Também implementa tecnologia que permite cálculos automatizados para correção de curvas dos sensores, com medidas que podem ser visualizadas em tempo real, na forma estatística e

gráfica, através de tela do supervisor SCADA.

O armazenamento dos dados medidos é feito de forma segura, em um banco de dados, onde são armazenadas as variáveis medidas em períodos pré-definidos e quantidades de acordo com o perfil térmico, com base em uma análise de risco realizada pelo usuário, de acordo com grau de criticidade da área.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (ANVISA). **Resolução RDC nº 301, de 21 de agosto de 2019**. Dispõe sobre as Diretrizes Gerais de Boas Práticas de Fabricação de Medicamentos. Brasília: Diário Oficial da União, 2019. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/resolucao-rdc-n-301-de-21-de-agosto-de-2019-211914064>. Acesso em: 20 mar. 2021.

BAILEY, David; WRIGHT, Edwin. **Practical SCADA for industry**. 1. ed. Burlington: Newnes, 2003.

IEEE ASSOCIATION. **IEEE 802.11**: wireless lans. 2018. Disponível em: <http://standards.ieee.com>. Acesso em: 20 mar. 2021.

LEONARDI, Egle. **BPF de medicamentos muda com integração ao PICs**. Goiânia: Instituto de Ciência, Tecnologia e Qualidade, 2019. Disponível em: <https://www.ictq.com.br/industria-farmaceutica/919-bpf-de-medicamentos-muda-com-integracao-ao-pics>. Acesso em: 20 mar. 2021.

VAISALA. **Mapeamento GMP de almoxarifados**: orientações passo a passo para validação de instalações de depósitos para ambientes biocientíficos. São Paulo, 2021. Disponível em: <https://www.vaisala.com/pt>. Acesso em: 20 mar. 2021.

DESENVOLVIMENTO DE PAINEL RECONSTITUÍDO PLÁSTICO-MADEIRA DE BAIXA DENSIDADE

Data de aceite: 25/05/2021

Data de submissão: 04/04/2021

Alice Fontineles Ribeiro

Universidade do Estado do Pará – UEPA
Paragominas – PA
<http://lattes.cnpq.br/4631870905476239>

Marcio Franck de Figueiredo

Departamento de Tecnologia de Recursos
Naturais – DTRN – UEPA
Belém – PA
<http://lattes.cnpq.br/6969421942963998>

Jose Leonardo dos Santos Carvalho

Universidade Federal Rural da Amazônia –
UFRA
Belém – PA
<http://lattes.cnpq.br/0749465407498997>

Fabiana Martins Souza da Silva

Universidade do Estado do Pará – UEPA
Paragominas – PA
<http://lattes.cnpq.br/2958719788693237>

Juliana Fonseca Cardoso

Universidade do Estado do Pará – UEPA
Paragominas – PA
<http://lattes.cnpq.br/3915225923947186>

RESUMO: A pesquisa consiste no desenvolvimento de um painel reconstituído plástico-madeira de baixa densidade. Para isso, foram utilizadas fibras particuladas de madeira como carga e policloreto de vinila pós consumo, em solução, como matriz. Os painéis foram

produzidos através do processo de infiltração da solução polimérica nas fibras particuladas, sendo a mistura condicionada em moldes de aço de 20cm x 15cm x 2,5 cm e prensadas a frio por 48 horas. Foram produzidas placas em 3 proporções distintas, das quais foram retirados corpos de prova para a determinação da densidade e absorção de água do painel. A densidade obtida de 29,97 g/cm³ colocou o painel na classe de baixa densidade e os valores de absorção de água foram mais elevados que os observados na literatura para painéis plástico-madeira com proporções variadas de fibra e polímero.

PALAVRAS-CHAVE: Painel reconstituído. Policloreto de vinila. Painel de baixa densidade. Plástico-madeira.

DEVELOPMENT OF LOW DENSITY PLASTIC-WOOD RECONSTITUTED PANEL

ABSTRACT: The research consists in the development of a low density plastic-wood reconstituted panel. For that, particulate wood fibers were used as filler and post-consumer polyvinyl chloride, in solution, as a matrix. The panels were produced through the infiltration process of the polymeric solution in the particulate fibers, the mixture being conditioned in steel molds of 20cm x 15cm x 2.5 cm and cold pressed for 48 hours. Plates were produced in 3 different proportions, from which specimens were taken to determine the density and water absorption of the panel. The obtained density of 29.97 g / cm³ placed the panel in the low density class and the water absorption values were higher than those

observed in the literature for plastic-wood panels with varying proportions of fiber and polymer.

KEYWORDS: Reconstituted panel. Polyvinyl chloride. Low density panel. Plastic-wood.

1 | INTRODUÇÃO

A quantidade significativa de resíduos lignocelulósicos oriundos de indústrias de base florestal no Estado do Pará preocupa, quer pela quantidade produzida ao longo de anos, quer pela destinação inadequada, que encontrava na queima para produção de energia ou descarte à céu aberto, uma solução paliativa, porém nada nobre ou ecológica para o problema.

Além dos resíduos tradicionais como a serragem, aparas, cavacos, costaneiras e pó de lixa, a implantação e início das atividades da fábrica de painéis MDF (*Medium Density Fiberboard*) no ano de 2010 em Paragominas, além de aquecer a economia, trouxe a reboque, uma nova variedade de resíduos lignocelulósicos particulados provenientes tanto do processo de fabricação do MDF quanto da fabricação de móveis em MDF.

Assim como a madeira e seus subprodutos, os plásticos pós consumo constituem também uma preocupação. Segundo a Abiplast (2014), 80,3% do resíduo urbano tem ido parar em lixões ou aterros sanitários. Destes, 13,5% formados por plásticos pós consumo que poderiam ser reciclados. Entre estes plásticos, destaca-se o policloreto de vinila (PVC), um dos polímeros mais consumidos, com aplicação destacada na construção civil, sendo chamado de commodities devido à grande produção e aplicação.

A necessidade de se encontrar soluções para o aproveitamento desses resíduos e consequente redução no impacto sobre as florestas e a diminuição na produção de produtos à base de petróleo tem estimulado o estudo e desenvolvimento de novos materiais que os utilizem como matéria-prima, como os materiais compósitos.

De acordo com Mattos et. al (2014), Xu et. al (2015) e Fiore et. al (2016), um material compósito é aquele derivado da combinação de dois ou mais materiais componentes, diferentes entre si em nível macro ou micro, independente do estado físico em que se encontrem. O material compósito apresentará uma fase contínua, matriz, que geralmente receberá um ou mais componentes, normalmente cargas dispersas na matriz.

Segundo Gurunathan et. al (2015), as características físicas ou mecânicas desse material estarão intimamente relacionadas às características individuais dos componentes ou da forma que os mesmos interagirão entre si. Ridzuan et. al (2016), acrescenta em seu estudo que estas características serão potencializadas ou não, dependendo tanto da relação/proporção dos componentes envolvidos quanto das condições de processamento.

Considerando este cenário de oportunidades para pesquisas que busquem alternativas para a utilização destes resíduos, este trabalho se propõe a desenvolver um painel reconstituído a base de PVC e resíduos lignocelulósicos da indústria de base florestal.

2 | MATERIAIS E MÉTODO

Para o desenvolvimento e obtenção do painel reconstituído plástico-madeira a pesquisa foi dividida em 5 etapas distintas.

2.1 Coleta, classificação e preparação das fibras

Nesta etapa, foram coletados em uma indústria de base florestal no município de Paragominas – PA, resíduos do processo de fabricação de MDF. Após a coleta, o material foi condicionado em sacos plásticos e transportado para o Laboratório de Inovação, Ciência e Tecnologia de Produtos Florestais – LICTM, da Universidade do Estado do Pará, Campus Paragominas. Em laboratório, o resíduo foi lavado em água quente para retirada de impurezas e abertura da superfície da fibra seguindo metodologia utilizada por Valero et. Al (2015) e Quiroga et. al (2016). Após a lavagem, o material foi submetido a secagem em estufa com circulação de ar a 105° C por 72 h. Terminado o processo, as fibras foram condicionadas em sacos plásticos, identificadas e separadas para a produção do painel.

2.2 Coleta, identificação e processamento do pvc pós consumo

Nesta etapa foi realizada a coleta seletiva do policloreto de vinila pós-consumo, a identificação dele através da simbologia padrão utilizada pela indústria de plásticos, a lavagem, secagem e processamento mecânico para a produção de particulados de policloreto de vinila a ser utilizado na produção da solução polimérica. Sobre o processamento mecânico do polímero, optou-se por fracioná-lo em partículas de aproximadamente 4 cm².

2.3 Obtenção de polímero reciclado em solução

Nesta etapa foi produzida a solução de policloreto de vinila reciclado, seguindo a metodologia utilizada por Figueiredo et. al (2016). Onde foi utilizada uma proporção de 0,08 g de partículas de PVC para 1 ml de Metil-Etil-Cetona, os quais foram misturados com auxílio do agitador magnético de aquecimento, sob rotação variando de 1475-1490 rpm e 70°C de aquecimento para a solubilização do PVC.

2.4 Produção de painel reconstituído plástico-madeira

Nesta etapa foi produzido o painel reconstituído adaptando a metodologia utilizada por Figueiredo et. al (2016), para infiltração e mistura de fibras naturais com polímeros em solução. Após a infiltração, o composto foi para o molde e prensagem a frio por 48 h para a solidificação do compósito e eliminação de solvente residual, respeitando os tratamentos para proporções sugeridos por Chavooshi et. al (2014) e Nirmal et. al (2015), de 40% de fibra para 60% de policloreto de vinila em solução; 50% de fibra para 50% policloreto de vinila em solução e 60% de fibra para 40% policloreto de vinila em solução.

O molde em aço, foi produzido nas dimensões 20x15x2,5 cm. Para o painel com

proporção de 60% de fibras para 40% de PVC, foram utilizados 72 g de resíduo de MDF e 48 g de PVC que correspondem a 600 ml de solução PVC. O material foi misturado manualmente no interior da capela de exaustão química. Passou 1 hora exposto a condições ambiente, para então ser transferido para o molde em aço, o qual foi acoplado a uma prensa hidráulica e submetido a aplicação de 2 toneladas de força.

O painel plástico-madeira de proporção 50% de fibras para 50% de PVC, foi desenvolvido com 88 g de resíduo de MDF e 88 g de PVC, equivalentes a 1.100 ml de solução. Já o compósito de 40% de fibras e 60% de PVC, foi desenvolvido com 88 g de resíduo de MDF e 132 g de PVC ou 1.650 ml de solução.

Após prensagem do material, o mesmo ficou exposto a condições ambiente durante 48 horas para evaporação do solvente. Por conseguinte, o material foi desmoldado e acondicionado em estufa de circulação de ar forçada a 120°C, durante o período de 24 horas.

2.5 Caracterização do painel

Após a produção dos painéis, foram preparados corpos de prova para a caracterização quanto a densidade e absorção de água utilizando a metodologia de Chavooshi et. al (2014) assim como de Kengkhetkit e Amornsakshai (2014).

Para isso foram confeccionados 10 corpos de prova de cada compósito, sendo 5 amostras para cada ensaio, nas dimensões 5x3x2,5 cm, adaptado da ABNT NBR 7190/97.

Para determinação da densidade básica os corpos de prova ficaram imersos em água por 24 horas no dessecador acoplado a bomba a vácuo, até estarem completamente saturados, ocasião em que foi determinado o volume saturado, com auxílio de uma balança de precisão acompanhada de um tripé universal, garra metálica e um Becker de 400 ml preenchido com água destilada.

Em seguida os corpos de prova foram colocados em estufa com circulação forçada de ar a uma temperatura de 103 ± 2°C durante 48 horas até atingirem massa constante, então foram pesados em balança de precisão para determinar a massa seca. Após a secagem o volume e a massa foram tomados novamente. A densidade básica foi determinada pela Equação 1.

$$\rho = \frac{m_{0\%}}{V_{sat}}$$

Onde:

ρ = densidade básica (g/cm³);

$m_{0\%}$ = massa seca (g);

V_{sat} = volume saturado (cm³).

Equação 1: Densidade Básica.

Para determinação do índice de absorção de água foi observada a norma ABNT

NBR 9486/2011, onde inicialmente os corpos de prova foram aquecidos por 24 horas, na temperatura de $50 \pm 2^\circ\text{C}$, para obtenção da massa inicial. Em seguida eles foram submersos em água destilada a temperatura ambiente pelo período de 24 horas, para obtenção da massa final. Os valores referentes a absorção de água dos compósitos foram avaliados em porcentagem de diferença entre a medição prévia e medição posterior a imersão conforme a Equação 2.

$$A = \frac{Mf - Mi}{Mi} \times 100$$

Onde:

A = Quantidade de água absorvida (%);

Mf = Massa final do corpo de prova (g);

Mi = Massa inicial do corpo de prova (g).

Equação 2: Índice de Absorção

3 | RESULTADOS

Foram produzidos três painéis reconstituídos plástico-madeira, nas proporções 40% PVC - 60% Resíduo de MDF; 50% PVC - 50% Resíduo de MDF, e; 60% PVC - 40% Resíduo de MDF.

Em relação a caracterização do painel reconstituído, os resultados de densidade obtidos variam de 29,97 a 37,80 g/cm³, conforme Tabela 1, sendo que o compósito mais denso é aquele que possui maior quantidade de polímero na composição.

DENSIDADE BÁSICA (g/cm ³)						
PVC/RES.	1	2	3	4	5	Média (g/cm ³)
40/60	24,47	36,05	30,56	24,91	33,88	29,97
50/50	39,18	40,36	39,63	38,59	40,96	39,74
60/40	34,85	40,06	39,4	36,18	38,54	37,80

Tabela 1: Densidade básica das amostras de compósito.

Fonte: Ribeiro (2018).

Houve variação na densidade dos corpos de prova da mesma classe de proporção resíduo/polímero. De acordo com Pauleski et. al (2007) e Ozkan et. al (2015), isto, se deve a dificuldade de controlar a perda de material durante a prensagem e a falta de homogeneidade na distribuição manual para formação das placas.

A média de valores de densidade obtidas caracteriza o material, de forma geral, como pouco denso. De acordo com Hadjadj et. al (2016), isto implica na futura utilização do

produto formulado, que dentro destas condições pode ser destinado a mobiliário na forma de portas como também painéis para isolamento térmico e acústico.

Sobre a taxa de absorção de água, os valores foram bastante variados, conforme Tabela 2, e no geral, muito altos, principalmente, quando comparados com os resultados obtidos por Teixeira et. al (2002), que trabalhou as mesmas proporções de resíduo/polímero e obteve taxas de absorção entre 2,77 e 25,50%.

ABSORÇÃO DE ÁGUA (%)						
PVC/RES.	1	2	3	4	5	Média (%)
40/60	67,74	139,00	59,14	151,24	83,72	100,17
50/50	176,88	70,66	59,00	83,99	84,48	95,00
60/40	44,29	46,86	58,75	39,88	50,30	48,02

Tabela 2: Taxa de absorção de água do material compósito.

Fonte: Ribeiro (2018).

O painel que apresentou a melhor resposta a este ensaio, foi o com maior taxa de polímero na composição, que absorveu em média 48% de água. Isso se deve a característica impermeabilizante dos materiais plásticos.

4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

O painel reconstituído plástico-madeira de proporção 60% de PVC para 40% de fibra, apresentou densidade 37,80 g/cm³ e taxa de 48% de absorção de água, sendo estes os melhores resultados obtidos.

Com essas características físicas, tal material pode ser indicado como painel de baixa densidade de uso múltiplo.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DO PLÁSTICO- ABIPLAST. **Indústria brasileira de transformação de material plástico**. 48 p. 2014

CHAVOOSHI, A.; MADHOUSHI, M.; SHAKERI, A.; KHAZAEIAN, A. **A comparative study on the effects of material blending method on the physico-mecchanical properties of WPCs made from MDF dust**. Journal of Applied Polymer Science. v. 131, n. 15, p. 40513 – 40520. 2014

FIGUEIREDO, M. F. de.; DIAS, C. G. B. T.; SOUSA, M. A. R. **Painel reconstituído a base de resíduos de MDF e PVC**. XV EBRAMEM – ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA. Curitiba – PR. 2016

- FIGLIORE, V.; SCALICI, T.; NICOLETTI, F.; VITALE, G.; PRESTIPINO, M.; VALENZA, A. **A new eco-friendly chemical treatment of natural fibres: Effect of sodium bicarbonate on properties of sisal fibre and its epoxy composites.** Composites Part B. v. 85. P 150-160. 2016.
- GURUNATHAN, T.; MOHANTY, S.; NAYAK, K. **A review of the recent developments in biocomposites based on natural fibres and their application perspectives.** Composites: Part A. v. 77. P. 1 – 25. 2015.
- HADJADJ, A.; JBRA, O.; TARA, A.; GILLIOT, M.; MALEK, F.; MAAFI, E. M.; TIGHZERT, L. **Effects of cellulose fiber content on physical properties of polyurethane based composites.** Composites Structures. v. 135. p. 217-223. 2016
- KENGKHETKIT, N.; AMORNSAKSHAI, T. **A new approach to “Greening” plastic composites using pineapple leaf waste for performance and cost effectiveness.** Materials and Design. v. 55. p. 292–299. 2014
- MATTOS, B. D.; MISSO, A. L.; CADEMARTORI, P. H. G de.; MAGALHÃES, W. L. E.; GATTO, D. A. **Properties of polypropylene composites filled with a mixture of household waste of mate-tea and wood particles.** Construction and Building Materials. v. 61. P. 60-68. 2014
- NIRMAL, U.; HASHIM, J.; AHMAD, M. M. H. M. **A review on tribological performance of natural fibre polymeric composites.** Tribology International. v. 83. p. 77-104. 2015.
- ÖZKAN, K.; ERGIN, S.; IŞIK, Ş.; IŞIKLI, İ. **A new classification scheme of plastic wastes based upon recycling labels.** Waste Management. v. 35. p. 29–35. 2015
- PAULESKI, D. T.; HASELEIN, C. R.; SANTINI, E. J.; RIZZATI, E. **Características de compósitos laminados manufaturados com polietileno de alta densidade (PEAD) e diferentes proporções de casca de arroz e partículas de madeira.** Ciência Florestal, v. 17, n. 02, p. 157 – 170. 2007
- QUIROGA, A. MARZOCCHI, V. RINTOUL, I. **Influence of wood treatments on mechanical properties of woodcement composites and of Populus Euroamericana wood fibers.** Composites Part B. v. 84. P. 25 – 32. 2016
- RIDZUAN, M. J. M.; MAJID, M.S.; AFENDI, M.; AQMARIAH KANAFIAH, S. N.; ZAHRI, J.M.; GIBSON, A.G. **Characterisation of natural cellulosic fibre from Pennisetum purpureum stem as potential reinforcement of polymer composites.** Materials and Design. v. 89. P. 839-847. 2016
- TEIXEIRA, D. E.; MOREIRA, J. M. A. P.; COSTA, A. F. da. **Confecção de composto de madeira-plástico utilizando resíduos de *Eucalyptus grandis* Hill Ex Maiden e polietileno de baixa densidade (PEBD).** Revista Floresta e Ambiente, v. 09, n. 01, p. 72 – 80, 2002.
- VALERO, C. F.; MENDOZA, A. O.; ANDRÉS, J. A.; SÁNCHEZ, C. G. **Mechanical recycling and composition effects on the properties and structure of hardwood cellulose-reinforced high density polyethylene eco-composites.** Composites: Part A. v 69. p. 94–104. 2015
- XU, K.; FENG, J.; ZHONG, T.; ZHENG, Z.; CHEN, T. **Effects of volatile chemical components of wood species on mould growth susceptibility and termite attack resistance of wood plastic composites.** International Biodeterioration & Biodegradation. v. 100. p. 106-115. 2015

CAPÍTULO 8

SANEAMENTO BÁSICO E ENTEROPARASIToses: INFLUÊNCIA DIRETA NA RELAÇÃO SAÚDE- DOENÇA

Data de aceite: 25/05/2021

Data de submissão: 07/03/2021

Bianca Vallery Fabiano

Acadêmica do Curso de Biomedicina,
UNICESUMAR
Londrina (PR)
Bolsista do PIBIC 8 - UniCesumar

Leonardo Muniz Belizário

Acadêmico do Curso de Biomedicina,
UNICESUMAR
Londrina (PR)
Voluntário do PIBIC 8 - UniCesumar

Andressa Cristina Kretschmer

Nutricionista, Mestre em Ciências da Saúde e
doutoranda do Programa de Saúde Coletiva da
Universidade Estadual de Londrina

Rodrigo José Paiva Cruz

Engenheiro Civil, mestre em Engenharia de
Edificações e Saneamento pela Universidade
Estadual de Londrina e professor da
Universidade Estadual de Londrina

Isis Carolina Massi Vicente

Advogada, Coordenadora dos cursos da saúde
da UNICESUMAR
Londrina (PR)

Daniela Sikorski

Assistente Social, Docente, Supervisora
Acadêmica da UNICESUMAR
Londrina (PR)

Luana Aparecida Cossentini

Biomédica. Doutora em Patologia Experimental,
docente e coordenadora de pesquisa na
UNICESUMAR
Londrina

RESUMO: As parasitoses intestinais contribuem para a morbidade e mortalidade de pessoas em todo o mundo, principalmente nos países subdesenvolvidos ou em desenvolvimento. A prevalência de parasitoses intestinais humanas nestes países apresenta frequências mais altas para *Strongyloides stercoralis*, *Ascaris lumbricoides* e *Giardia lamblia*, os quais podem causar danos ao organismo como um todo, principalmente carências nutricionais. Uma das justificativas para o aumento da ocorrência dessas doenças é devido à contribuição e distribuição financeira insuficiente para a adoção de medidas de saneamento básico e tratamento, além da falta de participação e envolvimento da comunidade. Como principal objetivo temos a premissa de contribuir com o entendimento da correlação entre parasitoses intestinais e saneamento básico, passando pelas questões sócio-epidemiológicas. Para tal, foi realizada uma revisão bibliográfica com os principais artigos sobre o tema em revistas acadêmicas científicas disponíveis on-line e impressas, reunindo e comparando os diferentes dados encontrados nas fontes de consulta.

PALAVRAS-CHAVE: Saneamento Básico, enteroparasitoses, interdisciplinar.

BASIC SANITATION AND ENTEROPARASITOSEs: DIRECT INFLUENCE ON THE HEALTH-DISEASE RELATIONSHIP

ABSTRACT: Intestinal parasitosis contributes to the morbidity and mortality of people worldwide, especially in underdeveloped or developing countries. The prevalence of human intestinal parasitosis in these countries has higher frequencies for *Strongyloides stercoralis*, *Ascaris lumbricoides* and *Giardia lamblia*, which can cause damage to the body as a whole, especially nutritional deficiencies. One of the justifications for the increase in the occurrence of these diseases is due to the insufficient contribution and financial distribution for the adoption of basic sanitation and treatment measures, in addition to the lack of participation and involvement of the community. As main objective we have the premise of contributing to the understanding of the correlation between intestinal parasites and basic sanitation, going through socio-epidemiological issues. To this end, a bibliographic review was carried out with the main articles on the topic in scientific academic journals available online and in print, gathering and comparing the different data found in the consultation sources.

KEYWORDS: Basic sanitation, enteroparasitoses, interdisciplinary.

1 | ENTEROPARASITOSEs

A ocorrência das enteroparasitoses intestinais está diretamente ligado a economia, e tem em sua maior parte, grandes níveis de incidência em países em desenvolvimento. Essas parasitoses se caracterizam por serem um grande problema de saúde pública mundial, porém ainda omitida pelas autoridades (BELLOTO et al. 2011).

Quando falamos em parasitismo intestinal estamos nos referindo a uma relação interespecífica, ou seja, uma relação entre duas espécies distintas. Neste caso os principais parasitas são pertencentes ao filo dos nematelmintos e platelmintos, no qual habitam o trato gastrointestinal retirando alimento para sua sobrevivência, não trazendo nenhum benefício ao seu hospedeiro. (PITTNER et al., 2007).

O principal agente etiológico das enteroparasitoses intestinais são os helmintos e os protozoários, que se instalam em seu hospedeiro causando uma relação de parasitismo. Essa relação gera diversas patogenicidades para os infectados, como: desnutrição, diarreia, perda ponderal, anemia, cólicas, entre outros (PITTNER et al. 2007).

As parasitoses intestinais em humanos são classificadas como helmintoses e protozooses. Dentro das helmintoses, podemos destacar: ascaridíase (*Ascaris lumbricoides*), tricuriase (*Trichuris trichiura*) ancilostomíase (*Ancylostoma duodenale* e *Necator americanus*) e estrogiloidíase (*Strongyloides stercoralis*). E como principais exemplos de protozoonoses estão: giardíase (*Giardia lamblia*) e amebíase (*Entamoeba histolytica*). (VISSER; et al., 2011).

Estes parasitas podem contaminar e infectar o humano por meio da ingestão de ovos embrionados, presentes nos alimentos, em águas contaminadas, alguns ainda podem ser adquiridos a partir de carnes mal cozidas, ou ainda pelo contato direto com areia e animais. (OLIVEIRA, et al., 2019)

Mesmo as enteroparasitoses intestinais geralmente se apresentando de forma assintomática e quando apresentado, sua sintomatologia não é específica, sendo assim sintomas frequentes em outras patologias, pode se apresentar como uma doença extremamente grave. Com esse pressuposto, o diagnóstico de infecções parasitárias segue dificultado, o que pode se agravar variando de caso para caso (CUNHA; AMICHI, 2014).

Crianças em idades escolares são as que mais sofrem com as infecções parasitárias, pois, de certa forma seu sistema imunológico ainda se encontra em desenvolvimento, e também por apresentarem cuidados com a higiene certamente inadequados, sendo assim, apresentando maior susceptibilidade a infecções (BENITEZ et al. 2016).

Com a existência de parasitos, os organismos podem apresentar diversas patologias, interferindo de forma negativa no desenvolvimento físico, psicológico, nutricional e social do parasitado. É de caráter essencial que medidas de higiene sejam introduzidas logo na primeira infância para que seja evitada o parasitismo por verminoses ou até mesmo uma reinfecção, que possivelmente interfiram no seu desenvolvimento (BIOLCHINI, 2005).

As enteroparasitoses tem como presságios a ocorrência da deficiência nutricional, pois com o desenvolvimento de parasitos no organismos, os mesmos podem interferir na absorção de nutrientes e vitaminas no intestino, atuam gerando sangramentos, podendo ocasionar abscessos, obstrução intestinal em casos de superpopulação de parasitos, e em alguns casos levar a óbito (SANTOS; MERLINI, 2010).

2 | EPIDEMIOLOGIA

Estimativas indicam que em 2025 mais de 50% da população estará em moradias urbanas em países em desenvolvimento, o que acarreta a sobrevivência em locais desprovidos de recursos sociais e econômicos, aumentando a população em situação de risco para enteroparasitoses. Principalmente quando observamos a maior incidência de parasitas intestinais em crianças na fase pré-escola e escolar (CAVAGNOLLI et al., 2015).

As parasitoses, tornam-se importantes à medida que influenciam na capacidade laboral e de desenvolvimento cognitivo, percebendo assim um expressivo problema de saúde pública (MASCARINI, 2002).

Mediante ao aumento dos números de casos de parasitoses, em 2015 o Ministério da Saúde, iniciou o “Plano Nacional de Vigilância e Controle das Enteroparasitoses, visando a diminuição da incidência através de medidas de controle, alertando a população sobre a prevalência, morbidade e mortalidade provocado por endoparasitas (ANDRADE, 2010).

Ao passo que os anos após o plano nacional obteve sucesso na diminuição da morbidade por enteroparasitoses, não pode ser comprovado a diminuição da mortalidade. Os números atuais giram em torno de 10 milhões de pessoas infectadas no mundo, sendo que no Brasil os mais acometidos são crianças e moradores da zona rural (MIRANDA, 2017).

3 | SANEAMENTO BÁSICO

De acordo com a Organização Mundial da Saúde o saneamento é de maneira geral o meio proporcionado ao homem para manter o controle sobre o meio ambiente, visando potencializar um bem estar para a população tanto urbana quanto rural, a partir de ações e medidas socioeconômicas. (RIBEIRO; ROOKE, 2010; FOLLADOR et al. 20150

A partir deste verifica-se que grande parte dos problemas sanitários no mundo estão intimamente ligados ao meio ambiente, destacando as condições inapropriadas de saneamento. Deste modo temos como exemplo a ocorrência de patologias provenientes da água, como doenças parasitológicas intestinais que também podem desencadear outras patologias como diarreias e anemias. (GUIMARÃES, CARVALHO e SILVA, 2007).

O saneamento básico é um conjunto de medidas criadas com intuito de alterar ou defender condições ambientais, cujos objetivos principais são a prevenção de doenças, bem a garantia da qualidade de vida e dignidade à população. De acordo com a Lei 11.445 de janeiro de 2007, o saneamento básico envolve quatro serviços essenciais. São eles:

- a) o abastecimento de água: distribuição pública de água potável, desde a captação até as ligações prediais e seus instrumentos de medição;
- b) rede de coleta e tratamento de esgoto: é a coleta, transporte, tratamento e disposição final dos esgotos de forma adequada.
- c) drenagem urbana: coleta, varrição manual e mecanizada, asseio e conservação urbana, transporte, transbordo, tratamento e destinação final dos resíduos sólidos domiciliares e dos resíduos de limpeza urbana de forma ambientalmente adequada em aterros sanitários;
- d) coleta dos resíduos sólidos: transporte, detenção ou retenção para o amortecimento, tratamento e disposição finais das águas provenientes de chuvas. Para que este serviço seja efetivo, também é necessária a garantia da limpeza e fiscalização das redes públicas de coleta.

Para os serviços supracitados, a legislação assegura que são necessárias a disponibilização e manutenção de infraestruturas para a conclusão de todas etapas até a destinação final. Além disso, devem ser garantidas a universalização do acesso e efetiva prestação do serviço a todos, pois a correta implantação e gestão destes serviços, segundo a Organização Mundial de Saúde (OMS), podem evitar um aumento exponencial de doenças. Portanto, a inserção do saneamento básico é essencial para a promoção da saúde do indivíduo, principalmente devido às condições de higienização que tais serviços proporcionam a população.

4 | CONDIÇÕES SANITÁRIAS E PARASITOLOGIA

Infecções parasitárias intestinais são classificadas como doenças tropicais negligenciadas pela Organização Mundial da Saúde (OMS), essa doença é comumente

associados à pobreza, hábitos de higiene não saudáveis, saneamento inadequado e má nutrição (WHO, 2017 e STEPHENSON, LATHAM E OTTESEN, 2000).

As parasitoses tem seu maior desenvolvimento em regiões periféricas e rurais, onde a população, em sua grande maioria, possui um baixo nível socioeconômico, vivendo muitas vezes em situação onde o saneamento básico se encontra com níveis precários (SILVA et al. 2014).

As principais ocorrências desses parasitas se dão em locais com climas quentes e úmidos e em regiões menos favorecidas. A falta de saneamento básico é outro fator muito importante, pois o mesmo é responsável pelo tratamento do esgoto que por sua vez acaba sendo precário principalmente em periferias de centros urbanos e zonas rurais (LUDWIG et al., 1999 e GALVÃO JUNIOR, et al., 2009).

Outro fator que contribui para que esses parasitas se manifestem com maior frequência, é a falta de recursos financeiros, que acarreta no baixo investimento em infraestrutura básica onde a mesma atrapalha na formação do indivíduo e no aumento da complexidade epidemiológica, que resulta na emergência de novas doenças e no ressurgimento de antigas endemias, entre elas, as parasitoses. (HIJJAR, et al., 2005 e PORTO, et al., 2015).

As enteroparasitoses intestinais e as questões socioeconômicas caminham lado a lado, atuando de certa forma como ponto essencial para verificação das condições sanitárias de uma região. As parasitoses se inserem no organismo humano através de água e alimentos contaminados com seus ovos, mas também podem penetrar na pele através do seu contato com ferimentos pr^e existentes.(SILVA, 2017)

De acordo com uma pesquisa realizada em um povoado quilombola na Bahia para verificar a prevalência e relação entre enteroparasitoses e questões socioeconômicas, onde foram analisadas amostras fecais de crianças e adolescentes, se obteve os seguintes resultados: 79,3% das amostras tiveram resultado positivo para parasitas intestinais, sendo que 68,4% das crianças possuíam renda familiar abaixo de 1 (um) salário mínimo, 94,3% não apresentavam rede de esgoto em suas moradias, 65,4% não possuíam acesso à água encanada. Desta forma observamos que as questões econômicas estão ligadas diretamente ao alto índice de pessoas infectadas.(CABRAL- MIRANDA et al 2010).

Segundo dados da Organização Mundial da Saúde (2017), as enteroparasitoses intestinais estão dentro do grupo de doenças intimamente relacionadas com a depauperação da sociedade como um todo. Conforme pesquisas realizadas, expôs que apenas 42,7% da população possui tratamento de esgoto, o que demonstra que mais de 1/2 da população sofre com falta de saneamento básico no Brasil, abaixando o posicionamento de IDH do país (BRAGAGNOLLO et al. 2019).

Essa temática necessita de maior atenção principalmente nos centros com pouca visibilidade e em localidades periféricas da sociedade onde as condições de vida são degradantes. As políticas públicas de saúde devem ser inseridas e desfrutadas pela

comunidade desassistida nesses locais no intuito de diminuir os números de hospitalizações por causas evitáveis.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, Elisabeth Campos et al. PARASITOSSES INTESTINAIS: UMA REVISÃO SOBRE SEUS ASPECTOS SOCIAIS, EPIDEMIOLÓGICOS, CLÍNICOS E TERAPÊUTICOS. Revista de APS, v. 13, n. 2, 2010.

BARBALHO, G. F.; CASTRO, C. H. R.; SOUSA, F. H. F. A implantação do Saneamento Básico em relação à Saúde Pública, enfatizando a importância da construção da rede de esgoto no Estado do Tocantins. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Ano 05, Ed. 11, Vol. 12, pp. 54-68. Novembro de 2020. Acesso em: <<https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-civil/saneamento-basico>>.

BELLOTO, M. V. T.; JUNIOR, J. E. S.; MACEDO, E. A.; PONCE, A.; GALISTEU, K.J.; CASTRO, E.; TAUYR, L.V.; ROSSIT, A.R.B.; MACHADO, R.L.D. Enteroparasitoses numa população de escolares da rede pública de ensino do Município de Mirassol, São Paulo, Brasil. Rev Pan-Amaz Saude v.2 n.1 Ananindeua mar. 2011.

BENITEZ, A. do N.; MAREZE, M.; MIURA, A. C.; BRUNIERI, D. T. S. C.; FERREIRA, F. P.; MITSUKA-BREGANÓ, R.; NAVARRO, I. T. Abordagem da Saúde Única na ocorrência de enteroparasitas em humanos de área urbana no Norte do Paraná. Arq. Ciênc. Vet. Zool. UNIPAR, Umuarama, v. 19, n. 4, p. 203-208, out./dez. 2016.

BIOLCHINI, C. L. Enteroparasitoses na infância e na adolescência. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, Brasil. REV. Adolescência e Saúde v.2 nº 1 março. 2005

BRAGAGNOLLO, G. R.; SANTOS, T. S.; FONSECA, R. E. P.; ACRAMI, M.; BRANCO, M. Z. P. C.; FERREIRA, B. R. Intervenção educativa lúdica sobre parasitoses intestinais com escolares. Rev. Bras. Enferm. vol.72 no.5 Brasília Sept./Oct. 2019 Epub Sep 16, 2019

BRASIL. Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. Diretrizes nacionais para o saneamento básico e para a política federal de saneamento básico.

CABRAL-MIRANDA, G. C.; DATTOLI, V. C. C.; DIAS-LIMA, A. Enteroparasitos e condições socioeconômicas e sanitárias em uma comunidade quilombola do semiárido baiano. Revista de Patologia Tropical, Goiânia – GO, v. 39, n. 1, p.48-55, jan/mar, 2010.

CAVAGNOLLI, N.I.; CAMELLO, J.T.; TESSER, S.; POETA, J.; RODRIGUES, A.D. Prevalência de enteroparasitoses e análise socioeconômica de escolares em Floresta da Cunha – RS. Rev Pat Trop, 44(3): p. 312-322, 2015.

CUNHA, L. F.; AMICHI, K. R. RELAÇÃO ENTRE A OCORRÊNCIA DE ENTEROPARASITOSSES E PRÁTICAS DE HIGIENE DE MANIPULADORES DE ALIMENTOS: REVISÃO DA LITERATURA. Revista Saúde e Pesquisa, v. 7, n. 1, p. 147-157, jan./abr. 2014 - ISSN 1983-1870.

FOLLADOR, K; PRADO, G. P; PASSOS, M. G; NOTHAFT, S. C. SANEAMENTO BÁSICO: MEIO AMBIENTE E SAÚDE. Revista UNINGÁ Review.Vol.23,n.1,pp.24-28 (Jul - Set 2015)

HIJJAR MA, PROCOPIO MJ, FREITAS LMR, GUEDES R, BETHELM EP. 2005. Epidemiologia da tuberculose: importância no mundo, no Brasil e no Rio de Janeiro. *Pulmão*. 14: 310-4.

LUDWIG, K. M. et. al. Correlação entre condições de saneamento básico e parasitoses intestinais na população de Assis, Estado de São Paulo. *Rev. Soc. Bras. Med. Trop.*, v. 32, n. 5, p. 547-545, 1999.

MASCARINI, Luciene Maura. Uma abordagem histórica da trajetória da parasitologia. *Ciência & Saúde Coletiva*, v. 8, p. 809-814, 2003.

MIRANDA, Yunisleydi Leyva. Parasitoses: uma proposta para redução da prevalência em Atenção Primária à Saúde, 2017.

OLIVEIRA, A. S. S. S., SILVA, B. E. S., CUNHA, E. A., MACEDO, J. L. RODRIGUES, A. C. E., ASSUNÇÃO, M. J. S. M., AZEVEDO, C. A. S. Enteroparasitoses em escolares da rede pública municipal. *Res., Soc. Dev.* 2019; 8(4):e 384955 ISSN 2525-3409

PACHECO, R. P.; AISSÉ, M. M.; FERNANDES, C. V. S.; GALLEGOS, C. E. C. Estimativas de custos visando orientar a tomada de decisão na implantação de redes, coletores e elevatórias de esgoto. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 20, p. 73-81, 2015.

PITTNER, E.; MORAES, I. F.; SANCHES, H. F.; TRINCAUS, M. R.; RAIMONDO, M. L.; MONTEIRO, M. C. Enteroparasitoses em crianças de uma comunidade escolar na cidade de Guarapuava, PR. *Revista Salus*, Guarapuava, v. 1, p. 97-100, 2007.

PORTO, M. F. S.; CUNHA, M. B.; PIVETTA, F.; ZANCAN L. Saúde e ambiente na favela: reflexões para uma promoção emancipatória da saúde. *Serv. Soc. Soc.*, São Paulo, 123:523-43, 2015.

RIBEIRO, J. K.; ROOKE, J. M. S. SANEAMENTO BÁSICO E SUA RELAÇÃO COM O MEIO AMBIENTE E A SAÚDE PÚBLICA. Orientador: Prof. MSc. Fabiano César Tosetti Leal. Trabalho de Conclusão de Curso. Curso de Especialização em Análise Ambiental da UFJF. Juiz de Fora, 2010.

SANTOS, S. A.; MERLINI, L.S. Prevalência de enteroparasitoses na população do município de Maria Helena, Paraná. *Ciênc. saúde coletiva* vol.15 no.3 Rio de Janeiro, Maio 2010.

SILVA, A. M. B.; BOUTH, R.C; COSTA, K.S; CARVALHO, D.C; HIRAI, K.E; PRADO, R.R; ARAUJO, S.G; PEREIRA, A.C.L; RIBEIRO, K. T. S. Ocorrência de enteroparasitoses em comunidades ribeirinhas do Município de Igarapé Miri, Estado do Pará, Brasil. *Rev Pan-Amaz Saude* 2014; 5(4):45-51

SILVA, J. J. B. Qualidade Microbiana e Parasitária de Hortaliças e Ambiente de Cultivo e Condições de Saúde de Horticultores em Santo Antônio de Jesus, Bahia. Programa de Pós- graduação em microbiologia agrícola- Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz Das Almas – BA, Fevereiro - 2017.

STEPHENSON LS, LATHAM MC, OTTESEN E. Malnutrition and parasitic helminth infections. *Parasitology*. 2000 out;121(S1):S23-S38. doi: 10.1017/s0031182000006491.

VISSER, S., GIATTI, L.L., CARVALHO, R.A.C., GUERREIRO, J.C.H. Estudo da associação entre fatores socioambientais e prevalência de parasitoses intestinais em área periférica da cidade de Manaus (AM, Brasil). *Ciência e Saúde Coletiva*, 16(8): 3481-3492, 2011.

WHO, World Health Organization. Fourth WHO report on neglected tropical diseases: integrating neglected tropical diseases into global health and development. France: World Health Organization. 2017.

CAPÍTULO 9

A APLICAÇÃO DAS POLÍTICAS PÚBLICAS NO CONTEXTO DO SANEAMENTO BÁSICO NA GESTÃO MUNICIPAL DE BELÉM, ANANINDEUA E CASTANHAL-PA, NO PERÍODO ENTRE 2010 A 2018

Data de aceite: 25/05/2021

Data de submissão: 26/04/2021

Educélio Gaspar Lisbôa

Doutorando em Desenvolvimento e Meio Ambiente Urbano
Universidade da Amazônia- UNAMA
Belém/Pa
<http://lattes.cnpq.br/0401698719469130>

Leonardo Augusto Lobato Bello

Doutor em Engenharia Civil
Universidade da Amazônia- UNAMA
Belém/Pa
<http://lattes.cnpq.br/5449459117793556>

Érico Gaspar Lisbôa

Doutor em Engenharia Civil
Universidade Federal do Pará- UFPA
Belém/Pa
<http://lattes.cnpq.br/3529293192205471>

Heriberto Wagner Amanajás Pena

Doutor em Ciências Agrárias
Universidade do Estado do Pará- UEPA
Belém/Pa
<http://lattes.cnpq.br/0981188931645364>

RESUMO: O presente artigo buscou estudar o comportamento de uma das principais variáveis de Saneamento Básico, nos municípios de Belém, Ananindeua e Castanhal do estado do Pará como forma mostrar as eficácias e mazelas dos municípios com a questão do Saneamento evidenciado com as Política Públicas. Para tanto

recorreu-se a uma análise quantitativa, utilizando o modelo de correlação de Pearson, e constatou-se que estes três principais municípios, estão comprometidos com relação aos investimentos públicos para as variáveis estudadas (população, população sem acesso a água, com acesso a água, com coleta de esgoto e sem coleta de esgoto), e estes municípios em todas as variáveis apresentaram correlações péssimas ou baixas, evidenciando assim que os investimentos são escassos quanto se trata de Saneamento Básico, constatando que o crescimento populacional no horizonte de tempo estudado não é acompanhado por ações eficazes, no que tange a aplicação de Políticas Públicas, por parte das Gestões Municipais.

PALAVRAS-CHAVE: Variáveis, Saneamento Básico, Políticas Públicas, Modelo de Correlação, Investimentos Públicos e Gestões Municipais.

THE APPLICATION OF PUBLIC POLICIES IN THE CONTEXT OF BASIC SANITATION IN THE MUNICIPAL MANAGEMENT OF BELÉM, ANANINDEUA AND CASTANHAL-PA, FROM 2010 TO 2018

ABSTRACT :The present article sought to study the behavior of one of the main variables of Basic Sanitation, in the municipalities of Belém, Ananindeua and Castanhal of the state of Pará as a way to show the efficacy and problems of the municipalities with the issue of Sanitation evidenced with Public Policies. To this end, a quantitative analysis was used, using Pearson's correlation model, and it was found that these three main municipalities are committed to public investments for the variables studied (population,

population without access to water, with access water with sewage collection and without sewage collection), and these municipalities in all variables showed poor or low correlations, thus evidencing that investments are scarce when it comes to Basic Sanitation, confirming that the population growth in the studied time horizon it is not accompanied by effective actions, with respect to the application of Public Policies, by the Municipal Administrations.

KEYWORDS: Variables, Basic Sanitation, Public Policies, Correlation Model, Public Investments and Municipal Managements.

INTRODUÇÃO

As políticas públicas no Brasil devem ser encaradas sob enfoques multidisciplinares que busquem uma interação lógica-pragmática entre problemas e soluções, visando sobretudo o bem estar social. Desta maneira, o presente artigo busca trazer o debate recente da matéria, elencando conceitos essenciais da Política Pública à compreensão e estruturação do tema mediante a apresentação da perspectiva de doutrinadores clássicos evidenciando-os com a aplicação destas Políticas no contexto dos municípios brasileiros especificamente: Belém, Ananindeua e Castanhal, bem como o de trazer a visão contemporânea brasileira acompanhada da movimentação das esferas sub nacionais.

Para Tude (2014), as políticas públicas são a totalidade de ações, metas e planos que os governos (nacionais, estaduais ou municipais) traçam para alcançar o bem-estar da sociedade e o interesse público.

Neste contexto cabe ressaltar os atores sociais envolvidos nas questões públicas. Vários são os atores sociais interessados na discussão das Políticas Públicas, seja na formulação, na implementação ou na avaliação. Esses atores, cada um à sua maneira, procuram influenciar esse processo dentro do jogo político, seja na esfera municipal, estadual ou federal e podem ser divididos em atores estatais e atores privados.

Segundo Frey (2000), O que entendemos por atores municipais são aqueles atores diretamente ligados à Administração Pública Municipal, que estão envolvidos na burocracia municipal ou ocupando cargos legislativos e executivos, sendo os políticos os principais representantes destes atores municipais e os atores privados que são aqueles que, diferentemente dos atores municipais, não estão diretamente ligados à Administração Pública Municipal.

No mundo existem cerca de 2.5 bilhões de pessoas sem saneamento básico adequado (Trata Brasil, Saneamento no Mundo, 2013). No Brasil essa realidade é ainda maior, pois o déficit de saneamento ambiental vem se constituindo uma preocupação preocupante, considerando a importância de seu papel na relação que estabelece com a saúde e o ambiente. Neste contexto, saneamento básico e saúde segundo a Organização Mundial de Saúde (OMS), é o controle de todos os fatores do meio físico do homem, que exercem ou podem exercer efeitos nocivos sobre o bem-estar físico, mental e social. (Guimarães, Carvalho & Silva, 2007).

Desta maneira torna-se fundamental o papel das políticas públicas, nos diversos municípios do Brasil, de maneira a se fazer presente e eficaz para a população destas esferas subnacionais, especialmente no estado do Pará nos municípios de Belém, Ananindeua e Castanhal que constituem o universo deste artigo. Nestas circunstâncias é possível indagar: As políticas públicas estão sendo eficazes para atender a população destes municípios? Existem Estações de Tratamento de Esgoto de maneira a equacionar a questão do saneamento básico? Existiu investimentos neste setor (saneamento básico) durante o horizonte de tempo estudado? (2010 à 2018).

No entanto, o Brasil está longe de vivenciar tal realidade, porque os problemas ambientais se potencializam. O meio ambiente tem sido degradado de diferentes formas, verificando-se que a água é utilizada como meio de transporte para dejetos e rejeitos, o solo é prejudicado pelo lançamento de lixo a céu aberto (BARROS, R. T. V. ET AL, 1995)

Como elemento fundamental para o processo de desenvolvimento da melhoria da qualidade de vida das populações dos municípios e das grandes cidades, os serviços de saneamento básico são considerados um dos indicadores essenciais para a categorização do nível de qualidade de vida de um país (ALMEIDA; NUNES, 2014).

Assim no presente artigo procurar-se-á também trabalhar com umas das principais variáveis que compõem o saneamento básico (população com acesso água, sem acesso à água, com coleta de esgoto e sem coleta de esgoto), a fim de se apontar a eficácia deste serviço nos municípios de Belém, Ananindeua e Castanhal e correlacioná-las com as gestões municipais destas esferas subnacionais.

Segundo Heller e Castro (2007), é indispensável resgatar o papel da dimensão política das ações de saneamento, no qual é fundamental reconhecer os aspectos sociais da água e do ambiente. Por outro lado, Swyngedouw (2004) amplia tal conceito para o termo hidrossocial, cujos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário fazem parte de uma rede que agrega elementos bioquímicos, com elementos sociais e um valor cultural profundo.

Em vista disso de modo geral objetiva-se, analisar o comportamento das variáveis de saneamento básico em três municípios do estado do Pará (Belém, Ananindeua e Castanhal). E especificamente, verificar através do modelo de correlação linear (coeficiente de Pearson) o grau de influência das demais variáveis durante o horizonte de tempo entre 2010 à 2018, como também o de verificar qual dessas variáveis (população, população com acesso a água, sem acesso a água, com coleta de esgoto e sem coleta de esgoto), nas gestões municipais teve maior coeficiente de correlação durante o horizonte de tempo do artigo.

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Dimensões das Políticas Públicas

A Política Pública enquanto área de conhecimento acadêmica, primeiramente ligada a uma subárea da Ciência Política e após como uma disciplina multidisciplinar, teve suas origens nos Estados Unidos da América - EUA (primeira metade do século XX).

Por outro lado, o discurso em torno das políticas públicas não está carente de respostas teóricas ou metodológicas, uma vez que o campo de estudo em questão comporta múltiplos olhares. Com isso, é possível perceber que a formulação de políticas públicas irá se converter em projetos, planos, programas que necessitam de acompanhamento e análise constante, visto que, o desenho e execução das políticas públicas sofrem transformações que devem ser adequadas às compreensões científicas e sociais.

Os Tipos de Políticas Públicas

Um dos importantes aspectos no que tange as políticas públicas são os tipos nela empregados, autores como Azevedo (2003), destaca três tipos de políticas públicas nas quais os gestores podem aplicá-las, são elas:

Política Pública Redistributiva: Tem como objetivo principal a redistribuição da renda de maneira justa. Segundo o autor o IPTU (imposto sobre propriedade territorial urbana), por exemplo poderia ser isento para a camada da população de baixa renda, e aumento da taxa, para as pessoas de alta renda que vivem em mansões e apartamento de luxo. Pode-se dizer que este tipo de política pública faz alusão com a política do tipo “Robin Hood”, porque tira dos ricos e entrega aos pobres.

Política Pública Distributiva: O objetivo desta política pública é a oferta de equipamentos e de serviços públicos setoriais. Neste tipo é a sociedade que financia a implementação. Os beneficiários deste serviço são grupos de pessoas de diversos segmentos sociais. A exemplo de iluminação pública, pavimentação de ruas e outros serviços públicos.

Política Pública Regulatória: É aquela que regula um determinado setor, criando normas para o financiamento dos serviços públicos. Pode-se dizer que é uma forma híbrida entre a redistributiva e a distributiva, um exemplo a ser dado deste tipo de política é o plano diretor.

Por outro lado, autores como Lowi (1972), ainda remete há um outro tipo de política pública, como: **A Constitutiva:** Onde não se trata necessariamente sobre a prestação concreta de serviços demandados pela sociedade em geral, ela tem o papel de estabelecer regras, não somente sobre os poderes, mas sobretudo sobre princípios existentes para estabelecimento das demais políticas públicas. Ela pode ser tida como uma meta-*políticas (no topo)*, onde se encontra acima das demais políticas públicas, já que ela tem o papel de estabelecer regras não somente sobre os poderes, mas acima de tudo, sobre princípios

existentes para estabelecimento das demais políticas públicas. A Figura 1 a seguir demonstra a composição dos quatro tipos de políticas públicas:

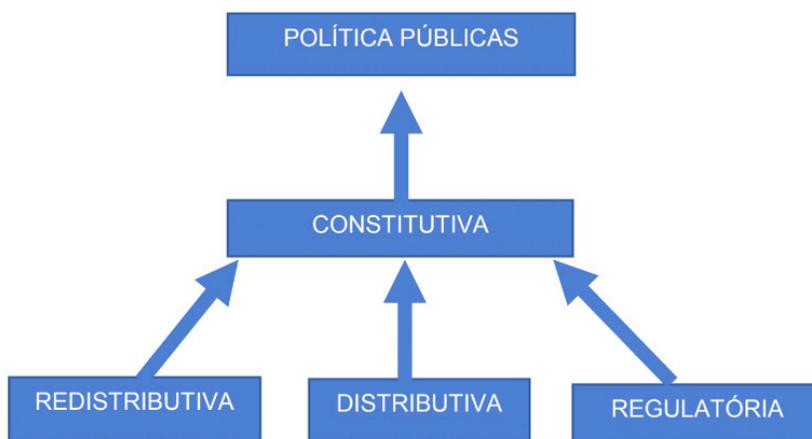


Figura 1- Tipos de Políticas Públicas

Fonte: Do autor

Os Ciclos das Políticas Públicas

Na ótica de Lindblom (1959), o entendimento da Política Pública é organizado como um ciclo, chamada por Ciclo da Política Pública (Policy Cycle), e se traduz na dinâmica do processo feita de maneira temporal. É uma forma de visualizar e interpretar a política pública em fases e sequências organizadas de maneira interdependente.

Por outro lado, é necessário frisar segundo Agum; Riscado e Menezes (2015), que assim como as tipologias, o ciclo da política pública não pode ser entendido de maneira linear e como um corpo organizado, seguindo necessariamente uma sequência cronológica.

Desta maneira e por meio deste entendimento podemos esquematizar as fases e formas de uma política pública, bem como entender os intervenientes para sua formação. Apresentar-se-á cada tópico do ciclo que será entendido em seis fases, de acordo com a figura 2 abaixo:

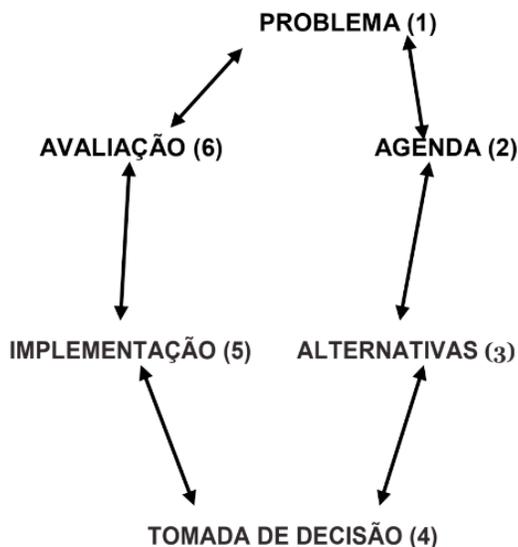


Figura 2- Fluxograma do ciclo das Políticas Públicas- As Seis fases

1. **PROBLEMA**- Deve ser entendido entre a realidade existente e o que se pretende dele;
2. **AGENDA**- Um conjunto de temas ou problemas que em determinado momento são colocados ou tidos como importantes;
3. **ALTERNATIVAS**- É o espaço de forças em que as correntes estruturantes de uma política se apresentam com maior clareza;
4. **TOMADA DE DECISÃO**- Ao tomar a decisão de implementar uma política pública acredita-se que houve, no mínimo, por parte do gestor, um equilíbrio entre as forças existentes no período anterior à tomada de decisão;
5. **IMPLEMENTAÇÃO**- fazer com que as intenções políticas sejam moldadas para ações concretas, do gestor público; e
6. **AValiação**- Tem por finalidade medir o desempenho com base em critérios e padrões. O avaliador (gestor), com base em medidas valorativas indicará se a política pública está funcionando ou não.

A Questão do Saneamento Básico

O processo de implantação de sistemas coletivos de saneamento, iniciado nos fins do século XIX e início do século XX, apontou para uma melhoria constante do estado de saúde das populações beneficiadas, independentemente da existência de evidências científicas, no início do século XX, que permitissem associar melhorias na saúde pública à implantação de sistemas coletivos de saneamento (ROSEN, 1994).

O Saneamento no Brasil é regulamentado pela Lei nº 11.445/2007 que estabelece o

Plano Nacional de Saneamento Básico (Plansab). Essa legislação determina diretrizes para o conjunto de serviços, infraestruturas e instalações de: abastecimento de água potável, coleta e tratamento de esgoto, limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos e drenagem e manejo das águas pluviais

No entanto essa questão, mesmo com tantas divulgações nos diversos meios de comunicação existentes, ainda se verifica a falta de conhecimento sobre essa questão (HELLER, 1997).

São também requisitos da lei que todo município execute um Plano Municipal de Saneamento Básico, que deve ser um diagnóstico dos sistemas de água, esgoto, lixo e drenagem pluvial do município. Também constará as metas, objetivos e o tempo estimado para se alcançar a universalização ou a melhor eficiência dos sistemas (KINGDON, 2003).

Logo no presente artigo procurou-se estudar a questão do Saneamento Básico como um serviço essencial para as comunidades dos municípios de Belém, Ananindeua e Castanhal. Para tanto é necessário saber que o saneamento Básico é composto de quatro elementos fundamentais que são: abastecimento de água, Estação de Tratamento de Esgoto (ETE), disposição de lixo e drenagem urbana. Por outro lado, existe outro elemento ou variável do saneamento que deve ser mencionada e que fazem parte do estudo deste artigo, a exemplo da coleta de esgoto.

Nestas circunstâncias procurou-se investigar com maior detalhe tais variáveis no intuito de se saber se as gestões municipais foram eficazes com relação aos investimentos gerados no período entre 2010 à 2018, utilizando variáveis do saneamento a exemplo: do contingente populacional, pessoas com acesso a água, e sem acesso a água, com coleta de esgoto e sem coleta de esgoto.

Na cidade de Belém, encontra-se instalada uma unidade de esgotamento sanitário operada pelo SAAEB (Sistema de Água e Esgotos em Belém). Contudo, é importante ressaltar que esses sistemas de esgoto sanitário do SAAEB estão operando de forma precária. Houve a tentativa de implantação do projeto de esgoto sanitário e seria concebido de lagoas aeradas facultativas, na qual um conjunto de lagoas é utilizado para sedimentar e aumentar a presença de seres anaeróbios reduzindo a quantidade de matéria orgânica. (PLANO MUNICIPAL DE SANEAMENTO BÁSICO, 2014).

Para remediar a situação os sistemas adotados na cidade são unifamiliares, nas quais as residências possuem fossas sépticas sem dispositivo de tratamento, essa realidade é preocupante já que a região é de planície e pode contaminar os poços que abastecem casas que não possuem Água de Abastecimento público, por conseguinte, afetar a saúde da população pela ocorrência de doenças de vinculação hídrica como disenteria, diarreia e cólera. Por outro lado, pode-se observar que com o crescimento populacional, as variáveis de saneamento básico também aumentam, entretanto crescem mais pelo lado negativo (população sem acesso a água e sem coleta de esgoto), do que pelo lado positivo (população com coleta de esgoto e com acesso a água), como demonstra a tabela 1 a seguir:

ANO	Pop.Com Acesso À Água	População	Pop. Sem Acesso À Água	Pop. Com Coleta De Esgoto	Pop. Sem Coleta De Esgoto
2010	107.309	1.393.399	171.386	107.309	1.286.090
2011	112.868	1.402.056	332.306	112.868	1.289.188
2012	101.380	1.410.430	386.014	101.380	1.309.050
2013	101.145	1.425.922	380.331	101.145	1.324.777
2014	181.972	1.432.844	130.599	181.972	1.250.872
2015	184.259	1.439.561	136.916	184.259	1.255.302
2016	182.462	1.446.042	427.834	182.462	1.263.580
2017	188.717	1.452.275	417.309	188.717	1.263.558
2018	194.885	1.485.732	441.309	201.485	1.284.247

TABELA 1- Variáveis do Saneamento Básico- Belém

Fonte: Trata Brasil

A maioria das casas de Ananindeua possuem o poço artesiano e a fossa quase que juntos no quintal, pela falta de serviço de abastecimento de água tratada e da coleta de esgoto (O Liberal, maio 2019)

De maneira análoga ao município de Belém, Ananindeua também apresentou variáveis de saneamento diretamente proporcionais, entretanto este aumento foi muito mais significativo para as variáveis de pessoas sem coleta de esgoto e sem acesso a água, do que com coleta de esgoto e com acesso a água. A tabela 2 em questão evidência tais dados:

ANO	Pop.Com Acesso À Água	População	Pop.Sem Acesso À Água	Pop. Com Coleta De Esgoto	Pop. Sem Coleta De Esgoto
2010	152.521	471.980	319.459	50.000	421.980
2011	127.759	477.999	350.240	57.999	420.000
2012	131.589	483.821	352.232	63.821	420.000
2013	132.915	493.976	361.061	93.976	400.000
2014	134.368	499.776	365.408	91.776	408.000
2015	145.599	505.404	359.805	10.576	494.828
2016	153.155	510.834	357.679	3.828	507.006
2017	167.330	516.057	348.727	5.067	510.990
2018	171.468	525.566	354.098	10.791	514.775

Tabela 2- Variáveis de Saneamento Básico- Ananindeua

Fonte: Trata Brasil

Por outro lado, mesmo com esse plano de saneamento básico, o município de Castanhal, não consegue nem pelo menos manter uma equidade no que tange as pessoas

com acesso a água e com coleta de esgoto, o crescimento da população no município não é acompanhado também do aumento nestas duas variáveis mencionadas. Pelo contrário as pessoas sem acesso a água e sem coleta de esgoto representam a maioria, como demonstra a tabela 3 a seguir:

ANO	Pop. Com Acesso À Água	População	Pop.Sem Acesso À Água	Pop. Com Coleta De Esgoto	Pop.Sem Coleta De Esgoto
2010	47.367	173.149	125.782	71.149	102.000
2011	41.093	176.116	135.023	76.116	100.000
2012	42.856	178.986	136.130	77.986	101.000
2013	45.798	183.917	138.119	83.917	100.000
2014	61.720	186.895	125.175	85.010	101.885
2015	61.720	189.784	128.064	85.010	104.774
2016	49.107	192.571	143.464	85.010	107.561
2017	49.058	195.253	146.195	86.000	109.253
2018	49.747	198.294	148.547	98.294	112.000

Tabela 3- Variáveis do Saneamento Básico- Castanhal

Fonte: Trata Brasil

ANÁLISE DE CORRELAÇÃO

No presente artigo trabalhar-se-á uma análise correlação, na medida em que se objetiva estabelecer o grau de forças que as variáveis acima mencionadas exercem sobre as outras, no sentido de verificar qual delas foi mais significativa frente as variáveis de saneamento básico no horizonte de tempo entre 2010 à 2018.

Diferentes formas de correlação podem existir entre as variáveis. O caso mais simples e mais conhecido é a correlação simples, envolvendo duas variáveis, X e Y. A relação entre duas variáveis será linear quando o valor de uma pode ser obtido aproximadamente por meio da equação da reta. Assim, é possível ajustar uma reta da forma $Y = \alpha + \beta X$ aos dados. Neste caso, a correlação é linear simples. Entretanto, quando não for possível o ajuste da equação anterior, não significa que não existe correlação entre elas. Poderá haver correlação não-linear entre elas. Uma forma simples de verificar o tipo de correlação existente entre duas variáveis é através do gráfico chamado “diagrama de dispersão”. Trata-se de um gráfico onde são representados os pares (X, Y) e i , $i = 1, 2, \dots, n$, onde $n =$ número total de observações. O método que permite estudar as relações ou associações é conhecido como Análise de Correlação.

Esta análise mostra o grau de relacionamento entre as variáveis, fornecendo um número, indicando como as variáveis variam conjuntamente. Não há a necessidade de definir as relações de causa e efeito, ou seja, qual é a variável dependente e a independente. O

método usualmente conhecido para medir a correlação entre duas variáveis é o Coeficiente de Correlação Linear de Pearson, também conhecido como Coeficiente de Correlação do Momento Produto. Este foi o primeiro método de correlação, estudado por Francis Galton e seu aluno Karl Pearson, em 1897 (SCHULTZ e SCHULTZ, 1992).

Este coeficiente de correlação é utilizado na Análise de Componentes Principais, Análise Fatorial, Análise de Confiabilidade, entre outras. O Coeficiente de Person é um indicador da força de uma relação linear entre duas variáveis. Trata-se de uma medida de associação que independe das unidades de medidas das variáveis. Varia entre -1 ou +1 ou, expresso em porcentagens, entre -100% e +100%. Quanto maior as qualidades do ajuste (ou associação linear, mais próximo de +1 ou -1 estará o valor do coeficiente r. (DOMINGUES E MARTINS, 2017)

O Coeficiente de Correlação como medida da intensidade da relação linear entre duas variáveis não apresenta nenhum tipo de causa e efeito. “O fato de duas variáveis aumentarem e diminuírem juntas não implica que uma delas tenha algum efeito direto, ou indireto, sobre a outra. Ambas podem ser influenciadas por outras variáveis de maneira que dê origem a uma forte correlação entre elas.” (DOMINGUES E MARTINS, 2017, p. 252).

O grau de forças da correlação e seu tratamento matemático será mais bem detalhado no tópico seguinte, onde será atribuído a intensidade da relação entre as variáveis, como também a classificação entre elas. Metodologicamente o artigo será estruturado da seguinte maneira:

LOCALIZAÇÃO DO ESTUDO

As variáveis de saneamento básico, que constituem o universo desta pesquisa, dar-se-á no Pará, especificamente nos municípios de: Belém, Ananindeua e Castanhal.

FONTE DOS DADOS

Os dados utilizados para se analisar as principais variáveis de saneamento básico, são anuais, cujas variáveis são: População, População com acesso à água, População sem acesso à água, População com coleta de esgoto e sem coleta de esgoto, e serão obtidos, pelos suplementos estatísticos do Trata Brasil.

OPERACIONALIZAÇÃO DOS DADOS

Se avaliou com maior detalhe a importância das variáveis de saneamento básico, que de alguma forma irá repercutir no desempenho das Políticas Públicas dos três municípios do estado do Pará mencionados anteriormente. Para tanto procurar-se-á examinar tais variáveis no horizonte de longo prazo, no período compreendido entre 2010 à 2018.

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A pesquisa apresenta uma abordagem descrita como analítica-discursiva, no qual se procurará analisar as principais variáveis de saneamento básico, no período compreendido entre 2010 à 2018, sem, no entanto, deixar de evidenciar o seu papel com as gestões municipais que se sucederam, como também as políticas públicas implantadas, no horizonte de tempo em questão. Quanto ao método de procedimento empregou-se concomitantemente o método estatístico, onde utilizar-se-á, uma análise de correlação, aplicando o seguinte modelo. Seja $(x_1, y_1), (x_2, y_2), (x_3, y_3) \dots (x_n, y_n)$ uma amostra aleatória das variáveis (X, Y) . O cálculo do coeficiente é dado por:

$$r_{xy} = \frac{S_{xy}}{\sqrt{S_{xx}S_{yy}}}$$

Onde:

$$S_{xy} = \sum XY - \frac{\sum X \sum Y}{n} \quad S_{yy} = \sum Y^2 - \frac{(\sum Y)^2}{n}$$

$$S_{xx} = \sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{n} \quad \text{Sendo} \quad \sum XY = \sum_{i=1}^n X_i Y_i \quad \frac{(\sum Y)^2}{n}$$

“Este coeficiente pode assumir valores positivos ou negativos, dependendo do sinal do coeficiente b, e deve ser interpretado segundo a seguinte escala.” (DOMINGUES E MARTINS, 2017, p. 252).

- Se $r_{xy} = 0 \rightarrow$ Não há correlação linear entre as variáveis
- Se $r_{xy} = \pm 1 \rightarrow$ Há correlação linear total entre as variáveis
- Se $-1,0 < r_{xy} < +1,0 \rightarrow$ Correlação parcial entre as variáveis
- Se $0,9 \leq |r_{xy}| < 1,0 \rightarrow$ Alta ou ótima correlação
- Se $0,8 \leq |r_{xy}| < 0,9 \rightarrow$ Boa correlação
- Se $0,6 \leq |r_{xy}| < 0,8 \rightarrow$ Média correlação
- Se $0,4 \leq |r_{xy}| < 0,6 \rightarrow$ Baixa correlação
- Se $0,0 \leq |r_{xy}| < 0,4 \rightarrow$ Péssima correlação

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com base nos dados sobre as variáveis de saneamento básico conforme mostrou a tabela 1, chegou-se aos seguintes valores correlacionados para o município de Belém, sobre o horizonte de tempo estudado entre 2010 a 2018, de acordo com a tabela 4 a seguir:

	<i>Pop Com Acesso À Água</i>	<i>População</i>	<i>Pop Sem Acesso À Água</i>	<i>Pop Com Coleta De Esgoto</i>	<i>Pop Sem Coleta De Esgoto</i>
Pop Com Acesso À Água	1				
População	0,22624366	1			
Pop Sem Acesso À Água	0,06275506	0,33205756	1		
Pop Com Coleta De Esgoto	0,29892675	0,444922414	0,04401840	1	
Pop Sem Coleta De Esgoto	0,31310305	0,56430724	0,35483245	0,39374553	1

Tabela 4- Correlação das variáveis de Saneamento Básico- Belém

Fonte: Do autor

A análise de correlação demonstrou o que as variáveis indicaram na tabela 1, pelos testes a maioria das variáveis apresentara coeficientes fraco ou péssimo. Pela coluna das pessoas com acesso à água a correlação com à população se mostrou péssima (0,22) indicando que 22% das pessoas têm água, o mesmo seguindo para as outras variáveis, ou seja, das pessoas sem acesso água, com coleta de esgoto e sem coleta de esgoto, cujo coeficientes foram respectivamente (0,06), (0,29) e (0,31). A coluna da população mostrou que o crescimento populacional de Belém não é correspondido, haja vista que existem uma grande parcela da população que não tem acesso a água (0,33), ou seja, 33%, e com coleta de esgoto a correlação se mostrou positiva, porém baixa (0,44), 44 % com coleta de esgoto e sem coleta de esgoto a grande maioria (0,56), 56%.

Passando para a coluna seguinte, da população sem acesso a água, percebe-se que as correlações também se apresentaram péssimas, cujo resultados foram (0,04) e (0,35), demonstrando que as variáveis de saneamento básico são insuficientes para atender o crescimento da demanda. E por fim correlacionando as pessoas com coleta de esgoto e sem coleta de esgoto o coeficiente também se apresento píffio (0,39), mostrando que mesmo o município com uma Estação de Tratamento de Esgoto, não demonstra isto quando se trata das variáveis correlacionadas acima, denotando pouca eficácia com relação a aplicação das políticas públicas para este tipo de serviço (saneamento básico).

O município de Ananindeua também apresentou coeficientes não satisfatórios, o aumento da população não é acompanhado de crescimento nas condições favoráveis ao saneamento, conforme demonstra a tabela 5 a seguir:

	<i>Pop Com Acesso À Água</i>	<i>População</i>	<i>Pop Sem Acesso À Água</i>	<i>Pop Com Coleta De Esgoto</i>	<i>Pop Sem Coleta De Esgoto</i>
Pop Com Acesso À Água	1				
População	0,19673620	1			
Pop Sem Acesso À Água	0,2554712	0,615528037	1		
Pop Com Coleta De Esgoto	0,3808311	0,18740464	0,114067832	1	
Pop Sem Coleta De Esgoto	0,2284041	0,810550447	0,892905288	0,25758308	1

Tabela 5- Correlação das variáveis de Saneamento Básico - Ananindeua

Fonte: Do autor

Os resultados de correlações no município de Ananindeua, também foram baixos ou péssimos com relação as variáveis favoráveis ao saneamento básico. Analisando a coluna das pessoas com acesso a água nota-se que as correlações com as outras variáveis se apresentaram insignificantes, especialmente em comparação com a população, onde somente (0,19), ou seja, 19% das pessoas tem acesso à água, os outros coeficientes também se apresentaram pífios, quando correlacionados resultando em valores péssimos a expolo das correlações entre população com acesso a água/ sem acesso água, população com acesso a água/ com coleta de esgoto e população com acesso a água e sem coleta de esgoto, cujo os coeficientes foram respectivamente (0,25), (0,38) e (0,22). Demonstrado que as condições de saneamento básico são precárias, não passando dos níveis de 50% mesmo quando correlacionadas com variáveis que indicam desempenho com relação ao saneamento como a população com a coleta de esgoto cujo coeficiente chegou a apenas 38% das pessoas beneficiadas por essa variável.

Quando se analisa a coluna população percebe-se a exemplo de Belém, que o crescimento populacional de Ananindeua não é acompanhada do aumento das variáveis que indicam sinais positivos com relação ao saneamento, na medida em que quando correlacionado com as pessoas sem acesso a água, chegou-se ao coeficiente de (0,61), ou seja, 61% das pessoas não tem acesso a este serviço, na mesma linha segue-se a população com coleta de esgoto cujo o coeficiente foi de (0,18), sendo 18% somente as pessoas com este serviço e as pessoas sem a coleta de esgoto a maioria esmagadora haja vista que a correlação gerou um coeficiente de (0,81), 81% das pessoas não tem coleta de esgoto.

As análises de correlações seguem também péssimas ao se analisar as duas colunas restantes (população sem acesso a água e com coleta de esgoto), na medida em que suas correlações também apresentaram resultados insatisfatórios, no que tange ao saneamento básico, onde seus coeficientes foram de (0,11), (0,89), mostrando que 11%

têm coleta de esgoto e 89% sem coleta de esgoto, isto quando correlacionado com a variável de população sem acesso a água. E por último quando se correlacionou duas variáveis contrárias (população com coleta de esgoto/sem coleta de esgoto), notou-se que esta correlação foi puxada para baixo onde o coeficiente foi de (0,25), isto é 25%, indicando que mesmo com dados de pessoas que tem acesso a coleta de esgoto foram pífios na medida em que quando correlacionados com os dados das pessoas que não tem acesso a coleta de esgoto o resultado foi inferior a 50%.

O município de Castanhal, a exemplo do que ocorreu nos municípios de Belém e Ananindeua, apresentou coeficientes de correlações desfavoráveis com relação ao saneamento básico, na medida em que a maioria deles apresentaram classificações péssimas ou baixas, como mostra a tabela 6 a seguir:

	<i>Pop Com Acesso À Água</i>	<i>População</i>	<i>Pop Sem Acesso À Água</i>	<i>Pop Com Coleta De Esgoto</i>	<i>Pop Sem Coleta De Esgoto</i>
Pop Com Acesso À Água	1				
População	0,424697812	1			
Pop Sem Acesso À Água	0,38479698	0,581936543	1		
Pop Com Coleta De Esgoto	0,363443536	0,41292419	0,316183021	1	
Pop Sem Coleta De Esgoto	0,268384799	0,592603078	0,268291172	0,104406908	1

Tabela 6- Correlação das variáveis de Saneamento Básico- Castanhal

Fonte: do autor

No que tange o comportamento da primeira variável (população com acesso a água), as correlações mostraram quando comparadas as demais variáveis os coeficientes se mostraram péssimos ou baixos, desta maneira quando correlacionamos os coeficientes da população com acesso a água com a população percebe-se que o coeficiente foi de (0,42), ou seja, 42% da população tem acesso a água e quando correlacionamos com as pessoas que não tem acesso a água este coeficiente chega a somente (0,38), isto é, 38%, isto acontece porque a quantidade de pessoas que não tem acesso a água é maior logo tal fato “puxa” o coeficiente de correlação para baixo, o mesmo acontecendo quando correlaciona-se com as pessoas com coleta e sem coleta de esgoto cujo os coeficientes foram respectivamente de (0,36) e (0,26), logo 36% e 26%, o que denota correlações péssimas com relação ao saneamento básico.

Na segunda coluna também não foi diferente, o crescimento populacional (como mostrou a tabela 3), não é acompanhado por exemplo do percentual de pessoas com coleta de esgoto, na medida em que o seu coeficiente foi de (0,41), logo 41% das pessoas são beneficiadas com este serviço, enquanto que as que não tem coleta de esgoto o coeficiente sobe (0,59), ou seja, 59% não tem acesso a coleta de esgoto, seguindo a estas tendências segue-se a correlação com o percentual de pessoas sem acesso a água (0,58), logo 58% não são atingidas por este serviço. As correlações declinantes continuam na terceira coluna, na medida que quando se correlacionou a população sem acesso a água com as pessoas com e sem coleta de esgoto, ambas apresentaram coeficientes péssimos (0,31) e (0,26), 31% e 26% respectivamente, indicando que o número de pessoas não beneficiadas com os serviços de coleta de esgoto e água é maior o que “arrasta” os coeficientes de correlação para baixo, como mostrou as correlações.

Por fim na última coluna quando se correlaciona o percentual da população com e sem coleta de esgoto nota-se que este coeficiente foi de (0,10), isto é, 10% o que constata que a quantidade de pessoas sem coleta de esgoto é superior as pessoas que tem acesso a este serviço (como mostrou a tabela 3), o que traz para baixo o coeficiente de correlação como mostrado anteriormente. Em suma percebe-se que os investimentos em saneamento básico no município de Castanhal, foram insuficientes para atender o crescimento da demanda, (pelo menos nas variáveis estudadas no presente artigo), demonstrado pelas análises de correlações no período entre 2010 à 2018, o que evidenciou nas gestão municipal durante o horizonte de tempo estudado, pouca atenção com relação a aplicação das políticas públicas no município no que concerne as variáveis básicas do saneamento.

CONCLUSÃO

Entre as demais características do tema deste artigo salienta-se a difusão de conhecimentos acerca da necessidade de as ações dos gestores públicos municipais estarem centradas em informações técnicas e legais que possibilitam que os municípios tenham características adequadas, em razão dos investimentos públicos necessários, que permitam uma melhor qualidade de vida para a sociedade, aliando condições favoráveis ao saneamento básico com ações de políticas públicas.

O processo metodológico centrado em abordagem quantitativa foi válido, em virtude de que permitiu apresentar cenários da viabilidade da aplicação dos instrumentos públicos acerca dos municípios de Belém, Ananindeua e Castanhal, no horizonte de tempo entre 2010 à 2018. Com base nas variáveis apresentadas em forma de uma análise de correlação de demonstração de cinco variáveis: população, população com acesso a água, população sem acesso a água, população com coleta de esgoto e população sem coleta de esgoto com o propósito de diagnosticar as mazelas que provocam entrave à ações de políticas públicas e o saneamento básico.

Ultimamente, a sociedade tem sido retratada de um ângulo tecnológico. Há disponibilidade como nunca de jeitos e modos de fazer as coisas. Não obstante, muito do que interessa a todos não é feito, apesar das grandes somas despendidas no setor público como na iniciativa privada. Os computadores tornam-se cada vez mais rápidos a cada ano, entretanto, as mentes humanas não contam com velocidade suficiente para acompanhá-los. Por outro lado, é notório dizer do grande esforço que as gestões municipais fazem para superar tal dificuldade.

Constatou-se que as estatísticas de correlações refletiram as grandes mazelas, por qual passam os municípios de Belém, Ananindeua e Castanhal, seja por falta de recursos, ou por até mesmo de ter que dar prioridades para outras áreas mais precárias, a exemplo da saúde pública. As variáveis analisadas só fizeram constatar em termos percentuais os dados demonstrados pelo Trata Brasil, no período entre 2010 à 2018, mostrando a fragilidade dos mesmos, no setor do saneamento básico.

Se as pessoas influenciarem nas decisões de políticas públicas que as afetam mais, essas serão diferentes em diferentes lugares e as trocas compensadas resultantes entre crescimento e qualidade de vida serão diferentes. Serão efetivamente nas políticas públicas em que os aspectos éticos e legais serão substanciais.

REFERÊNCIAS

AGUM, RR; MENEZES, Monique; RISCADO, Priscila. Políticas Públicas: Conceitos e Análise em Revisão. Agenda Política, v. 3, 2015.

AZEVEDO, Sérgio de. Políticas públicas: discutindo modelos e alguns problemas de implementação. In: SANTOS JÚNIOR, Orlando A. Dos (et. al.). Políticas públicas e gestão local: programa interdisciplinar de capacitação de conselheiros municipais. Rio de Janeiro: FASE, 2003.

BARROS, R. T. V. et al. Saneamento. Belo Horizonte: Escola de Engenharia da UFMG, 1995. (Manual de saneamento e proteção ambiental para os municípios – volume 2).

Composição Técnica e proposições. “Plano Municipal de Saneamento Básico de Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário do Município de Belém do Pará, 2014- volume 2). Disponível em www3.belem.pa.gov.br/www/wp.../PMSB-Belém-PA_Volume-I2.pdf

HELLER, L.; CASTRO, J.E. Política pública de saneamento: apontamentos teórico-conceituais. Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental. Rio de Janeiro, v. 12, n. 3, p. 284-295, 2007.

HELLER, L. Saneamento e saúde. Organização Panamericana de Saúde da Organização Mundial da Saúde. Representação do Brasil. Brasília, 1997.

INSTITUTO TRATA BRASIL SANEAMENTO NO MUNDO disponível em <www.tratabrasil.org.br/saneamento-no-mundo

Jornal, O Liberal, edição de 6 de maio de 2019.

KINGDON, J. *Agendas, Alternatives and Public Policies*. New York: Longman, 2003.

LINDBLOM, C. E. The Science of Mudding Through. *Public Administration Review*. 1959.

LOWI, T. J. Four Systems of Policy, Politics, and Choice. *Public Administration Review*, Vol. 32, No. 4., 1972.

NUNES, X. P.; ALMEIDA, J. R. G. S.; NUNES, X. P. Anemia ferropriva, enteroparasitoses e esgotamento sanitário. Petrolina-PE. *Rev. Bra. Pesq. Saúde*, 2014.

MARTINS, G. A.; DOMINGUES, O. *Estatística Geral e Aplicada*. 6. Ed. São Paulo: Editora Atlas, 2017.

TUDE, J. M. *Conceitos Gerais de Políticas Públicas*. (2009).

FREY, K. Governança urbana e participação pública. In: ENCONTRO ANUAL DA ANPAD, 28., 2004, Curitiba. *Anais...* Curitiba: Anpad, 2000.

GUIMARÃES, A. J. A.; CARVALHO, D. F. de; SILVA, L. D. B. da. Saneamento básico. Disponível em: Acesso em: 15 ago. 2007.

ROSEN, George. *Uma história da Saúde Pública*. São Paulo: Ed. Unesp, 1994

SWYNGEDOUW, E. (2004). *Social Power and the Urbanization of Water. Flows of Power*. London, Oxford University Press.

SCHULTZ, Duane P.; SCHULTZ, Sydney Ellen. *Revista brasileira de geociências*. 16. ed. São Paulo: Cultrix, 1992.

CRITÉRIOS DE SENIORIDADE E NÍVEIS SUBSEQUENTES PARA CLASSIFICAÇÃO DE AUDITORES DE BARRAGENS

Data de aceite: 25/05/2021

Rafaela Baldi Fernandes

Doutora em Geotecnia – Instituto Brasil

Karina Livia Vieira

Mestre em Geologia – CADAM

Felipe Daiha Alves

Estagiário em Geotecnia – Instituto Brasil

RESUMO: O Brasil possui, aproximadamente, 1.310 barragens de água e rejeito inseridas na PNSB, ou seja, classificadas em relação a categoria de risco e ao dano potencial associado, que devem cumprir exigências legislativas periódicas. O entendimento e a classificação em relação a risco e dano podem ser simplificados, caso a experiência do auditor seja reduzida, haja visto que não haverá conhecimento o suficiente para avaliar possíveis situações de instabilidade. As rupturas de barragens são, na maioria das vezes, o estado último de progressão de uma anomalia identificada de maneira equivocada, ou negligenciada e, desta forma, reduzir falhas possui uma interação significativa com o tipo de profissional e o conhecimento que tem sido aplicado as auditorias de barragens. Nesse artigo, é apresentada uma sugestão para iniciar as discussões relacionadas a certificação de categorias profissionais relacionadas a auditoria de barragens.

PALAVRAS-CHAVE: Barragens, classificação, auditoria, risco e falha.

ABSTRACT: Brazil has, approximately, 1.310 water and tailings dams inserted in the PNSB, that is, classified according to the risk category and the associated potential damage, which must comply with periodic legislative requirements. The understanding and classification in relation to risk and damage can be simplified, if the auditor's experience is reduced, given that there will not be enough knowledge to assess possible instability situations. Dam breaks are, in most cases, the ultimate state of progression of an anomaly mistakenly identified, or neglected and, thus, reducing failures has a significant interaction with the type of professional and the knowledge that has been applied to dam audits. In this article, a suggestion is presented to start discussions related to the certification of professional categories related to dam auditing.

KEYWORDS: Dams, classification, audit, risk and failure.

1 | INTRODUÇÃO

A Política Nacional de Segurança de Barragens, estabelecida pela Lei nº 12.334 de 20 de setembro de 2010^[1] e atualizada pela Lei nº 14.066 de 30 de setembro de 2020^[2], estabelece conceitos de CRI – Categoria de Risco e DPA – Dano Potencial Associado para barragens. A legislação é aplicada para barragens destinadas à acumulação de água para quaisquer usos, disposição final ou temporária de rejeitos e acumulação de resíduos industriais que apresentem, no mínimo, um dos itens listados a seguir: (I) Altura do maciço maior

ou igual a 15 metros; (II) Capacidade total do reservatório maior ou igual a 3.000.000 m³; (III) Reservatório que contenha resíduos perigosos; (IV) Categoria de DPA médio ou alto, em termos econômicos, sociais, ambientais ou de perdas de vidas humanas; (V) Categoria de CRI Alto.

A partir desta regulamentação, os órgãos fiscalizadores estabeleceram diretrizes específicas para as barragens sob sua gestão, com sistemas de cadastro de barragens e matrizes de classificação de risco e dano. Para as barragens de rejeito, a ANM - Agência Nacional de Mineração, através da Portaria nº 70.389 de 17 de maio de 2017^[3] enquadra as barragens em categorias A, B, C, D ou E, a depender da pontuação obtida nas três tabelas que compõe o CRI e na tabela de DPA. Para as barragens de acumulação de água com fins de geração de energia, a ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica, através da Resolução nº 696 de 15 de dezembro de 2015^[4] enquadra as barragens em categorias A, B ou C, a depender da pontuação obtida nas três tabelas que compõe o CRI e na tabela de DPA. A ANA – Agência Nacional de Águas, através da Resolução nº 236 de 30 de janeiro de 2017^[5] enquadra as barragens em categorias A, B, C ou D, a depender da pontuação obtida nas três tabelas que compõe o CRI e na tabela de DPA. Já a Resolução nº 132 de 22 de fevereiro de 2016^[6] apresenta o quadro de classificação referente ao DPA e, os critérios de CRI são estabelecidos pelo CNRH – Conselho Nacional de Recursos Hídricos, através da Resolução nº 143 de 10 de julho de 2012^[7].

Segundo dados disponibilizados nos relatórios das agências reguladoras, o Brasil possui 877 barragens de rejeito de mineração, sendo que em fevereiro de 2021, 436 barragens estavam incluídas na PNSB. Para as barragens de acumulação de água para geração de energia, das 910 barragens, 709 fazem parte da política. Para as demais barragens de acumulação de água, tem-se 165 estruturas inseridas na política, em um total de 200 barragens. Ao todo, são 1310 barragens, classificadas em relação a categoria de risco e ao dano potencial associado, que devem cumprir exigências legislativas periódicas. Dentre elas, a entrega de relatórios de auditoria de segurança de barragens que atestam a estabilidade física das estruturas e frente a passagem de cheias. Os critérios de risco e dano, até o momento, não consideram a diferenciação entre a expertise da equipe dedicada a estas atividades, bem como a experiência em trabalhos similares dos auditores e o nível acadêmico e técnico destes profissionais. Nesse sentido, o entendimento e a classificação em relação a risco e dano podem ser simplificados, caso a experiência do auditor seja reduzida, haja visto que não haverá conhecimento o suficiente para avaliar possíveis situações de instabilidade. As rupturas de barragens são, na maioria das vezes, o estado último de progressão de uma anomalia identificada de maneira equivocada, ou negligenciada e, desta forma, reduzir falhas possui uma interação significativa com o tipo de profissional e o conhecimento que tem sido aplicado as auditorias de barragens.

2 | CRITÉRIOS PARA AVALIAÇÃO

O exercício das atividades de auditoria, principalmente o de inspeções de barragens, ainda não são limitados a pessoas registradas nos conselhos e, neste caso, especialmente no que diz respeito regulamentações elaboradas pelo CONFEA – Conselho Federal de Engenharia e Agronomia e CREA – Conselho Regional de Engenharia. A emissão das ART's são reguladas e, nesse sentido, há determinados trabalhos onde a necessidade de emissão deste documento faz com que seja essencial a inscrição nos conselhos. Entretanto, há quem entenda que a regulamentação de profissões por conselhos restringe o exercício de atividades a um determinado grupo de profissionais, reduzindo a livre concorrência e elevando os custos dos serviços. Ainda, que onera as atividades a partir do momento que a fiscalização será financiada com contribuição compulsória dos profissionais devidamente regulamentados. Há conselhos que cobram valores superiores a R\$ 500,00 por ano de determinadas categorias, com julgamento próprio que podem, inclusive, cassar diplomas.

Segundo Essinger (2008) ^[8], o termo “reserva de mercado” refere-se a uma política governamental que impede, legalmente, o acesso e a importação de uma determinada classe de produtos e bens de consumo, com vistas a proteção do desenvolvimento da indústria nacional e incremento da pesquisa científica interna. Tem sido utilizado em todas as áreas de conhecimento, já há algum tempo, com projetos de lei específicos para cada profissão. Na Idade Média as corporações de ofícios tornaram-se a principal maneira de organizar o trabalho de ceramistas, pedreiros, escultores e afins, cobrando taxas e aplicando multas, aprovadas pelo Estado.

Ainda para o caso das inspeções e auditorias de barragens é esperado que o profissional que irá se responsabilizar pelos atestados tenha um mínimo de experiência técnica e prática para identificar corretamente possíveis problemas de instabilidade. Nesse sentido, regulamentar o tipo de profissional que estará apto a assinar por determinadas responsabilidades, como uma qualificação mínima, é uma forma de reduzir o risco associado a estas estruturas e elevar o grau de estabilidade e controle nas barragens.

Até o momento, não há nenhuma regulamentação deste tipo na legislação brasileira vigente. Além da presença da regulamentação é essencial que se discuta sobre o credenciamento, ou seja, comprovação de competências e de licenças de trabalho, tanto de profissionais quando de empresas. Regulamentar para proteger a sociedade não é garantia de que os profissionais inseridos em determinada categoria estão aptos a desenvolver todas as atividades específicas de uma profissão, com excelência. Nos Estados Unidos e Europa há uma infinidade de profissões regulamentadas, assim como no Brasil, mas a diferença reside no fato de que os profissionais europeus e americanos realizam exames propostos por uma comissão de âmbito estadual para confirmar e atestar sua competência em determinada área.

Algumas faculdades, centros universitários e demais categorias de formação

superior, ainda não aderiram às diretrizes impostas pelo MEC – Ministério da Educação nas NDJ - Novas Diretrizes Curriculares, e podem formar profissionais inaptos para o exercício da profissão, mesmo que, ainda, registrados e regulamentados nos conselhos. Vale ressaltar que o registro nos conselhos de engenharia é realizado mediante a apresentação de diploma, de centros de formação superior previamente cadastrados e avaliados.

Possuir determinadas credenciais significa que há capacidade de assumir níveis mais altos de responsabilidade e, nesse sentido, há regulações distintas em cada país. Nos Estados Unidos, para se tornar um engenheiro licenciado, é necessária experiência de, no mínimo, quatro anos após a formatura, para estar apto a realizar os exames de competência e obter licenciamento no estado. Os exames PE – Practice of Engineering, também são necessários para manter as licenças, sendo que o profissional deve melhorar continuamente suas habilidades ao longo da carreira. Somente engenheiros licenciados podem preparar, assinar e submeter projetos as autoridades, bem como se responsabilizar por projetos entregues a clientes públicos e privados. O entendimento é de que a combinação de habilidades especializadas com altos padrões de ética e qualidade asseguram uma maior confiabilidade do trabalho e no interesse por salvaguardar vidas terceiras. A licença não é algo desejável mas uma exigência legal. A EUR ING – European Engineer é a qualificação profissional requerida para profissionais altamente qualificados, utilizada em mais de 33 países europeus. Similar a americana, requer formação e prática de sete anos, antes da avaliação de competências, sendo a FEANI EUR – Federation of Professional Engineers, responsável pelo cadastro dos registros dos membros. Na Irlanda e no Reino Unido o título de “Chartered Engineer” requer um processo de qualificação de 8-12 anos, sendo um pré requisito na obtenção do EUR ING. Na França, é requerida titulação de mestrado, além de mínimo de cinco anos de experiência na área (Bac + 5), sendo similar ao processo na Grécia, que ainda exige mais dois anos de experiência específicos na área do mestrado. A Bélgica também exige mestrado, além de oito anos de experiência.

Com base no exposto, a proposta sugerida como critério que avalie as competências de um auditor será, nesse momento, importante para analisar a qualidade dos trabalhos que tem sido desenvolvidos por profissionais e as empresas a que eles se relacionam. Acredita-se que a evolução deste sistema seja um mecanismo de certificação, assim como o que já acontece em diversos países. Para o sistema de Classificação do Auditor proposto neste artigo, considera-se uma matriz ponderada da experiência profissional, em termos de acervo técnico e ARTs, juntamente com os níveis acadêmicos de pesquisa, publicações e condição multidisciplinar das equipes envolvidas nos projetos.

2.1 Categoria A - Experiência, com base no número de documentos no Acervo Técnico ou Anotação de Responsabilidade Técnica – ART

Criada pela Lei nº 6.496 de 7 de dezembro de 1977^[9], a ART é uma declaração obrigatória que todo profissional deve emitir, para qualquer atividade técnica, referente

a todo contrato, escrito ou verbal, para a execução de obras ou prestação de quaisquer serviços profissionais referentes à Engenharia, à Arquitetura e à Agronomia. Já o Acervo Técnico é o conjunto das atividades desenvolvidas ao longo da vida útil do profissional, compatíveis com suas atribuições, desde que registradas através das ART`s. Desta forma, os profissionais que atuam como responsáveis pelas atividades possuem registro destas atividades, sendo possível acompanhar toda a documentação pelo site dos CREA – Conselho Regional de Engenharia.

O CONFEA – Conselho Federal de Engenharia e Agronomia, analisa, fiscaliza e determina a classe trabalhadora e, de acordo com o Decreto Federal nº 23.569 de 11 de dezembro de 1933^[10], estabelece o regulamento do exercício das profissões de engenharia, dentre outros. A experiência do profissional, então, pode ser comprovada pela quantidade de atividades executadas e que estão sob sua responsabilidade. Para o sistema de classificação proposto, considera-se:

- $15 < \text{Acervo Técnico}$ ou $30 < \text{ARTs}$ – Pontuação 8
- $10 < \text{Acervo Técnico} \leq 15$ ou $20 < \text{ARTs} \leq 30$ – Pontuação 6
- $5 < \text{Acervo Técnico} \leq 10$ ou $10 < \text{ARTs} \leq 20$ – Pontuação 4
- $\text{Acervo Técnico} \leq 5$ ou $\text{ARTs} \leq 10$ – Pontuação 2

É imprescindível que a documentação considerada possua item no campo “Atividade Técnica” condizente com o propósito da classificação, ou seja, para projeto e obras de barragens, neste campo deve, obrigatoriamente, ter a atividade “barragens e diques”.

2.2 Categoria B - Tempo de Experiência do Auditor, com base na conclusão do ensino de graduação nas áreas especificadas

Considerando que as ARTs são regulamentadas para determinadas profissões que exijam cursos de graduação, torna-se importante inserir critério que contemple a experiência acadêmica do profissional. As pós-graduações lato sensu compreendem programas de especialização, com duração mínima de 360 horas e, ao final do curso, o aluno obtém certificado e não diploma. As pós-graduações stricto sensu compreendem programas de mestrado e doutorado e, ao final do curso, o aluno obterá diploma. Ambos são regulamentados pela Lei nº 9.394 de 20 de dezembro de 1996^[11]. Para os cursos de mestrado acadêmico, geralmente, é requerido um mínimo de dois anos para sua conclusão, sendo o primeiro ano para disciplinas e o segundo para dedicação a dissertação. Já para o doutorado, há cerca de dezoito meses para disciplinas e três anos para pesquisa e defesa da tese.

Para o sistema de classificação proposto, considera-se desejável que um profissional de nível sênior possua mestrado e doutorado e, nesse caso, um mínimo de sete anos seria necessário para cumprimento destes requisitos, desde que os estudos fossem continuados. Levando em conta que, após a formatura na graduação, tem-se o tempo de maturação do

aprendizado e, que isso também deve ocorrer após a finalização do mestrado e doutorado, foram acrescidos mais seis anos referente a esta parte aplicada. Desta forma, quinze anos é um intervalo satisfatório para consideração da senioridade, principalmente quando observados os critérios de credenciamento de profissionais já adotados em outros países.

Profissionais na categoria Interno ou Trainee, também conhecida como estagiário, refere-se a um profissional que acabou de se formar ou está nos últimos semestres da graduação. A experiência prática ainda é precária e, geralmente, o aprendiz participa de *job rotation* para conhecer todas as áreas da empresa e ter uma visão integrada dos processos. É desejável que possua um mentor que auxilie a atingir metas específicas e a desenvolver planos de ação para esse ponto. A maioria das empresas requer que o profissional tenha um bom conhecimento de inglês e das ferramentas para o desenvolvimento das atividades, tais como softwares. Para este nível, não há comprometimento com a responsabilidade técnica do produto final, mas participa passivamente da produção, coordenação e gerenciamento em todos os níveis hierárquicos.

O profissional júnior é aquele que passou por um estágio, conhece bem as diretrizes da empresa e sabe realizar tarefas técnicas de forma independente, implantando soluções que, ainda, serão submetidas a análise antes do envio final a um cliente. Há entregas técnicas mas sem o entendimento do macro processo, ou seja, o profissional é alocado em uma determinada área de conhecimento. É esperado que este tipo de profissional ainda esteja em maturação e, nesse sentido, podem cometer erros, mas precisam aprender com os erros. É requerida capacidade de discutir sobre o trabalho e espera-se que haja comprometimento contínuo com aprendizado, sabendo aceitar críticas e sempre estar disposto a pedir ajudar. Esse tipo de profissional, geralmente, precisa de alguns dias para desenvolver questões que um sênior desenvolve em minutos. Ainda, não tem responsabilidade técnica sobre os produtos finais, mas participa ativamente as decisões no grupo ao qual está alocado, sob gestão de uma liderança.

O profissional pleno realiza tarefas técnicas de forma independente e implanta soluções que, na maioria das vezes, já possui a análise crítica de um líder em relação a estar finalizada ou aos ajustes que precisam ser realizados. As entregas técnicas deste profissional são entendidas como parte de um processo e começam a ser apresentadas ativamente para as soluções de um macro problema. O Pleno se envolve diretamente com outros setores, principalmente o comercial e de planejamento. Já considera responsabilidade técnica sobre as entregas e, na maioria das vezes, coordena um grupo e se envolve em decisões gerenciais. O maior diferencial deste profissional em relação as categorias juniores é que há entendimento do problema, na micro e macro escala, com entregas de soluções integradas.

Os profissionais sêniores possuem experiências passadas, onde o aprendizado com erros direcionar um time para o caminho correto. Requer muita experiência e boa capacidade de comunicação, uma vez que gerencia as equipes com espírito de liderança.

Crenças comuns desenvolvem valores comuns e líderes devem atuar no fomento para o crescimento de seus liderados, ensinando a eles habilidades, disciplinando quando é necessário e incentivando a auto confiança. Dessa forma, cada um pode seguir o seu caminho e alcançar algo maior, refletindo no crescimento das organizações. A principal meta de um sênior é reduzir, e eliminar ao máximo, riscos técnicos, tomando decisões certas, que trazem o máximo de benefício para o negócio e para pessoas, além de minimizar custos e prazos. O sênior entende o que a equipe desenvolve e pensa sobre quais tarefas cada um pode desenvolver em alta performance, resolvendo problemas antes mesmo de que eles aconteçam. São proativos e não reativos, com alta capacidade de resolver várias tarefas complexas ao mesmo tempo, resolvendo mais rápido do que os plenos. Nessa categoria, assumem responsabilidade técnica pelos produtos. Para o sistema de classificação proposto, a pontuação adotada considera-se:

- 15 < Anos de formado no curso de graduação – Pontuação 4
- 10 < Anos de formado no curso de graduação \leq 15 – Pontuação 3
- 5 < Anos de formado no curso de graduação \leq 10 – Pontuação 2
- Anos de formado no curso de graduação \leq 5 - Pontuação 1

2.3 Categoria C – Tipo de especialização do Auditor nas áreas especificadas

As pós-graduações lato sensu compreendem programas de especialização, com duração mínima de 360 horas e, ao final do curso, o aluno obtém certificado e não diploma. As pós-graduações stricto sensu compreendem programas de mestrado e doutorado e, ao final do curso, o aluno obterá diploma. Ambos são regulamentados pela Lei nº 9.394 de 20 de dezembro de 1996^[11]. Para os cursos de mestrado acadêmico, geralmente, é requerido um mínimo de dois anos para sua conclusão, sendo o primeiro ano para disciplinas e o segundo para dedicação a dissertação. Já para o doutorado, há cerca de dezoito meses para disciplinas e três anos para pesquisa e defesa da tese. Para o sistema de classificação proposto, considera-se:

- Profissional com título Stricto Sensu de Doutorado, ou titulação superior – Pontuação 8
- Profissional com título Stricto Sensu de Mestrado Acadêmico – Pontuação 6
- Profissional com título Lato Sensu de Especialista ou Mestrado Profissional – Pontuação 4
- Profissional graduado nas áreas especificadas, ou áreas correlatas – Pontuação 2

2.4 Categoria D - Publicações do Auditor na área de Geotecnia (artigos, livros, periódicos e outros especificados)

As empresas precisam abrir espaço e criar oportunidades para os profissionais com pouca experiência se qualificarem e crescerem, objetivando a renovação contínua do setor. É à medida em que os profissionais mais seniores divulgam seus trabalhos e experiências, engrandecem as discussões de qualidade na área. Para o sistema de classificação proposto, considera-se somente publicações de textos e produções que contenham ISBN, sendo:

- $15 < \text{Publicações} - \text{Pontuação } 4$
- $10 < \text{Publicações} \leq 15 - \text{Pontuação } 3$
- $5 < \text{Publicações} \leq 10 - \text{Pontuação } 2$
- $\text{Publicações} \leq 5 - \text{Pontuação } 1$

2.5 Categoria E - Multidisciplinaridade da Equipe: Número de integrantes na equipe responsável pelo Projeto/Relatório, com qualificação similar ao do Auditor Responsável

A multidisciplinaridade permite o exame e avaliação de uma situação, sob diferentes pontos de vista, e a definição de soluções que estabelecem relações entre diferentes disciplinas. O caráter interdisciplinar que cada profissional possui proporciona um conhecimento mais especializado e, ao trazer esse conhecimento para uma discussão, é estabelecida uma relação simultânea com o objetivo de traçar a melhor solução para um determinado problema. Em análises de risco, por exemplo, a discussão entre os participantes e exposição de pontos de vista diferenciados faz com que haja uma convergência para um ponto em comum e, nesse sentido, a subjetividade é reduzida. Para o sistema de classificação proposto, considera-se:

- $5 \leq \text{Equipe} - \text{Pontuação } 4$
- $4 < \text{Equipe} < 5 - \text{Pontuação } 3$
- $3 \leq \text{Equipe} \leq 4 - \text{Pontuação } 2$
- $\text{Equipe} < 3 - \text{Pontuação } 1$

3 | NOTA DO AUDITOR

A Nota de Auditor irá estabelecer a categoria profissional ao qual ele está relacionado e, desta forma, criar um paralelo com o grau de risco a que a documentação elaborada está sujeita. Declarações e documentos elaborados por profissionais sêniores possuem uma assertividade e confiabilidade maior nas conclusões, haja visto a experiência do auditor e

sua base técnica e prática.

A Tabela 1 apresenta as pontuações e os critérios considerados para esta nota, sendo obrigatória a escolha de um item para cada coluna. Considerando que a linha 1 refere-se aos critérios de maior pontuação e, a linha 4, os critérios de pontuação mínima, tem-se um ordenamento crescente das linhas no sentido de cima para baixo da tabela. Desta forma, para Sênior, foi estabelecido o preenchimento de todos os itens de nota máxima, da Linha 1, em cada coluna, assim como para o trainee, foram considerados os limites inferiores, da Linha 4. O limite máximo para sênior é o de 28 e, para Trainee, 7.

Para Pleno, considerou-se a combinação de um item de cada coluna da Linha 2, com demais itens da Linha 1, que retornaram valores entre 26 e 27. Para Júnior, a combinação de um item de cada coluna da Linha 3, com demais itens da Linha 4, que retornaram valores entre 8 e 9. Ainda, para Júnior, considerou-se o limite máximo de pontos atribuindo todos os itens da linha 2, exceto os critérios de Número de Publicações e Multidisciplinaridade da Equipe, onde considerou-se estes pertencentes a linha 3. Para o caso do Pleno, de forma análoga, a pontuação máxima levou em conta todos os itens da linha 3, exceto Publicações e Multidisciplinaridade, no qual foram atribuídos os valores da linha 4 nessas colunas. Desta forma, a nota obtida através da seleção das pontuações por critérios, tem-se:

- Sênior: Pontuação ≥ 28
- Pleno: $16 < \text{Pontuação} < 28$
- Júnior: $7 < \text{Pontuação} \leq 16$
- Trainee ou Interno: Pontuação ≤ 7

(A) Experiência, com base no número de Acervo Técnico ou ART	(B) Tempo de experiência do Auditor, com base na conclusão da graduação nas áreas especificadas	(C) Tipo de especialização do Auditor, nas áreas especificadas	(D) Publicações do Auditor na área de Geotecnia (artigos, livros, periódicos e outros especificados)	(E) Multidisciplinaridade da Equipe: Número de integrantes na equipe responsável pelo Relatório, com qualificação similar ao do Auditor Responsável
15 < Acervo Técnico OU 30 < ART <i>Pontuação 8</i>	15 < Anos de formado no curso de graduação <i>Pontuação 4</i>	Profissional com título Stricto Sensu de Doutorado, ou titulação superior <i>Pontuação 8</i>	15 < Publicações <i>Pontuação 4</i>	5 \leq Equipe <i>Pontuação 4</i>

10 < Acervo Técnico ≤ 15 OU 20 < ART ≤ 30 <i>Pontuação 6</i>	10 < Anos de formado no curso de graduação ≤ 15 <i>Pontuação 3</i>	Profissional com título Stricto Sensu de Mestrado Acadêmico <i>Pontuação 6</i>	10 < Publicações ≤ 15 <i>Pontuação 3</i>	4 < Equipe < 5 <i>Pontuação 3</i>
5 < Acervo Técnico ≤ 10 OU 10 < Acervo Técnico ≤ 20 <i>Pontuação 4</i>	5 < Anos de formado no curso de graduação ≤ 10 <i>Pontuação 2</i>	Profissional com título Lato Sensu de Especialista ou Mestrado Profissional <i>Pontuação 4</i>	5 < Publicações ≤ 10 <i>Pontuação 2</i>	3 ≤ Equipe ≤ 4 <i>Pontuação 2</i>
Acervo Técnico ≤ 5 ou ART's ≤ 10 <i>Pontuação 2</i>	Anos de formado no curso de graduação ≤ 5 <i>Pontuação 1</i>	Profissional graduado nas áreas especificadas, ou áreas correlatas <i>Pontuação 2</i>	Publicações ≤ 5 <i>Pontuação 1</i>	Equipe < 3 <i>Pontuação 1</i>

TABELA 1 – Classificação do Auditor

4 | CONCLUSÕES

O sistema apresentado é uma sugestão inicial que pode e deve ser melhorada a partir do momento em que as discussões sobre o tema sejam ampliadas, considerando pontos de vista diferenciados e as responsabilidades específicas das entidades que se tornarem certificadoras das competências.

As diretrizes para classificação de barragens, assim como as notas para o auditor, não são sistemas que devem ser considerados isoladamente para atestado da estabilidade das estruturas. Dessa forma, devem ser consideradas como uma das ferramentas utilizadas para redução das incertezas e riscos do processo avaliatório, contribuindo significativamente para uma adequada identificação de potenciais problemas e, desta forma, auxiliando na redução do número de falhas de barragens. Quanto maior a expertise do profissional dedicado a estas atividades, principalmente no que diz respeito à experiência prática, lições aprendidas em projetos anteriores e tempo dedicado a pesquisa e publicações em áreas correlatas, maior a eficiência dos processos de gestão de risco e falha.

REFERÊNCIAS

[1] BRASIL. Casa Civil – Subchefia para assuntos jurídicos. Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010: Estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens destinadas à acumulação de água para quaisquer usos, à disposição final ou temporária de rejeitos e à acumulação de resíduos industriais (...). Brasília, 2010. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19394.htm. Acesso em: 16 de fev. 2021.

- [2] BRASIL. Casa Civil – Subchefia para assuntos jurídicos. Lei nº 14.066, de 30 de setembro de 2020: Altera a Lei nº 12.334 de 20 de setembro de 2010 (...). Brasília, 2010. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2019-2022/2020/Lei/L14066.htm#art2. Acesso em: 16 de fev. 2021.
- [3] ANM. Portaria nº 70.389 de 17 de maio de 2017: Cria o Cadastro Nacional de Barragens de Mineração, o Sistema Integrado de Gestão em Segurança de Barragens (...). Brasília, 2017. Disponível em: <https://www.gov.br/anm/pt-br/assuntos/barragens/portaria-dnpm-no-70-389-de-17-de-maio-de-2017>. Acesso em: 16 de fev. 2021.
- [4] ANEEL. Resolução nº 696 de 15 de dezembro de 2015: Estabelece critérios para classificação, formulação do Plano de Segurança (...). Brasília, 2015. Disponível em: <https://www.gov.br/anm/pt-br/assuntos/barragens/portaria-dnpm-no-70-389-de-17-de-maio-de-2017>. Acesso em: 16 de fev. 2021.
- [5] ANA. Resolução nº 236 de 30 de janeiro de 2017: Estabelece critérios complementares de classificação de barragens (...). Brasília, 2017. Disponível em: <https://arquivos.ana.gov.br/resolucoes/2016/132-2016.pdf>. Acesso em: 16 de fev. 2021.
- [6] ANA. Resolução nº 132 de 22 de fevereiro de 2016: Estabelece a periodicidade de execução ou atualização, a qualificação dos responsáveis técnicos (...). Brasília, 2016. Disponível em: <https://arquivos.ana.gov.br/resolucoes/2017/236-2017.pdf>. Acesso em: 16 de fev. 2021.
- [7] CNRH. Resolução nº 143 de 10 de julho de 2012: Estabelece critérios gerais de classificação de barragens por categoria de risco, dano potencial associado e pelo seu volume (...). Brasília, 2012. Disponível em: <https://cnrh.mdr.gov.br/resolucoes/1922-resolucao-n-143-de-10-de-julho-de-2012/file>. Acesso em: 16 de fev. 2021.
- [8] Silvio Essinger (2008). Almanaque Anos 90. [S.l.]: Ediouro. 200 páginas. ISBN: 9788522008995.
- [9] BRASIL. Casa Civil – Subchefia para assuntos jurídicos. Lei nº 6.496, de 7 de dezembro de 1977: Institui a Anotação de Responsabilidade Técnica na prestação de serviços de engenharia, de arquitetura e agronomia (...). Brasília, 1977. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/16496.htm. Acesso em: 16 de fev. 2021.
- [10] BRASIL. Casa Civil – Subchefia para assuntos jurídicos. Lei nº 23.569, de 11 de dezembro de 1933: Regula o exercício das profissões de engenheiro, arquiteto e agrimensor Brasília, 1933. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1930-1949/d23569.htm. Acesso em: 16 de fev. 2021.
- [11] BRASIL. Casa Civil – Subchefia para assuntos jurídicos. Lei nº 9.384, de 20 de dezembro de 1996: Estabelece as diretrizes e bases da educação nacional. Brasília, 1996. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19394.htm. Acesso em: 16 de fev. 2021.

DESEMPENHO MECÂNICO DE DIFERENTES SOLOS ESTABILIZADOS COM CAL HIDRATADA

Data de aceite: 25/05/2021

Aloísio Felipe de Pádua Lima

Centro Universitário Lavras (UNILAVRAS)
Lavras, MG, Brasil

Diogo Antonio Correa Gomes

Universidade Federal Lavras (UFLA)
Lavras, MG, Brasil

Eduardo Hélio de Novais Miranda

Universidade Federal Lavras (UFLA)
Lavras, MG, Brasil

Luís Eduardo Silveira Dias

Centro Universitário Lavras (UNILAVRAS)
Lavras, MG, Brasil

Pedro Luiz Terra Lima

University of California Davis
Davis, Califórnia, Estados Unidos

RESUMO: O uso de aditivos químicos é frequentemente adotado em solos afim de se obter adequação das propriedades destes elementos às condições exigidas nos projetos de engenharia. Dentro deste contexto, o objetivo deste trabalho é a avaliação do comportamento mecânico de três tipos de solos (argissolo, cambissolo e latossolo vermelho) tratados com diferentes teores de cal hidratada. Para tanto, foi realizada uma escavação vertical circular para coleta do material em profundidades de 30 à 60 cm. Estas amostras foram levadas a estufa para secagem e em seguida foram caracterizadas pelo ensaio de granulometria. Após a caracterização

do solo “*in natura*”, foram moldados, através de compactação, corpos de prova de solo contendo adições (0, 30, 35 e 40 %) de cal hidratada. Em seguida, estas amostras foram submetidas ao ensaio de compressão uniaxial afim de verificar a influência da presença do estabilizante químico nas propriedades mecânicas dos solos. Os resultados demonstraram que os três tipos de solos naturais estudados apresentam granulometria predominante de areia e que as adições de cal contribuíram, significativamente, nos três tipos de solo, para ganhos mecânicos. Portanto, o uso deste produto químico em solos do tipo argissolo, cambissolo e latossolo vermelho se mostrou eficiente quanto ao aprimoramento de propriedades mecânicas de tais materiais e apresenta potencial de utilização em larga escala.

PALAVRAS-CHAVE: Argissolo, Cambissolo, Latossolo vermelho, Aditivos químicos.

ABSTRACT: The use of chemical additives is often adopted in soils in order to obtain the adequacy of the properties of these elements to the conditions required in engineering projects. Within this context, the objective of this work is to evaluate the mechanical behavior of three types of soils (argisol, cambisol and red latosol) treated with different levels of hydrated lime. For this purpose, a circular vertical excavation was performed to collect the material at depths of 30 to 60 cm. These samples were taken to the oven for drying and then were characterized by the granulometry test. After the characterization of the “*in natura*” soil, soil specimens containing additions (0, 30, 35 and 40%) of hydrated lime

were molded, through compaction. Then, these samples were submitted to the uniaxial compression test in order to verify the influence of the presence of the chemical stabilizer on the mechanical properties of the soils. The results demonstrate that the three types of natural soils studied present predominant sand granulometry and that the addition of lime contributed significantly to the mechanical gains in the three types of soil. Therefore, the use of this chemical in soils of the type argisol, cambisol and red latosol has proved to be efficient in improving the mechanical properties of such materials and has potential for large-scale use.

KEYWORDS: Argisol, Cambisol, Red Latosol, Chemical additives.

INTRODUÇÃO

Dentro da engenharia civil, denomina-se como solo todo material de construção ou mineração da crosta terrestre classificado de acordo com o agrupamento de partículas minerais de sua constituição. Este material é formado pela decomposição de rochas e apresenta espaços vazios entre as partículas que tendem a ser ocupados por água e/ou ar (CRAIG, 2007).

Conforme relatado por Consoli et al. (2012), quando os solos naturais não possuem requisitos mínimos necessários para cumprir adequadamente a função a que estão destinados, uma das soluções possíveis é a alteração das suas características de maneira a melhorar os seus comportamentos, tornando-os capazes de responder de forma satisfatória às solicitações previstas.

Neste contexto, a estabilização do solo é um dos instrumentos encontrados afim de adequação deste elemento natural às condições exigidas nos projetos de engenharia. Com a adição de estabilizadores ao solo natural, ascendem-se reações que o auxiliam a atingir a umidade ótima para uma boa compactação, assegurando o preenchimento dos poros e ganhos tanto em suas propriedades físicas quanto mecânicas (AZEVEDO et al., 2010).

Dentre os vários métodos de estabilização de solos para fins construtivos, o que tem sido identificado como mais eficiente e prático é a estabilização química, como, por meio de betumes, cimento Portland, pozolanas, produtos industrializados ou até mesmo o sistema de solo-cal (AZEVEDO et al., 2010).

O processo de estabilização solo-cal apresenta-se como uma boa opção para interação com propriedades, principalmente, com solos finos, pois pode modificá-los positivamente. Neste processo, íons cálcio (Ca^{2+}) da cal se movem para a superfície das partículas do solo e deslocam a água e outros íons. O solo torna-se, assim, mais friável e granular e com maior trabalhabilidade (MAKUSA, 2013; MEDINA, 1987).

Sob outra ótica, quando o solo sofre um processo de estabilização química por meio de cal hidratada, ele tem sua estrutura alterada, obtendo ganhos em resistência e compressibilidade. Os resultados atingidos por este processo, dependem, principalmente, das reações químicas que acontecem entre o estabilizador e os minerais presentes no solo (MAKUSA, 2013; MEDINA, 1987).

Portanto, este projeto tem como objetivo principal, a avaliação do comportamento mecânico de três tipos de solos (argissolo, cambissolo e latossolo vermelho) estabilizados quimicamente com diferentes teores de cal hidratada (0, 30, 35 e 40 %).

METODOLOGIA

Foram coletadas 240 kg de amostras de três diferentes solos (argissolo, cambissolo e latossolo vermelho) para análise laboratorial e estabilização na Universidade Federal de Lavras (UFLA). A coleta foi realizada através de uma escavação vertical circular com dimensões mínimas suficientes para permitir acesso para retirada de amostras representativas deformadas em profundidades de 30 à 60 cm, de acordo com a NBR 9604 (ABNT, 1986).

Nas Figuras 1a, 1b e 1c são apresentados os locais de retirada das amostras de argissolo, cambissolo e latossolo vermelho, respectivamente.

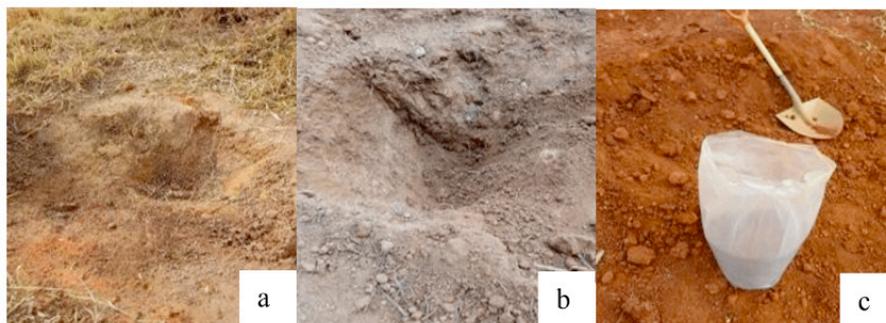


Figura 1 - Locais de coleta das amostras de (a) Argissolo, (b) Cambissolo e (c) Latossolo vermelho.

Os diferentes tipos de solos foram então levados para estufa a 100 ± 5 °C por um período de 24 horas para secagem prévia, conforme mostrado na Figura 2, de acordo com as recomendações da NBR 6457 (1986).



Figura 2 – Processo de secagem das amostras em estufa.

Após a secagem das amostras na estufa foi realizado o ensaio de granulometria, conforme a NBR 6457 (ABNT, 1986). O ensaio granulométrico foi realizado para os três tipos de solo. Para cada tipo de solo foram coletados 1000 gramas do maciço, mensurados com auxílio de em uma balança de precisão de 0,2 gramas. O peneirador foi programado em uma frequência de 7 hz por um período de 20 minutos. A Tabela 1 apresenta os números e aberturas das peneiras utilizadas no ensaio.

Nº da peneira	Abertura (mm)
4	4,750
10	2,000
16	1,180
30	0,600
40	0,425
50	0,300
100	0,150
200	0,075

Tabela 1 - Tamanhos de peneiras utilizadas na pesquisa.

Depois do preparo e caracterização dos solos “*in natura*”, compactou-se amostras com diferentes teores de cal hidratada (0, 30, 35 e 40 %) em um molde cilíndrico de três camadas iguais, aplicando-se em cada uma delas 26 golpes distribuídos uniformemente sobre sua superfície com soquete em queda de 30,5 cm, de acordo com a NBR 6457 (ABNT, 1986).

Observa-se através da Figura 3 que a amostra foi retirada do molde com auxílio do extrator; coletou-se ainda, uma pequena quantidade de cada tipo de solo para a

determinação da umidade.



Figura 3 - Retirada da amostra com extrator

Em seguida, determinou-se a umidade ótima e densidade máxima do solo e a partir destes parâmetros foram moldados 6 corpos de prova de cada tipo de solo, com 28 dias de cura cada, para o ensaio de compressão uniaxial.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 2 apresenta a caracterização granulométrica dos solos estudados.

Solo	Pedregulho (%)	Areia (%)	Argila + Silte (%)
Latossolo	1,26	97,51	1,23
Cambissolo	1,00	97,31	1,69
Argissolo	5,00	92,18	2,82

Tabela 2 – Caracterização granulométrica dos solos estudados.

De acordo com a caracterização, os três diferentes solos estudados apresentam granulometria predominante de areia (valores superiores a 92 %) e graduação regular de partículas.

A umidade ótima encontrada nestes solos foram 19.00, 19.69 e 25.70 % para o argissolo, cambissolo e latossolo vermelho, respectivamente. Após o cálculo desta propriedade, os corpos de prova foram moldados e ensaiados mecanicamente.

Durante o teste de compressão do cambissolo, porém, houve um grande

esfarelamento do corpo de prova, ou seja, aparente perda de coesão. Uma das formas encontradas para resolução do problema foi a realização do ensaio de proctor normal concomitante à mistura de cal hidratada nos corpos de prova.

Na Tabela 3 encontra-se os dados médios obtidos a partir do ensaio de compressão de todas as amostras.

Tipo de Solo	Resistência Mecânica (MPa)			
	CP 0 %*	CP 30 %*	CP 40 %*	CP 45 %*
Latossolo	0,28	2,65	2,25	1,92
Cambissolo	0,21	0,33	0,62	0,27
Argissolo	0,24	0,59	0,60	0,61

*Corpos de Prova de solos com diferentes porcentagens de substituição em massa por cal.

Tabela 3 – Valores médios obtidos no ensaio mecânico em função do nível de substituição em massa das amostras por cal hidratada.

De acordo com os valores encontrados, nota-se um significativo ganho de resistência das amostras com adições de cal hidratada em comparação a amostra referência (0 % de cal).

Os teores ideais para a maximização das propriedades mecânicas dos corpos de prova foram de 30, 40 e 45 % de substituição em massa de latossolo vermelho, cambissolo e argissolo, respectivamente, por cal hidratada. Os valores de resistência mecânica nestes teores apresentaram ganhos de 8.03, 2.95 e 2.54 vezes, respectivamente, em relação aos valores mecânicos da amostra referência.

Segundo Oliveira (2005), solos siltosos e argilosos combinados com solo-cal nem sempre atinge as propriedades desejadas como ganho de resistência, mesmo após um longo período de “cura”. As características apresentadas pelas amostras neste projeto, todavia, foram satisfatórias e demonstraram o grande potencial de misturas de solo-cal de 28 dias de cura.

CONCLUSÃO

Objetivou-se com esta pesquisa a avaliação do comportamento mecânico de três tipos de solos (argissolo, cambissolo e latossolo vermelho) estabilizados quimicamente com diferentes teores de cal hidratada (0, 30, 35 e 40 %).

Os resultados obtidos demonstraram que os três diferentes solos naturais apresentam granulometria predominante de areia e que as adições de cal contribuíram, significativamente, nos três tipos de solo para ganhos mecânicos. Os teores ideais para a maximização da resistência mecânica dos corpos de prova foram de 30, 40 e 45 % de

substituição em massa de latossolo vermelho, cambissolo e argissolo, respectivamente, por cal hidratada.

Portanto, o uso da cal como aditivo químico em solos se mostrou eficiente quanto ao aprimoramento de propriedades mecânicas e apresenta potencial de utilização em larga escala.

REFERÊNCIAS

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9604: **Abertura de poço e trincheira de inspeção em solo, com retirada de amostras deformadas e indeformadas**. Rio de Janeiro, 1986.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6457: **Amostras de solo-Preparação para ensaios de compactação e Ensaios de caracterização**. Rio de Janeiro, 1986.

AZEVEDO, A. L. C.; JÚNIOR, A. O.; PEDROSA, R. A. A.; RAMALHO, R. W. (1998). **Estabilização de Solos com Adição de Cal**. Revista Vias Gerais, Publicação do Centro de Transferência de Tecnologia do PIH/IPC – DER/MG, Minas Gerais, n. 2, p. 47-56

CONSOLI, N. C. et al. **Parameters controlling stiffness and strength of artificially cemented soils. Technical Note**. Géotechnique, London, v. 62, n. 2, p. 177-183, 2012.

CRAIG, R. F. **Mecânica dos solos**. 7.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2007.

MAKUSA, G. P. **Soil stabilization methods and materials in engineering practice: State of the art review**. Sweden: Lulea° University of Technology, 2013.

MEDINA, J. **Apostila de estabilização de solos** – COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 1987.

OLIVEIRA, Shirley Minnel Ferreira de. **Estudo do comportamento mecânico de misturas de fosfogesso e cal para a utilização na construção rodoviária**. 2005. 190 f. Dissertação (Mestrado em Transportes) – Escola de Engenharia de São Carlos – USP, São Carlos, 2005.

ESTUDO DE VIABILIDADE DE ROTAS RODOFLUVIAIS NA CIDADE DEMARABÁ-PA COMO APOIO AO TRANSPORTE URBANO

Data de aceite: 25/05/2021

Data de submissão: 01/03/2021

Isaac Gabriel Peixoto Borges de Oliveira

Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará
Marabá – Pará
<http://lattes.cnpq.br/2585488240003393>

Alan Monteiro Borges

Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará
Marabá – Pará
<http://lattes.cnpq.br/3697783631620731>

Nuria Pérez Gallardo

Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará
Marabá – Pará
<http://lattes.cnpq.br/8695660515236363>

RESUMO: Com as políticas de incentivo a industrialização de meados do século XX, os países capitalistas periféricos passaram a ter um crescimento acelerado. Logo, a questão da mobilidade urbana também passou a ser um problema e de difícil solução, visto que os locais menos consolidados demandariam maior quantidade de recurso financeiro e esforço do poder público. Com efeito, este artigo objetiva realizar um estudo de viabilidade de rotas rodoflúvias na cidade de Marabá-PA como apoio ao transporte urbano por ônibus. Para isso, dois questionários derivados de revisão bibliográfica foram aplicados aos agentes intervenientes para entender se seria uma alternativa utilizada e de real melhoramento para transporte urbano de Marabá-PA. Dentre os resultados obtidos,

foi perceptível a insatisfação da população com os serviços prestados, visto que 90% julgou o serviço como péssimo, sendo que também foi possível tomar conhecimento a respeito da aceitação do modal alternativo bem sustentado tecnicamente.

PALAVRAS-CHAVE: Mobilidade urbana; Transporte aquaviário; Transporte urbano.

STUDY ON THE FEASIBILITY OF WATERWAY ROUTES IN THE CITY OF MARABÁ-PA AS A SUPPORT TO URBAN TRANSPORT

ABSTRACT: With the policies to encourage industrialization in the mid-twentieth century, peripheral capitalist countries began to experience rapid growth. Therefore, the issue of urban mobility also became a problem and difficult to solve, since the less consolidated places would demand a greater amount of financial resources and efforts from the public authorities. So, this article aims to carry out a feasibility study of waterway routes in the city of Marabá-PA as support to urban transport by bus. For this, two questionnaires derived from bibliographic review were applied to the intervening agents to understand if it would be an alternative used and of real improvement for urban transport in Marabá-PA. Among the results obtained, the population's dissatisfaction with the services provided was noticeable, since 90% judged the service to be terrible, and it was also possible to understand about the acceptance of the technically well-supported alternative modal.

KEYWORDS: Urban mobility; Waterway transport; Urban transport.

1 | INTRODUÇÃO

Com as políticas de incentivo a industrialização de meados do século XX, os países capitalistas periféricos passaram a ter um crescimento acelerado. Devido a isso, a extensão do tecido citadino se deu de forma desequilibrada, que por sua vez ocasionou ocupações de locais carentes de equipamentos e serviços urbanos. Logo, a questão da mobilidade urbana também passou a ser um problema e de difícil solução, visto que os locais menos consolidados demandariam maior quantidade de recurso financeiro e esforço do poder público. E esse impasse acaba se tornando um fator excludente de camadas sociais menos favorecidas que dependem – até hoje com mais frequência – do transporte público, e encontram-se em áreas mais distantes dos centros urbanos. No Brasil, esse crescimento acelerado pôde ser percebido nitidamente durante o Programa de Metas implementado pelo Governo de Juscelino Kubitschek (1956-1960), o qual inaugurou um curto, porém intenso período de dinamismo econômico nacional.

Outrossim, em Marabá-PA – cidade onde se desenvolve o estudo – não foi diferente. A cidade passou por diversos ciclos econômicos até chegar aos dias de hoje. E, juntamente com essas movimentações financeiras, apresentavam-se e ainda se apresentam as especulações imobiliárias, provocando um crescimento acelerado e fora do controle do planejamento da prefeitura municipal. Por conseguinte, com o crescimento desordenado, aumento populacional e da demanda por locomoção, o transporte público presente no município se tornou ineficaz.

Como apontado por Pereira et al. (2000, p.39): “não existem recursos para aumentar a infraestrutura viária na proporção desejada para atender às necessidades do incremento da demanda por viagens de automóveis”, o que faz com que as prefeituras adotem políticas de incentivo ao uso de transporte coletivo, como demonstrado pela própria cidade de Marabá-PA via Lei Nº 17.873 (de 16 de novembro de 2018) a qual diz sobre Plano Municipal de Mobilidade Urbana, que menciona através do artigo 3º a respeito do “fomento à utilização do transporte coletivo”. Essa medida é tomada a fim de desafogar as vias já existentes, o que, por sua vez, acaba não se tornando uma alternativa realmente aplicável, visto a ineficiência do serviço.

Por conseguinte, torna-se possível a ampliação do debate em torno da utilização de um novo modal, o qual segundo o Plano Nacional de Logística (PNL) da Agência Nacional de Transportes Aquaviários (ANTAQ, 2018) possui baixo custo de transporte e grande capacidade de movimentação de carga. Que, por sua vez, também é evidenciado o interesse do município através da Lei Nº 17.873 pelo seu artigo 31º, que cita a necessidade de “realizar estudo do potencial de transporte hidroviário de cargas e passageiros no município de Marabá, de maneira a aperfeiçoar o deslocamento a partir da fruição da circulação pelos rios Itacaiúnas e Tocantins”. Então, como alternativa, levanta-se o estudo sobre rotas rodofluviais na cidade de Marabá, a fim de desenvolver a análise de viabilidade

técnica e econômica dessas, a partir de estudos realizados na cidade.

2 | MATERIAS E MÉTODOS

A pesquisa envolveu aspectos qualitativos e quantitativos, de caráter descritivo-analítico. Isto implica em se reconhecer não apenas que a lógica inerente ao modelo de análise matemática deva ser aplicada, mas também, que as decisões de planejamento devam obedecer à lógica inerente ao processo político, econômicos e sociais, o qual normalmente envolve atributos que não se pode configurar em números. Outrossim, para que o entendimento sobre a realidade de Marabá fosse fortalecido, dois questionários foram elaborados baseados na tese de doutorado “Contribuição Metodológica para Localizar Terminal de Integração de Passageiros do Transporte Hidro-Rodoviário Urbano” de Souza (2009) e aplicados aos agentes intervenientes que utilizam do trecho estudado. A rota estudada tem como ponto de partida o núcleo Marabá Pioneira e ponto final o núcleo São Félix, assim como o inverso também. Atualmente o sistema público de transporte só possibilita que viagens sejam feitas por ônibus ou taxi lotação, ou seja, outro meio alternativo – como é proposto pelo projeto de pesquisa – torna-se ainda mais necessário que seja debatido.

O cálculo amostral necessário para a pesquisa quantitativa, o qual definiu o número mínimo de pessoas a serem entrevistadas, foi realizado utilizando o método exposto por Fonseca e Martins (2011) no livro Curso de Estatística (Equação 01). O qual orienta escolher uma variável principal – que no caso são as respostas para pergunta “Usaria o modal aquaviário como alternativa de transporte?”. Devido à dificuldade de obtenção de dados referente à quantidade de usuários da rota estudada (Marabá Pioneira – São Félix) e baseando-se na informação de que apenas 7% da população faz uso do transporte público – segundo o site oficial de Marabá –, considerou-se que mil pessoas fazem proveito do trajeto.

$$n=(z^2 \times \hat{p} \times \hat{q} \times N) / (d^2 \times (N-1) + z^2 \times \hat{p} \times \hat{q}) \quad (\text{Equação 01})$$

Dados (Fonseca e Martins, 2011):

Z (abscissa da normal padrão) = 2; Para nível de confiança de 95,5%;

\hat{p} (estimativa da verdadeira proporção de um dos níveis da variável escolhida) = 0,72

$\hat{q} = 1 - \hat{p}$; $\hat{q} = 0,3$

d = erro amostral (10%);

N = tamanho da população;

Após realização dos cálculos, chegou-se a conclusão que seria necessário entrevistar 78 (setenta e oito) pessoas para ter uma boa percepção em relação ao pesquisado. Outra atividade foi a realização de uma pesquisa a respeito de possíveis embarcações que

poderão ser usadas na rota, tendo em vista a preocupação com custo benefício, capacidade de carga, altura do calado, etc.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Questionário aplicado aos agentes intervenientes da rota com origem na Marabá e destino para o São Félix

A primeira pergunta diz respeito ao tempo de espera pelos usuários, a qual forneceu seis possibilidades: de 0 a 10 minutos, entre 10 e 20 minutos, entre 20 e 30 minutos, entre 30 e 40 minutos, entre 40 e 50 minutos e 1 hora ou mais. Por conseguinte, 46% do público que respondeu o questionário informaram que se espera entre uma hora ou mais, 23% que se espera entre 40 e 50 minutos e 19% que se espera entre 20 e 30 minutos. Podendo, assim, perceber a alta demora em conseguir embarcar.

Além do alto tempo de espera, outro fator que reforça a ideia de um sistema de transporte público ineficaz, é o tempo de viagem. Foram dadas as mesmas alternativas que a primeira questão, pôde-se perceber que mais da metade dos entrevistados levam 1 hora ou mais para chegar ao seu destino final. E 32% levam de 40 a 50 minutos.

A terceira pergunta diz respeito à satisfação do usuário com o transporte público de Marabá, dando a possibilidade de ser julgado entre excelente, regular e péssimo. E, conforme respostas obtidas nas perguntas anteriores, não teria como ter outro resultado a não ser a completa insatisfação. Em síntese, 90% dos entrevistados julgam o sistema como péssimo e 10% como regular.

Para dar maior embasamento à relevância da pesquisa, a qual busca incentivar o uso de modais alternativos – no caso, o hidroviário – foi também perguntado sobre qual a causa dos entrevistados realizarem o percurso. A partir de então, demonstra-se a importância de uma possível facilitação na mobilidade urbana dos cidadãos, visto que contribui para o desenvolvimento de relações sociais e econômicas. Pôde-se perceber que mais de 60% dos entrevistados são motivados pela necessidade de locomoção até às instituições de ensino e aos seus respectivos empregos.

Outrossim, foi perguntado se o modal aquaviário seria utilizado como uma alternativa de transporte. Ademais, foi possível que 62% responderam positivamente, enquanto 38% afirmaram que não usariam o meio alternativo. E ao serem questionados o por quê, tornou-se possível perceber que o principal fator para desconsiderarem o modal se deu pelo quesito segurança ou tempo de locomoção – o que também demonstra desconhecimento em relação ao assunto, visto que há diferentes tipos de embarcações, com variadas velocidades. Por fim, a última questão foi a respeito de sugestões de localização do terminal de integração entre modais rodofluviais. Foram dadas duas possibilidades: na Orla de Marabá (Perto da Toca do Manduquinha) e na Orla de Marabá (Colônia de Pescadores Z30). Como resultado, obteve-se que 64% acham que na Orla de Marabá, próximo à Toca

do Manduquinha, seja o local mais indicado.

3.2 Questionário aplicado aos agentes intervenientes da rota com origem no São Félix e destino para Marabá Pioneira

Para os usuários com origem no São Félix e destino para Marabá Pioneira foram feitas basicamente as mesmas perguntas, exceto a que faz menção ao melhor lugar de implantação do terminal de integração. Conforme demonstrado pelos resultados, esse trajeto também se apresenta com alto tempo de espera, baixa satisfação e grande duração do tempo de viagem, o que mais uma vez mostra que o sistema de transporte público existente não é eficaz e conseqüentemente favorece o aumento da dificuldade de acesso, até mesmo aos serviços básicos.

Não variando substancialmente, o tempo de espera obtido também foi elevado, verificando que 26% dos entrevistados esperam entre 30 e 40 minutos, 26% esperam de 40 a 50 minutos e – com maior expressividade – 37% esperam 1 hora ou mais. Além dos resultados para tempo de espera, para o tempo de viagem também se repete, obtendo que 63% dos entrevistados precisam de 1 hora ou mais para realização do percurso. O que, por conseguinte, justifica os resultados obtidos para a pergunta referente à satisfação, dos quais 86% dos entrevistados consideram o serviço prestado como péssimo e 14% como regular, sendo nulo o número de respostas que consideram o transporte como excelente.

Já o próximo questionamento, mostra que mais de 60% dos usuários do transporte público, utilizam para ida ao trabalho ou a escola, o que expressa a dependência do núcleo São Félix da região mais central da cidade. Justificando ainda mais a necessidade de melhoramento do que está implantado, a fim de diminuir o tempo de viagem, qualidade e tempo de espera.

Tratando-se de como a população enxerga o modal como uma alternativa, nota-se uma aceitação maior quando comparado com a rota Marabá Pioneira – São Félix, sendo que 72% utilizariam e 28% não acham uma opção viável, seja por questão de segurança ou por não acreditarem que o tempo da viagem seria efetivamente menor. Por fim, a última questão foi a respeito de sugestões de localidade para implantação do terminal de integração entre modais rodofluviais. Foram dadas duas possibilidades: próximo à rodovia PA 150 ou próximo à praia do Geladinho. Como resultado, obteve-se que 83% acham que próximo à rodovia PA 150 seja o melhor local de implantação.

4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Percebe-se que o transporte urbano na cidade de Marabá é bastante precário e precisa de uma intervenção. Como alternativa, levantou-se o estudo de viabilidade técnica e econômica de rotas rodofluviais na cidade de Marabá como apoio ao transporte urbano por ônibus. Primeiramente, o município é banhado por dois importantes rios – Itacaiunas e Tocantins – com boas características de navegabilidade, e que através de uma possível

implantação de terminais de integração entre os modais, possibilitaria uma conexão mais rápida entre os núcleos da urbe. Por conseguinte, torna-se possível a ampliação do debate em torno da utilização de um novo modal, o qual segundo o PNL da Agência Nacional de Transportes Aquaviários (ANTAQ, 2018) possui baixo custo de transporte e grande capacidade de movimentação de carga. Que, por sua vez, também é evidenciado o interesse do município através da Lei Nº 17.873 pelo seu artigo 31º, que cita a necessidade de “realizar estudo do potencial de transporte hidroviário de cargas e passageiros no município de Marabá, de maneira a otimizar o deslocamento a partir da fruição da circulação pelos rios Itacaiúnas e Tocantins”.

O transporte hidroviário na Região Amazônica tem um papel importante para todas as atividades da população residente quer nas sedes dos municípios quer nas comunidades mais distantes. Dessa forma, utilizar do potencial natural que está presente mostra-se uma solução com evidências de ser exequível e compatível a localidade. Além do mais, pode-se ressaltar também que caso as rotas rodofluviais na cidade de Marabá-PA como apoio ao transporte urbano por ônibus, se implantadas, demandarão a construção de embarcações de acordo com as especificidades locais, assim, gerando um impacto tecnológico para região e conseqüentemente se tornando um potencial para influenciar políticas públicas, além de que gerarão novos empregos diretos e indiretos, visto a necessidade de manutenção e gerenciamento dos terminais de integração e das embarcações.

REFERÊNCIAS

ANTAQ, “**Anuário Estatístico Aquaviário**”, 2018. Disponível em: <<http://web.antaq.gov.br/Anuario/>>. Acesso: 09 de dezembro de 2019.

Constituição (1988). **Emenda constitucional nº 90, de 15 de setembro de 2015**. Lex: Dá nova redação ao art. 6º da Constituição Federal, para introduzir o transporte como direito social.

IBGE. 2018. **Panorama das cidades**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística | v4.3.8.10. disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pa/maraba/panorama>>. Acessado em 07 de abril de 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA - IBGE. **Regiões de influência das cidades 2007**. Rio de Janeiro, 2008. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/PZEE/_arquivos/regic_28.pdf>. Acesso em 04 de abril de 2019.

LEAKE, G. R., 2007. **Tecnologies for urban, interurban and rural passenger transport systems. Transport Planning and Traffic Engineering**. p.: 181-200.

MARABÁ. Câmara, 2014. Disponível em: Acesso em 28 de abril de 2019.

MARABÁ. **Lei nº. 17.846, de 29 de março de 2018 – Dispõe sobre o Plano de Mobilidade Urbana do município de Marabá, instituído pela lei municipal nº 17.873 de 29 de novembro de 2018, e dá outras providências**. Marabá: Prefeitura Municipal de Marabá, 2019. Disponível em: <https://www.governotransparente.com.br/transparencia/4466490/grupodearquivosprincipal/7>. Acesso em: 09 de dezembro de 2019.

PEREIRA, W.A.A. et al. **Aspectos da crise do transporte urbano**. Revista dos Transportes Públicos – ANTP, São Paulo, ano 23, n. 89, 2000.

SOUZA, Marly Honda de. **Contribuição metodológica para localizar terminal de integração de passageiros do transporte hidro-rodoviário urbano**. 2009. Tese de Doutorado. Tese (Doutorado em Engenharia de Transportes), Universidade Federal do Rio de Janeiro.

STRAATEMEIER, T. (2008). “**How to plan for regional accessibility?**” **Transport Policy**”, Vol: 15 , pg: 127-137.

ANÁLISE DE AEROFÓLIOS DE ALTA SUSTENTAÇÃO PARA APLICAÇÃO EM AERONAVE CARGUEIRA NÃO TRIPULADA DA EQUIPE ARAERO AERODESIGN

Data de aceite: 25/05/2021

Data de submissão: 08/03/2021

Jéssica Sales Pereira dos Santos

Universidade de São Paulo, Escola Politécnica
São Paulo - SP
<http://lattes.cnpq.br/7928058746144881>

João Pedro Avancini Dias

Instituto Federal do Espírito Santo – Ifes,
campus Aracruz
Aracruz - ES
<http://lattes.cnpq.br/4899896313846558>

Antonio Ricardo Grippa Satiro

Instituto Federal do Espírito Santo – Ifes,
campus Aracruz
Aracruz - ES
<http://lattes.cnpq.br/0529000071673226>

RESUMO: O presente trabalho desenvolveu uma metodologia de escolha de perfis de alta sustentação com base em perfis já existentes e amplamente utilizadas por equipes de aerodesign, de forma a ser aproveitada no progresso de projetos futuros da Equipe Araero Aerodesig do Ifes Campus Aracruz, além da criação de um perfil aerodinâmico de maior eficiência para a Equipe. Foram realizados cálculos estatísticos de informações fornecidas pela SAE Brasil das equipes participantes em torneios anteriores, de modo a estabelecer critérios mais apropriados ao projeto. Também se utilizaram os softwares XFLR5 para análise de coeficientes aerodinâmicos de momento, sustentação e

arrasto dos perfis e o Microsoft Excel no auxílio de cálculos. Percebeu-se que a metodologia criada foi efetiva para a escolha e aplicação do perfil no projeto de 2019 da Equipe Araero no Torneio de Acesso por conceder uma estratégia criteriosa de definição dos aerofólios, além da diminuição considerável de tempo na designação dos demais parâmetros, sendo possível sua utilização em projetos futuros. O software XFLR5 se mostrou sensível aos dados fornecidos, permitindo uma melhor eficiência na análise além da fácil projeção gráfica de apresentação. Por fim, o perfil desenvolvido se apresenta como eficaz em projetos futuros da Equipe Araero e também abre oportunidades de pesquisas específicas na área de desenvolvimento de aerofólios.

PALAVRAS-CHAVE: Aerodesign, perfis aerodinâmicos, sustentação, arrasto, XFLR5.

ANALYSIS OF HIGH-SUSTAINABLE AIRLINES FOR APPLICATION IN AIRCRAFT UNRAVELED LOAD OF THE ARAERO AERODESIGN TEAM

ABSTRACT: The present work developed a methodology to select high lift profiles based on existing profiles and widely used by other teams, in order to be used in the progress of future projects of the Araero Aerodesign Team of the Ifes Campus Aracruz, in addition to the creation of a aerodynamic profile of greater efficiency for the Team. Statistical calculations were performed on information provided by SAE Brasil from teams participating in previous tournaments, in order to set more appropriate criteria for the project. The XFLR5 software was also used to analyze the

aerodynamic coefficients of the moment, lift and drag of the profiles, Microsoft Excel in the aid of calculations. It was noticed that the methodology created was effective for the choice and application of the profile in the 2019 Araero Team's project in the Access Tournament for granting a careful strategy for defining the airfoils, in addition to the considerable decrease of time in the designation of the other parameters, being possible use in future projects. The XFLR5 software proved to be sensitive to the data provided, allowing for better efficiency in the analysis in addition to the easy graphic presentation projection. Finally, the profile developed is shown to be effective in future projects by the Araero Team and also opens up opportunities for specific research in the area of airfoil development.

KEYWORDS: Aerodesign, aerodynamics profiles, lift, drag, XFLR5.

1 | INTRODUÇÃO

A competição SAE Brasil Aerodesign foi criada no ano de 1999, com influências da SAE International, sociedade que organiza a competição SAE Aerodesign nos Estados Unidos desde 1986. (SAE, 2019).

O evento realizado pela SAE Brasil Aerodesign possui três diferentes classes de competição, Regular, Micro e Advanced, além do Torneio de Acesso que funciona como uma etapa preliminar para a competição principal. (SAE, 2019)

Segundo Rodrigues (2014), projetos com o propósito de participarem desta competição devem utilizar perfis aerodinâmicos que possuam um alto coeficiente de sustentação com coeficientes de arrasto e momento pequenos, tendo assim uma alta eficiência.

Portanto, este trabalho tem por objetivo criar uma metodologia de seleção de perfis aerodinâmicos de alta sustentação para utilização no Torneio de Acesso e Competição desenvolvida pela SAE Brasil Aerodesing, além de desenvolver, com o auxílio do software XFLR5, um perfil aerodinâmico de maior eficiência em relação aos perfis já existentes na base de dados utilizada neste projeto.

2 | FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Perfil aerodinâmico

O perfil aerodinâmico de um avião é descrito como a seção transversal das asas que o compõe, possuindo algumas importantes características geométricas. Segundo Rosa (2006), a geometria do perfil pode ser definida por determinados parâmetros, como a corda, linha média, raio do bordo de ataque, ângulo do bordo de fuga, entre outros, como pode ser visto na Figura 1.

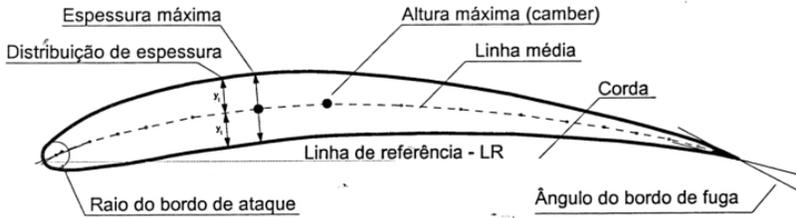


Figura 1 – Geometria do perfil aerodinâmico

Fonte: Rosa (2006)

Os perfis de alta sustentação são reconhecidos por possuírem uma linha média com grande curvatura e o ponto de altura máxima (camber) deslocado para frente, gerando um momento. (ROSA, 2006).

2.2 Ângulo de ataque

O ângulo agudo (α) formado entre a linha da corda do perfil e a direção do vento relativo ao escoamento é chamado de ângulo de ataque. Este parâmetro influi diretamente na capacidade de sustentação de um determinado perfil. De forma geral, o aumento do ângulo de ataque produz aumento na força de sustentação até o ponto de estol. (SAMPAIO, 2006). A força de sustentação, que representa uma das forças aerodinâmicas, ocorre simultaneamente a uma força paralela ao escoamento que dificulta o movimento no sentido contrário a ele, chamada de força de arrasto.

2.3 Forças aerodinâmicas

As modificações nas propriedades do aerofólio são espelhadas para a asa finita. Essa análise é fundamentada no estudo das forças e momentos que atuam sobre o aerofólio e são originadas por dois fatores: distribuição de tensão de cisalhamento e força pressão. (NETTO; CAMACHO; SOUZA, 2019). Tais forças agem sobre a superfície do corpo de forma a gerar um momento M e uma força resultante R . A força aerodinâmica R pode ser decomposta em uma força perpendicular ao escoamento de velocidade V , chamada de Força de Sustentação (L) e uma força paralela ao escoamento, chamada de Força de Arrasto (D), como pode ser visto na Figura 2. (VISCONTI, 2016).

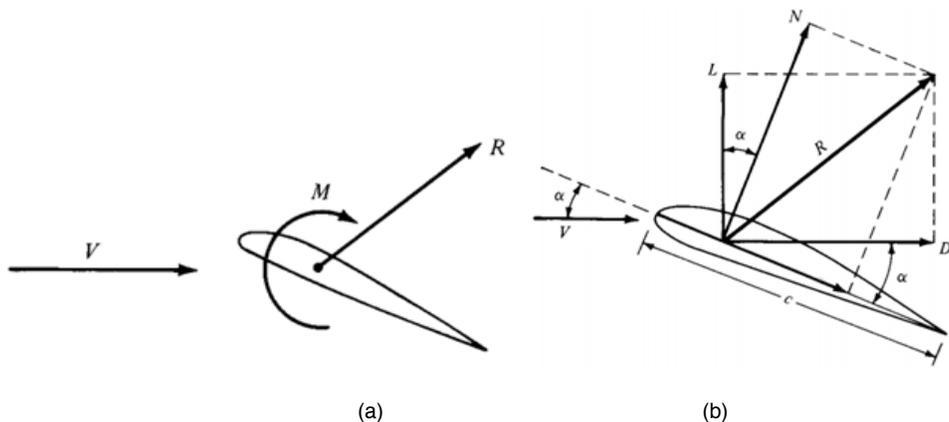


Figura 2 – (a) Força Resultante R e Momento M . (b) Decomposição da Força R em L e D

Fonte: Anderson Jr (2010)

Rodrigues (2014) afirma que o momento e as forças de sustentação e arrasto que atuam sobre as asas durante o voo podem ser calculados por meio das Equações 1, 2 e 3, respectivamente.

$$M = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^2 \cdot S \cdot c \cdot C_M \quad (1)$$

$$L = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^2 \cdot S \cdot c \cdot C_L \quad (2)$$

$$D = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^2 \cdot S \cdot c \cdot C_D \quad (3)$$

sendo ρ a densidade do ar (por ser este o fluido do escoamento em voo), V a velocidade do escoamento, S a área alar, c a corda do perfil e C_M , C_L e C_D os coeficientes aerodinâmicos, que serão apresentados na próxima seção.

Os coeficientes aerodinâmicos mostram-se de grande importância na aeronáutica, uma vez que tornam possível a comparação entre perfis ou entre asas de dimensões variadas, tendo por base parâmetros adimensionais.

2.4 Coeficientes aerodinâmicos

As características aerodinâmicas de um perfil são atribuídas por três coeficientes adimensionais, o de sustentação (C_L), o de arrasto (C_D) e o de momento (C_M) que é relacionado ao centro aerodinâmico do perfil. (ROSA, 2006). O coeficiente de sustentação configura a eficiência do perfil em produzir a força de sustentação. Este coeficiente é obtido em função do modelo do perfil, Número de Reynolds e também pelo ângulo de ataque. (RIBEIRO, 2011). De forma similar, o coeficiente de arrasto representa a capacidade do perfil em gerar a força de arrasto. Dessa forma, valores menores devem ser desejados para que o perfil seja apontado como aerodinamicamente eficiente. (RODRIGUES, 2014).

3 | FERRAMENTA COMPUTACIONAL

3.1 XFLR

Segundo Clark (2013, apud DANTAS, 2014), o software XFLR5 foi desenvolvido tendo como base o XFOIL, criado por Mark Drela, professor do Massachusetts Institute Technology (MIT), no ano de 1998, facilitando as análises de estudantes de engenharia aeronáutica em projetos de pequeno e até médio porte oferecendo uma interface gráfica bastante intuitiva.

Dantas (2014) acrescenta que o XFLR5, proporciona uma vasta e refinada análise dos efeitos que ocorrem em um escoamento sobre um corpo imerso em um fluido, permitindo uma boa aproximação dos parâmetros necessários aos projetos de perfis, baseado em métodos numéricos tais como teoria da linha sustentadora, método da malha de vórtices (VLM) e método dos painéis tridimensional.

Pontanto, neste trabalho será utilizado o software XFLR5 para obtenção e análise dos gráficos de coeficiente de sustentação ($C_l \times \alpha$), coeficiente de momento ($C_m \times \alpha$) e eficiência ($C_l/C_d \times \alpha$).

4 | METODOLOGIA

Para o melhor entendimento do desenvolvimento deste trabalho, a metodologia desenvolvida pode ser visualizada por meio do fluxograma descrito na Figura 3.

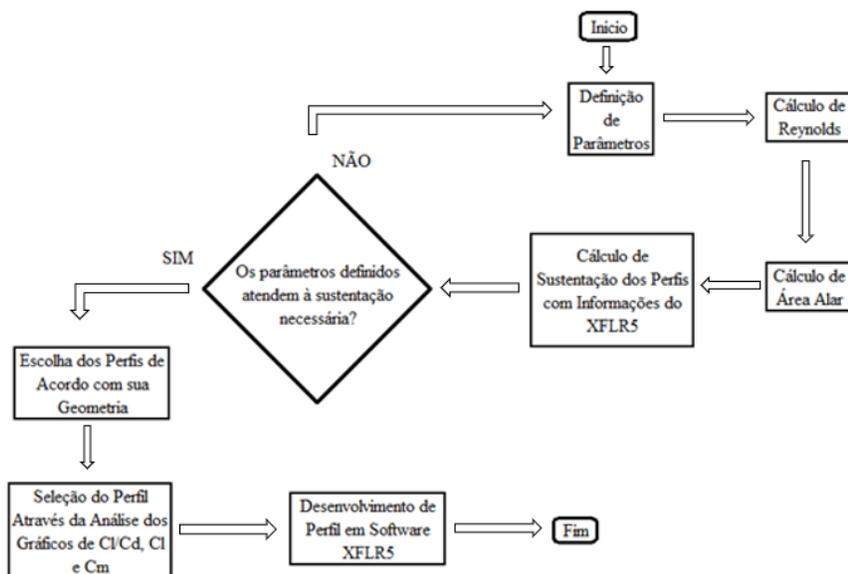


Figura 3 – Metodologia do projeto

Fonte: Autores (2019)

4.1 Análise e seleção de perfis de alta sustentação

4.1.1 Definição de Parâmetros

A escolha dos parâmetros leva em consideração, de maneira geral, a obtenção de pontos no Torneio de Acesso, os conceitos teóricos de aeronáutica, complexidade de fabricação dos aerofólios e asas, bem como o deslocamento dos mesmos até à pista de voo.

4.1.1.1. Viscosidade Cinemática do Ar

Para o cálculo do número de Reynolds é necessário estabelecer a viscosidade cinemática do ar em conformidade com as condições atmosféricas do local de voo, sendo tal parâmetro definido pela pressão e temperatura. Para estabelecer a pressão e temperatura, utiliza-se como estimativa, a altitude e temperatura média anual da cidade em que ocorrerá o teste de voo, por meio de dados oficiais de institutos governamentais. Portanto, tendo estes parâmetros definidos, a viscosidade cinemática será obtida utilizando-se a ferramenta de cálculo do site The Engineering ToolBox.

4.1.1.2. Velocidade do Escoamento

A velocidade do escoamento será definida de maneira teórica de acordo com Rosa (2006) como sendo de 15m/s, que estima a velocidade de voo em projetos de aerodesign da ordem de 15 a 20m/s.

4.1.1.3. Carga Paga e Peso Vazio

Como meio de identificar a pontuação suficiente para a classificação da equipe Araero dentro do 1º Grupo de Inscrição para a Competição do ano posterior, será realizada uma análise estatística dos resultados obtidos por outras equipes nos Torneios de Acesso dos anos anteriores, nos quais os objetos de estudo (informações sobre as equipes classificadas no 1º Grupo de Inscrição) serão coletadas como parâmetro para cálculo da média aritmética (μ_{ano}), desvio padrão (σ_{ano}) e coeficiente de variação (CV_{ano}) das pontuações de voo (onde *ano* representa a informação do respectivo ano do Torneio de Acesso), para análise da viabilidade das médias como parâmetro de projeto para a Equipe Araero Aerodesign. As principais informações a serem analisadas serão:

- Carga Paga (CP) - carga transportada pela aeronave, em quilogramas;
- Peso Vazio da Aeronave (PV), em quilogramas;
- Eficiência da Aeronave (EE);
- Pontuação de Voo (P_{voo});

- Pontuação Geral.

Utiliza-se tais valores como parâmetros para definição da eficiência mais adequada ao projeto, estipulando-se o peso vazio da aeronave e da carga paga transportada, levando-se em consideração a carga paga mínima exigida pelo regulamento.

A pontuação total de classificação consiste na soma da Pontuação de Voo (P_{Voo}) e da Pontuação de Projeto (P_p), sendo a Pontuação de Voo a mais significativa na Pontuação Geral. Desta forma, de acordo com o Regulamento, as equações para cálculo da Pontuação de Voo e da eficiência, são descritas pelas Equações 4 e 5, respectivamente.

$$P_{Voo} = 15 \times EE + CP \quad (4)$$

$$EE = \frac{CP}{PV} \quad (5)$$

4.1.1.4. Envergadura e Corda

Tendo estipulado os valores de carga paga, peso vazio e velocidade do escoamento, a próxima etapa consiste em estabelecer os valores de envergadura e corda de modo a produzir uma área alar que promova uma sustentação igual ou ligeiramente superior ao Peso Máximo de Decolagem – comumente expresso na aviação como a abreviação MTOW, do inglês Maximum Take-Off Weight – designado. Para isto, será utilizado o menor Reynolds possível dentro da faixa descrita por Rodrigues (2014), para se possa estipular a menor corda possível, de forma a se elevar gradativamente a área alar aumentando-se apenas a envergadura, considerando-se a construção de uma asa retangular. Definindo-se a corda, em metros, com precisão de duas casas decimais, recalcula-se o Reynolds para encontrar seu valor correto e, logo após, estabelece-se a envergadura por meio de duas condições fundamentais, sendo o primeiro, o requisito de alongamento de asa $AR > 4$, calculado pela Equação 6 para uma asa de geometria retangular (onde b é a envergadura da asa e c é a corda do perfil), e o segundo, o tamanho máximo da envergadura.

$$AR = \frac{b}{c} \quad (6)$$

4.1.2 Cálculo de Reynolds

Para o cálculo de Reynolds será utilizada a Equação 7, levando-se em consideração a velocidade do escoamento V , a viscosidade cinemática ν e a corda c definidas nas seções anteriores.

$$Re = \frac{Vc}{\nu} \quad (7)$$

4.1.3 Cálculo de Área Alar

Considerando-se a escolha do projeto de uma asa retangular, o cálculo da área alar

para este tipo de geometria será realizado por meio da Equação 8, conforme Filho e Júnior (2019).

$$S = b \cdot c \quad (8)$$

4.1.4 Cálculo de Sustentação dos Perfis com Informações do XFLR5

As análises dos perfis de interesse para este trabalho serão iniciadas utilizando-se o software gratuito XFLR5 versão 6.41, para obtenção dos coeficientes de sustentação, arrasto e momento gerados de acordo com o Número de Reynolds estabelecido pela velocidade do escoamento, viscosidade cinemática do ar a uma determinada temperatura e pressão, e pela corda do perfil.

Será realizada a análise dos perfis de alta sustentação, expostos na Tabela 1, presentes na base de dados do site do Departamento de Engenharia Aeroespacial da Universidade de Illinois, para seleção do perfil mais adequado ao projeto.

Aerofólio	Código
Chen	CHEN
Chuch Hollinger CH 10-48-13	CH10SM
Eppler E420	E420
Eppler E421	E421
Eppler E422	E422
Eppler E423	E423
Wortmann FX 74-CL5-140	FX74CL5140
Modified Wortmann FX 74-CL5-140	FX74MODSM
Kennedy and Marsden	KENMAR
Liebeck	L1003
Liebeck	LA5055
Douglas/Liebeck LA203A	LA203A
Douglas/Liebeck LNV109A	LNV109A
Selig S1210	S1210
Selig S1223	S1223
Strand	STRAND
University of Illinois UI-1720	UI1720

Tabela 1 – Aerofólios de Alta Sustentação a serem analisados

Fonte: https://m-selig.ae.illinois.edu/ads/coord_database.html

Será utilizando o software Microsoft Excel, de modo a facilitar e tornar mais rápidas as análises utilizando sua ferramenta de fórmulas, calculando-se o momento e as forças de sustentação e arrasto geradas pelas asas por meio das Equações 1, 2 e 3, utilizando

os coeficientes de sustentação, arrasto e momento obtida pelos gráficos das análises do XFLR5. Portanto, nesta etapa, serão eliminados os perfis que não atenderem, por meio da área alar estipulada, a sustentação necessária para o MTOW definido.

4.1.5 Escolha dos Perfis de Acordo com sua Geometria

A próxima etapa de análise está relacionada à geometria dos perfis (Figura 4), de forma a se observar as condições de fabricação de acordo com o material e ferramentas disponíveis para corte.

CHEN 	CH10SM 	E420 	E421 	E422 
E423 	FX74CL5140 	FX74MODSM 	KENMAR 	L1003 
LA5055 	LA203A 	LNV109A 	S1210 	S1223 
STRAND 	UI1720 			

Figura 4 – Geometria dos Aerofólios de Alta Sustentação Analisados

Fonte: Autores (2019)

Dentre os perfis restantes da Seção 4.1.4, eliminam-se aqueles que possuem uma geometria de difícil fabricação, que comumente se caracteriza pelo extremo afilamento do bordo de fuga.

4.1.6 Seleção do Perfil por meio da Análise dos Gráficos de Cl/Cd , Cl e Cm

Como forma de estabelecer o perfil mais adequados ao projeto dentre os restantes até o presente momento, se utilizará a metodologia apresentada em Souza et al. (2016), retratando uma tabela de pesos, sendo respectivamente 3, 2 e 1 para análise dos gráficos de eficiência ($Cl/Cd \times \alpha$), sustentação ($Cd \times \alpha$) e momento ($Cm \times \alpha$), obtidos no software XFLR5, e estabelecendo pontuações mais altas para gráficos com altos valores de eficiência e sustentação e também aos de menores valores de momento.

4.2 Desenvolvimento de perfil em software XFLR5

4.2.1 Desenvolvimento do Aerofólio com Maior Eficiência

Será realizada a análise no software XFLR5 com os aerofólios que atenderam

às condições pré-determinadas na Seção 4.1.1.4, com o intuito de selecionar os que possuírem maiores curvas de eficiência ($Cl/Cd \times \alpha$). O desenvolvimento de novos perfis será executado com o auxílio da função Interpolate Foils do software XFLR5, que permitirá interpolar dois perfis aerodinâmicos, determinando a porcentagem que cada um dos perfis contribuirá para o perfil gerado. Neste trabalho, realizar-se-á interpolações de perfis em pares, variando de 10 em 10% a influência de cada um sobre o novo aerofólio. Após feitas as interpolações, serão analisados os novos perfis desenvolvidos a fim de comparar seus parâmetros com o perfil aerodinâmico previamente selecionado.

4.2.2 Seleção dos Perfis por meio da Análise dos Gráficos de Cl/Cd , Cl e Cm

Utilizando novamente a metodologia descrita por Souza et al. (2016), será produzida uma tabela de pesos para analisar os gráficos de eficiência ($Cl/Cd \times \alpha$), sustentação ($Cd \times \alpha$) e momento ($Cm \times \alpha$), que serão obtidos utilizando o software XFLR5.

4.2.3 Análise da Força de Sustentação em Asas

Nesta etapa, serão analisadas as forças de sustentação referente a asas com o perfil selecionado e o perfil desenvolvido.

5 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Apresentação das análises e dos perfis selecionados

5.1.1 Parâmetros Utilizados

Os primeiros parâmetros analisados estão relacionados às condições impostas no Regulamento de Torneio de Acesso à Competição SAE Brasil Aerodesing 2020 que nos limita a uma envergadura máxima de 2,4m; limite de decolagem livre; transporte de carga paga de no mínimo 5kg e peso máximo (carga paga mais peso vazio) de 20kg.

5.1.1.1. Cálculo da viscosidade cinemática do ar

Sendo o local de voo da aeronave no Torneio de Acesso situado na cidade de Aracruz, no estado do Espírito Santo onde, de acordo com Incaper (2011), tal cidade apresenta-se à apenas 50m acima do nível do mar, utilizou-se, por simplificação, a altitude ao nível do mar e, conseqüentemente sua pressão atmosférica de 1atm. Com relação à temperatura, levou-se em consideração a temperatura média anual da cidade de Aracruz que, também segundo Incaper (2011), é de aproximadamente 28°C. Logo, a viscosidade cinemática, de acordo com *The Engineering ToolBox* será aproximadamente $15,8 \times 10^{-6} m^2/s$.

5.1.1.2. Carga paga e peso vazio estipulados

A análise estatística dos anos de 2017 e 2018 forneceu as seguintes informações da Pontuação de Voo nos respectivos anos:

$$\mu_{2017} = 36,959 \text{ pontos} \text{ e } \sigma_{2017} = 7,579 \text{ pontos} \Rightarrow CV_{2017} = 20,507\%$$

$$\mu_{2018} = 40,87 \text{ pontos} \text{ e } \sigma_{2018} = 14,439 \text{ pontos} \Rightarrow CV_{2018} = 35,33\%$$

Por meio dos coeficientes de variação obtidos, podemos observar que a média de pontuação de voo para o ano de 2017 apresenta-se como boa estimativa de pontuação para o projeto vigente da Equipe Araero. Entretanto, no ano de 2018 percebe-se uma elevação de, aproximadamente, 72% no coeficiente de variação em relação ano anterior em decorrência do aumento do número de equipes classificadas no 1º Grupo de Inscrição, o que proporciona indícios de maiores cuidados no uso de tal parâmetro como base para o projeto da Equipe, devendo-se levar em consideração que houveram equipes com pontuações muito destoantes.

Desta forma, analisou-se o cálculo do MTOW para variadas possibilidades de PV e CP, de forma a se obter uma pontuação condizente com as médias calculas, dentro das especificações do Regulamento de Torneio de Acesso, chegando-se nos valores ótimos como pode ser visto a seguir:

$$MTOW: 98,1N \Rightarrow \text{Massa de } 10kg \Rightarrow 7kg \text{ de CP} \text{ e } 3kg \text{ de PV} \Rightarrow P_{V00} \cong 42 \text{ pontos}$$

5.1.1.3. Envergadura e corda estipuladas

Utilizando-se dos parâmetros discutidos na Seção 5.1.1.2, chegou-se no valor inicial estimado de envergadura $b = 1,8m$ e corda $c = 0,32m$, atendendo ao requisito de $AR = 5,625 > 4$, obtido pela Equação 6.

5.1.2 Reynolds Calculado

O valor de Reynolds calculado pela Equação 7 foi de 300375,5, caracterizado como laminar segundo Rodrigues (2014).

5.1.3 Área Alar Calculada

Utilizando os valores de envergadura e corda estipulados, o valor da área alar calculada por meio da Equação 8, foi igual a $0,576m^2$.

5.1.4 Perfis Selecionados pelo Cálculo de Sustentação

Empregando o software XFLR5, obteve-se, para cada um dos perfis da Tabela 1, os gráficos de coeficientes de momento, arrasto, sustentação e eficiência de acordo com o Reynolds estipulado. Por meio dos gráficos foi possível transportar os pontos necessários

para o software Microsoft Excel de forma a se calcular os valores de momento, força de sustentação e arrasto, além da velocidade de estol.

Após as primeiras análises, observou-se que alguns aerofólios apresentaram valor aproximado ao MTOW estipulado pela equipe, o que tornou interessante a investigação de novas análises dos perfis com essa característica, aumentando sua área alar por meio do alongamento da envergadura e/ou da corda, como pode ser visto na Tabela 2.

Aerofólio	Análise 1 <i>b = 1,8m e</i> <i>c = 0,32m</i>	Análise 2 <i>b = 1,9m e</i> <i>c = 0,32m</i>	Análise 3 <i>b = 1,9m e</i> <i>c = 0,33m</i>	Análise 4 <i>b = 1,9m e</i> <i>c = 0,34m</i>	Análise 5 <i>b = 1,9m e</i> <i>c = 0,35m</i>
CHEN	Não Atende				
CH10SM	Atende				
E420	Aproximado	Aproximado	Atende		
E421	Atende				
E422	Aproximado	Aproximado	Aproximado	Aproximado	Atende
E423	Atende				
FX74CL5140	Aproximado	Não Atende			
FX74MODSM	Aproximado	Aproximado	Aproximado	Atende	
KENMAR	Análise não converge				
L1003	Atende				
LA5055	Não Atende				
LA203A	Análise não converge				
LNV109A	Não Atende				
S1210	Aproximado	Atende			
S1223	Aproximado	Atende			
STRAND	Análise não converge				
UI1720	Não Atende				

Tabela 2 – Condições de Análise dos Aerofólios de Alta Sustentação

Fonte: Autores (2010)

A Tabela 2 estabelece, além dos aerofólios que se aproximam do valor esperado de MTOW, aqueles que conseguem atender ao requisito, os que não atendem e os que não convergem para nenhum valor dentro da faixa de ângulos de ataque conforme os demais. Os que atendem, atingem de maneira satisfatória o MTOW. Os perfis que não atendem possuem a característica de apresentar uma força de sustentação muito inferior ao esperado o que, conseqüentemente, tenderia a aumentar significativamente as dimensões das asas de forma a obter a área alar suficiente para atender ao requisito, ultrapassando

as dimensões estipuladas. Já os perfis que não convergiram nas análises foram eliminados na Análise 1.

5.1.5 Perfis Seleccionados Pela Geometria

Examinando a Figura 4 juntamente à Tabela 2, é possível ver que os perfis FX74MODSM, L1003, S1210 e S1223 apresentam bordo de fuga extremamente afilados sendo, então, eliminados das próximas análises. Portanto, apenas os perfis CH10SM, E420, E421, E422 e E423 seguem nas análises para escolha dos três perfis que serão implementados no projeto.

5.1.6 Seleção do Perfil pela Comparação de Gráficos do XFLR5

Os gráficos de eficiência ($C_l/C_d \times \alpha$), sustentação ($C_l \times \alpha$) e momento ($C_m \times \alpha$), de acordo com os perfis seleccionados na Seção 4 estão ilustrados na Figura 5.

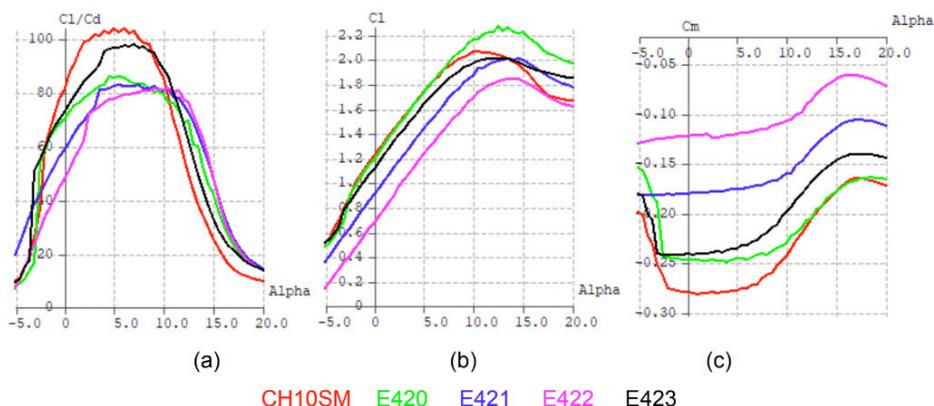


Figura 5 – (a) Gráfico de eficiência; (b) Gráfico de sustentação; (c) Gráfico de momento

Fonte: Autores (2019)

A Tabela 3 apresenta os resultados obtido pela metodologia de Souza et al. (2016).

Peso	Parâmetro	CH10SM	E420	E421	E422	E423
3	$C_l / C_d \times \alpha$	3	1	1	1	2
2	$C_l \times \alpha$	2	3	2	1	2
1	$C_m \times \alpha$	3	3	1	1	2
Total		16	12	8	6	12

Tabela 3 – Comparação dos Aerofólios

Fonte: Autores (2019)

O parâmetro ($Cl/Cd \times \alpha$) indicado na Tabela 3 possui o maior peso por ser o parâmetro mais importante dentre todas as análises, isto porque ele estabelece uma relação entre a sustentação que o perfil proporciona e sua produção de arrasto. Desta forma, perfis com altas razões de Cl/Cd indicam que a sustentação se sobrepõe de maneira acentuada em relação ao arrasto produzido em determinadas faixas de ângulo de ataque. Já o parâmetro $Cm \times \alpha$, que diz respeito ao momento gerado pelo perfil, recebe menor pontuação dentre os três por não estar diretamente ligado à sustentação, mas sim à estabilidade longitudinal que o perfil apresentará no escoamento, não devendo ser, contudo, excluída da análise.

Portanto, de acordo com a Tabela 3, o aerofólio CH10SM apresenta a melhor pontuação dentro das três análises referidas sendo, desta forma, o perfil mais adequado dentre todas as etapas para o projeto da Equipe Araero no projeto do Torneio de Acesso à Competição 2020.

5.2 Perfil desenvolvido

Para a criação do novo perfil, retorna-se à Tabela 2 para geração do gráfico de eficiência de todos os perfis que atendem às especificações do projeto, independentemente de sua geometria. A Figura 6 mostra tais resultados e percebe-se que os perfis CH10SM, E423, S1210 e FX74MODSM são os que possuem os maiores valores de eficiência Cl/Cd , portanto estes foram os escolhidos para serem utilizados na etapa de interpolação. Etapa esta, que resultou em 54 interpolações entre os quatro perfis selecionados.

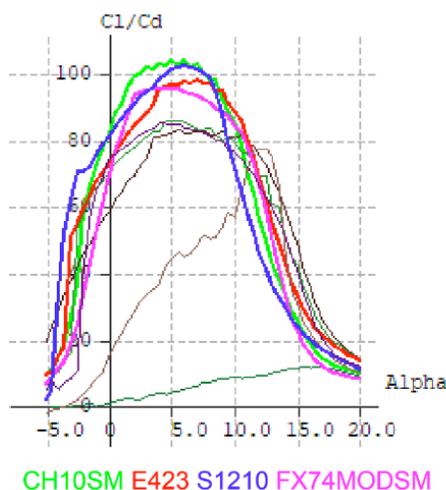
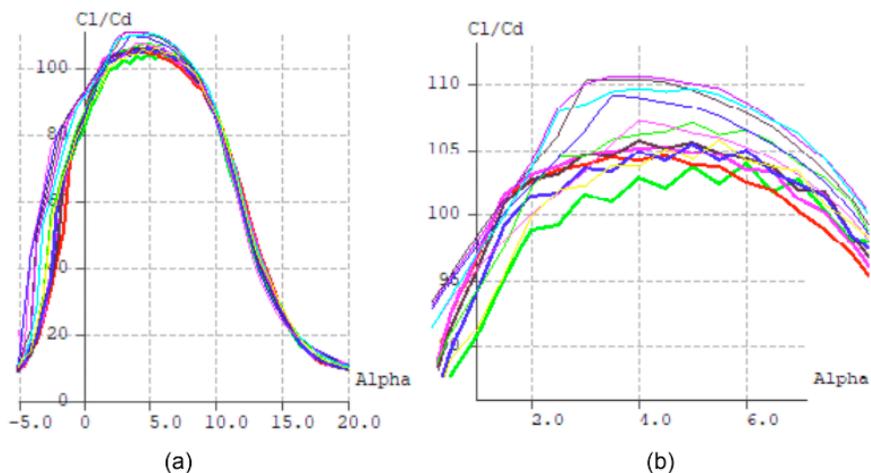


Figura 6 – Eficiência dos perfis aerodinâmicos

Fonte: Autores (2019)

Após as interpolações foram obtidos onze aerofólios novos que possuíam uma eficiência superior ao CH10SM, conforme mostrados na Figura 7, de maneira que os

perfis da Classe A foram elaborados por meio da interpolação entre os perfis CH10SM e FX74MODSM e os da Classe B, utilizando os perfis CH10SM e S1210. As interpolações entre os perfis CH10SM e E423 não apresentaram valores de eficiência melhores do que o CH10SM.



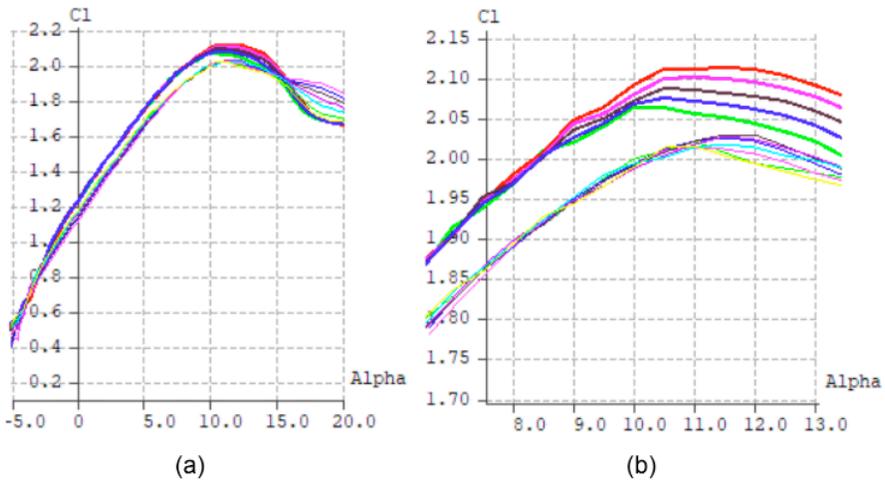
Linha gráfica espessa: CH10SM, A6, A7, A8 e A9.

Linha gráfica não espessa: B2, B3, B4, B5, B6, B7 e B9.

Figura 7 – (a) Gráfico de Eficiência; (b) Ampliação do Gráfico de Eficiência

Fonte: Autores (2019)

O gráfico de sustentação da Figura 8 destes onze aerofólios mostra que os da Classe A possuem sustentação superior ao CH10SM na maioria dos ângulos de ataque analisados, o que não acontece com os aerofólios da Classe B.

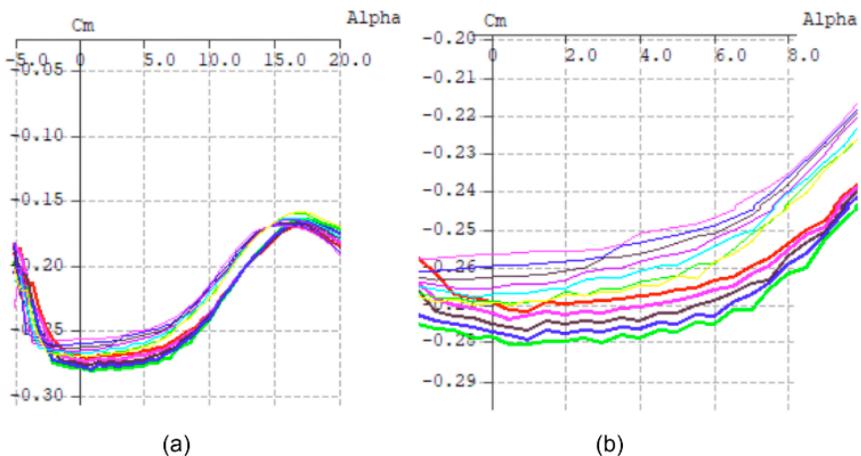


(a)
 Linha gráfica espessa: CH10SM, A6, A7, A8 e A9.
 Linha gráfica não espessa: B2, B3, B4, B5, B6, B7 e B9.

Figura 8 – (a) Gráfico de Sustentação; (b) Ampliação do Gráfico de Sustentação

Fonte: Autores (2019)

A Figura 9 representa o gráfico de momentos dos mesmos perfis, onde os da Classe A possuem valores de C_m menores que os perfis da Classe B.



(a)
 Linha gráfica espessa: CH10SM, A6, A7, A8 e A9.
 Linha gráfica não espessa: B2, B3, B4, B5, B6, B7 e B9.

Figura 9 – (a) Gráfico de momento; (b) Ampliação do gráfico de momento

Fonte: Autores (2019)

Montando-se novamente a tabela de pesos utilizando a metodologia de Souza et al

(2016), fez-se possível perceber que os aerofólios A8, B4, B5, B6 e B7 possuem maiores pontuações na soma total dos três quesitos, contudo, sendo a eficiência a característica mais importante para escolha de um perfil e o perfil A8 apresentar uma pontuação para este inferior aos demais, exclui-se o mesmo da próxima etapa de análise juntamente aos demais aerofólios não citados, mantendo-se apenas os da Classe B, de B4 até B7.

Peso	3	2	1	Total
Parâmetro	cl/cd x alpha	cl x alpha	cm x alpha	
CH10SM	1	2	3	10
A6	2	3	2	14
A7	2	3	2	14
A8	2	3	3	15
A9	2	2	3	13
B2	2	1	1	9
B3	2	1	1	9
B4	4	1	1	15
B5	4	1	1	15
B6	4	1	1	15
B7	4	1	1	15
B9	2	1	1	9

Tabela 4 – Comparação dos aerofólios obtidos após interpolação com o CH10SM

Fonte: Autores (2019)

Para se determinar o perfil mais eficiente em relação ao CH10SM dentre os quatro selecionados, verificou-se o máximo valor de Cl / Cd de cada um, como pode ser visto na Tabela 5, em que mostra a eficiência dos perfis para o respectivo ângulo de ataque. O range de α descrito na tabela foi escolhido pois nele contém a maior eficiência de cada um dos perfis analisados.

α (°)	Cl/Cd				
	CH10SM	B4	B5	B6	B7
3,5	100,8022	109,1011	110,2262	110,4300	109,2812
4	102,7790	108,8474	110,2577	110,4428	109,4753
5	103,5410	108,0951	109,3665	109,8755	109,5140
6	103,7279	106,3904	107,6763	108,5051	108,1080

Tabela 5 – Comparação da eficiência entre os aerofólios escolhidos e o CH10SM

Fonte: Autores (2019)

Desta forma, o perfil B6 será o aerofólio mais eficiente, com maior valor de Cl / Cd sendo igual a 110,4428. Portanto, como pode ser visto na Figura 10, o perfil B6 possui eficiência maior do que o CH10SM para todos os ângulos de ataque analisados.

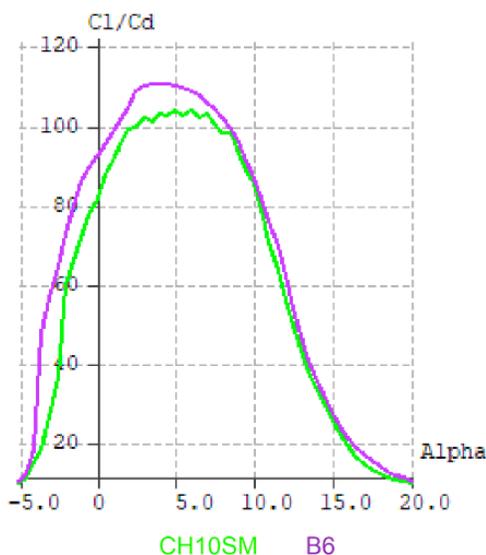


Figura 10 – Comparação entre as eficiências dos aerofólios B6 e CH10SM

Fonte: Autores (2019)

Para o estudo em questão, a força de arrasto do novo perfil permitiu uma diminuição da ordem de 22,64%. Por fim, o aerofólio B6 foi nomeado de Araero Aerodesign 2019, com a sigla AA2019.

6 | CONCLUSÃO

A partir das simulações realizadas em software XFLR5, foi possível afirmar sua eficiência na análise do momento e forças de sustentação e arrasto que agem sobre perfis e asas inseridas em um escoamento subsônico. Sua interface visual além dos resultados em forma de gráficos dos coeficientes aerodinâmicos em relação à variação do ângulo de ataque, permitiram a compreensão e uma facilitada escolha do perfil mais eficiente ao projeto vigente através da metodologia de pesos de Souza et al (2016). O perfil CH10SM escolhido percebeu-se superior a todos os outros perfis da base de dados coletada de acordo com a corda e envergadura estipuladas, levando-se em consideração também a sua geometria de bordo de fuga satisfatória para fabricação dos perfis. A metodologia desenvolvida no presente trabalho mostrou-se eficaz por proporcionar a Equipe uma forma mais simples de escolha do perfil, visto que a literatura sobre o tema não abrange detalhadamente os passos a serem seguidos, causando um atraso nesta fase de projeto,

influenciando negativamente no tempo disponível para fabricação. Tal metodologia também poderá ser utilizada para asa de geometria diferente à utilizada no projeto vigente, de forma apenas a usar as equações adequadas para cálculo de área alar e alongamento. Por fim, através da utilização do software XFLR5, o desenvolvimento do perfil Araero Aerodesing 2019 (AA2019) que, quando comparado aos perfis disponíveis na base de dados, mostrou-se de maior eficiência, possibilita à Equipe uma vantagem competitiva nos Torneios de Acesso e Competição da SAE Brasil Aerodesign, torna-se possível sua utilização em projetos futuros da Equipe Araero, além de abrir oportunidades de pesquisas específicas na área de desenvolvimento de aerofólios.

REFERÊNCIAS

ANDERSON JR, John David. **Fundamentals of aerodynamics**. Tata McGraw-Hill Education, 2010.

DANTAS, Albert Franklin de Moura. **Análise Aerodinâmica de Perfis de Asa para Veículos Aéreos Não Tripulados Usando o Software XFLR5**. Monografia (Graduação em Ciência e Tecnologia) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Rio Grande do Norte, 2014.

RIBEIRO, Fernanda Alves. **Análise aerodinâmica de perfis de asa para aeronaves experimentais tipo jn-1**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal: 2011.

RODRIGUES, Luiz Eduardo Miranda José. **Fundamentos da Engenharia Aeronáutica com Aplicações ao Projeto SAE-AeroDesign**: Aerodinâmica e Desempenho. 1ª ed. Salto: 2014.

ROSA, Edison da. **Introdução ao Projeto Aeronáutico**: Uma contribuição à Competição Sae Aerodesig. Florianópolis: UFSC/GRANTE, 2006.

SAMPAIO, Ronivaldo Passos. **Sistema de controle de atitude embarcado para voo autônomo de aviões em escala**. Salvador: 2006.

SOUZA, Lucas Guimarães et al. **Metodologia de um Projeto Aerodinâmico Básico Voltado A Competição Sae Brasil Aerodesign**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA, 44. *Anais...* Natal: UFRN/ABENGE. 2016.

VISCONTI, João Pedro Portela Guedes. **Estudo inicial de um veículo aéreo não tripulado do tipo tilt-rotor**. Juiz de Fora: 2016.

CAPÍTULO 14

ESTUDO ANALÍTICO, DIMENSIONAMENTO E FABRICAÇÃO DE UM VENTILADOR CENTRÍFUGO COM PÁS CURVADAS PARA TRÁS E TRAÇADO DAS CURVAS CARACTERÍSTICAS

Data de aceite: 25/05/2021

Data de submissão: 09/04/2021

Carlos Alberto da Maia

UFRGS

Porto Alegre – RS

<http://lattes.cnpq.br/6006703677260048>

Marco Antonio Sampaio Ferraz de Souza

URI

Erechim – RS

<http://lattes.cnpq.br/6421797867310557>

RESUMO: Em um ventilador centrífugo o ar entra de forma axial e sai de forma radial. Aplicam-se nas mais variadas áreas, como em sistemas de refrigeração, conforto térmico, remoção de pó, alimentação de fornalhas industriais etc. Devido à rápida urbanização, a crescente construção de espaços comerciais, residenciais e industriais, um aumento constante na demanda de ventiladores centrífugos pode ser observado em todo o mundo. De acordo com Transparency Market Research (2016), estimasse que o mercado global de ventiladores, até o final do ano 2023, deverá chegar em US \$ 2,4 bilhões. Segundo Mordor Intelligence (2017), estimam-se que o mercado mundial de ventiladores centrífugos chegará em torno de 1.602.000 unidades em 2021. Esses fatos motivaram a elaboração deste trabalho, onde é feito um estudo analítico, dimensionado e fabricado um ventilador centrífugo e, posteriormente sua caracterização através das curvas características.

PALAVRAS-CHAVE: Ventilador Centrífugo, turbomáquinas, diagrama de velocidades, bancada experimental, curvas características.

ANALYTICAL STUDY, DIMENSIONING AND MANUFACTURING OF A CENTRIFUGAL FAN WITH CURVED BLADES BACK AND DRAWING THE CHARACTERISTIC CURVES

ABSTRACT: In a centrifugal fan, the air enters axially and leaves radially. They are applied in the most diverse areas, such as refrigeration systems, thermal comfort, dedusting, feeding industrial ovens, etc. Due to the rapid urbanization, the growing construction of commercial, residential and industrial spaces, a constant increase in the demand for centrifugal fans can be observed all over the world. According to Transparency Market Research (2016), it is estimated that the global fan market, by the end of the year 2023, will reach US \$ 2.4 billion. According to Mordor Intelligence (2017), it is estimated that the world market for centrifugal fans will reach around 1,602,000 units in 2021. These facts motivated the elaboration of this work, where an analytical study is made, dimensioned and manufactured a centrifugal fan and, subsequently, its characterization by means of characteristic curves.

KEYWORDS: Centrifugal fan, turbomachines, speed diagram, experimental bench, characteristic curves.

1 | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Diversas são as formas de se dimensionar um ventilador centrífugo. O engenheiro precisa

ter uma boa noção de grandeza para saber qual a melhor forma de projetar um, pois qualquer variação nas dimensões ou geometria da caixa do ventilador, rotor, número de pás etc., poderá mudar significativamente os resultados esperados. Costa (2005) estabeleceu parâmetros de cálculos que permitem determinar as características de funcionamento dos ventiladores centrífugos, aplicando a primeira lei da termodinâmica ao escoamento. Costa (1978) e Macintyre (2008), apresentam a definição e modelos de ventiladores centrífugos e trazem exemplos de dimensionamentos dos mesmos. Fox et al (2013) se baseiam na equação da quantidade de movimento angular para um volume de controle e utiliza a equação de Euler para dimensionamento das turbomáquinas. Macintyre (2008) recomenda ensaios de laboratório que permitam, estatisticamente, exprimir a variação de considerações teóricas com condições reais em ventiladores centrífugos, para que com os valores obtidos nos ensaios, possam ser traçados curvas característica desses ventiladores centrífugos. Fox et al. (2013) aconselham medir o desempenho global de ventiladores centrífugos em uma bancada de testes adequada.

Oliveira et al. (2002) avaliaram o número de pás de um rotor seguindo o critério de Richardson, que se trata de um parâmetro adimensional capaz de determinar o número ótimo de pás de rotores. Quando comparado aos ensaios experimentais, o critério de Richardson demonstrou ser muito eficiente, pois está perfeitamente dentro dos valores medidos em laboratórios.

Sharma e Karanth (2009) analisaram numericamente o aprimoramento de um ventilador centrífugo existente, contendo pás diretrizes. Utilizaram quatro geometrias diferentes, modelaram as mesmas, e obtiveram resultados satisfatório. Comparado ao ventilador centrífugo experimental, o aprimoramento de configuração que apresentou melhor desempenho foi a quarta configuração, que possui aletas divisórias no bordo de fuga das pás diretrizes

Chunxi et al. (2011) mostraram em um estudo numérico e experimental, o desempenho de um ventilador centrífugo com variação no diâmetro do rotor, sem alterar a geometria do difusor. Em seus estudos, comprovaram que quando o ventilador centrífugo funcionava com rotores maiores, a pressão total e o ruído aumentaram, enquanto que a eficiência diminuiu.

Kothe et al. (2016) mostraram através de uma forma experimental e numérica, a otimização de um ventilador centrífugo, obtendo resultados satisfatórios. Alteraram o número pás, modificaram o perfil e as curvaturas das pás e, para a geometria do difusor, modificaram a saída da caixa. Para os resultados numéricos, com os dois ventiladores operando nas mesmas condições, o modelo otimizado representou uma vazão 67,8% maior, e 33,6% de queda de torque na região das pás. Através da simulação, foi possível identificar recirculações e vórtices, que são responsáveis pelo alto ruído e mau funcionamento dos ventiladores centrífugos. Para resultados experimentais, o ventilador otimizado representou um aumento de 74,65% de vazão, e uma queda de corrente, de 16 A para 11 A, resultando

queda no consumo de energia.

2 I FORMULAÇÃO GERAL

O método de análise usado para turbomáquinas é escolhido de acordo com a informação desejada. Fox et al. (2013) explicam que existem duas abordagens para a análise, a abordagem Lagrangeano e a Euleriana. Para o presente trabalho utilizou-se a abordagem de volume de controle (Euleriana), que avalia uma região do espaço conforme o fluido escoar através dela. Como vantagem, essa abordagem possui uma grande quantidade de aplicações práticas, tornando-a o método mais escolhido. A desvantagem é que é necessário trabalhar matematicamente para converter as leis físicas de sua formulação para sistema, para a formulação de volume de controle, porque as leis da física aplicam-se à matéria, e não diretamente à região do espaço.

A formulação geral do princípio da quantidade de movimento angular para um volume de controle inercial é dada por

$$\vec{r} \times \vec{F}_s + \int_{VC} \vec{r} \times \vec{g} dV + \vec{T}_{eixo} = \frac{\partial}{\partial t} \int_{VC} \vec{r} \times \vec{V} \rho dV + \int_{SC} \vec{r} \times \vec{V} \rho \vec{V} \cdot d\vec{A}, \quad (1)$$

que estabelece, que o momento das forças superficiais e das forças de campo, mais o torque aplicado, levam a uma variação da quantidade de movimento angular do escoamento. As forças superficiais são devidas ao atrito e à pressão, a força de campo é devida à gravidade, a variação na quantidade de movimento angular pode aparecer como variação na quantidade de movimento angular no interior do volume de controle, ou como fluxo de quantidade de movimento angular através da superfície de controle (FOX et al., 2013).

Escolhendo um volume de controle fixo englobando o rotor. Considerando volumes de controle para os quais são esperados grandes torques de eixo, os torques decorrentes de forças de superfícies podem ser ignorados. Como o rotor gira em seu eixo, a força de campo gravitacional é simétrica, portanto, pode ser desprezada. Então, da Eq. (1), para escoamento permanente,

$$\vec{T}_{eixo} = \int_{SC} \vec{r} \times \vec{V} \rho \vec{V} \cdot d\vec{A}. \quad (2)$$

Aplicando um volume de controle fixo que inclui o rotor da turbomáquina, o fluido entra no rotor na localização radial, com velocidade absoluta uniforme, e sai do rotor na localização radial, com velocidade uniforme absoluta. O vetor posição \vec{r} é puramente radial, de modo que apenas a componente da velocidade tangencial conta.

$$\vec{T}_{eixo} = \int_{SC1} \vec{r}_1 \times \vec{V}_{t1} \rho \vec{V}_1 \cdot d\vec{A}_1 + \int_{SC2} \vec{r}_2 \times \vec{V}_{t2} \rho \vec{V}_2 \cdot d\vec{A}_2. \quad (3)$$

A Eq. (3) pode ser escrita na forma escalar, para aplicação de máquinas de fluxo. Para escoamento uniforme. Resolvendo o produto escalar

$$T_{\text{eix}} = (r_2 V_{t2} - r_1 V_{t1}) \dot{m}, \quad (4)$$

a taxa de trabalho realizada sobre um rotor de uma turbomáquina é dado por

$$\dot{W}_m = \omega T_{\text{eix}} = \omega (r_2 V_{t2} - r_1 V_{t1}) \dot{m}. \quad (5)$$

2.1 Diagrama de velocidades

Nos ventiladores, como em todas as turbomáquinas, uma partícula de fluido em contato com a pá do rotor, não tem a mesma trajetória que a do ponto do rotor com a qual a cada instante se encontra em contato.

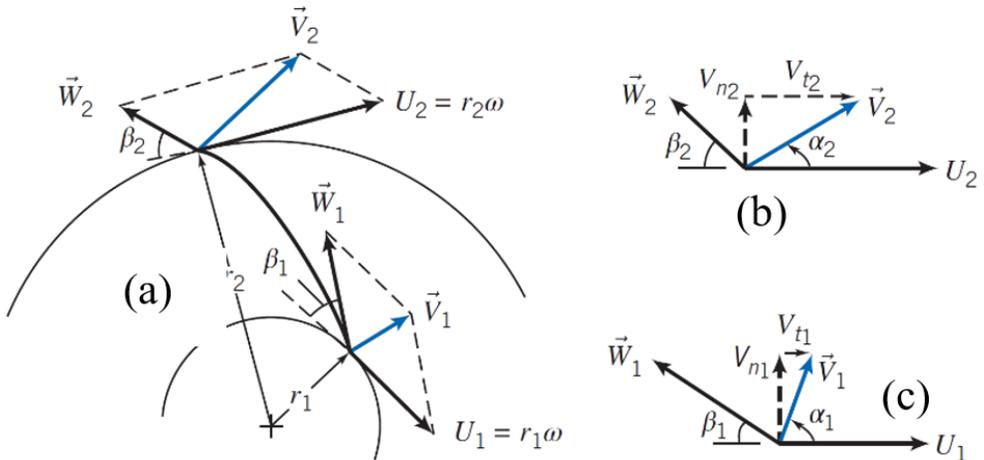


Figura 1. Notação para desenvolver diagramas de velocidades. (a) Escoamento no rotor; (b) Escoamento na saída do rotor; (c) Escoamento na estrada do rotor.

Fonte: Fox et al 2013.

Para resolver a equação de Euler para as turbomáquinas, é necessário conhecer as componentes de velocidade do fluido e do rotor nas seções de entrada e de saída. Para isso é preciso desenvolver diagramas de velocidades como o da Figura 1, para os escoamentos de entrada e saída. Analisando o diagrama de velocidades da Figura 1, e com base em trigonometria, é possível retirar a formulação matemática para cada componente de velocidade.

3 | MATERIAL E MÉTODOS

Para dimensionar o ventilador centrífugo, partiu-se de condições climáticas,

geográficas e parâmetros para alimentar uma fornalha industrial de 0,14 Gcal com ar atmosférico. Para o número de pás do rotor, foi considerado o critério de Eck (1973), inspirado no artigo de Oliveira et al. (2002), onde utilizaram em sua análise experimental o mesmo método, e chegaram à resultados de alta eficiência. O difusor foi dimensionado seguindo os parâmetros de Costa (1978) e aprimorado conforme Kothe et al. (2016), onde alteraram a geometria do difusor, modificando de forma que a aresta mais próxima do centro fosse tangencial a saída do rotor, obtendo melhores resultados.

Para facilitar os cálculos, foi utilizado um software de matemática simbólico numérico em linguagem C++, de forma que o programa interage com o usuário, mostrando instruções para o uso, onde o usuário irá preencher janelas que irão aparecendo conforme for sendo preenchidas. O modelamento 3D e verificação de interferências foi feito por software CAD. A tampa de entrada e o distribuidor foram fabricados pelo processo de impressão 3D, onde o distribuidor foi projetado de forma a assegurar a entrada do ar puramente radial à entrada do rotor. Os demais componentes foram fabricados em aço carbono pelo processo de corte a laser CNC e unido por solda pelo processo GMAW. Para usinar o furo central do rotor com tolerância H7, foi feito interpolação por fresadora CNC. O encaixe da chaveta foi feito pelo processo de eletroerosão seguindo a norma DIN 6885. O balanceamento do rotor foi feito nos parâmetros estabelecidos pela norma ISO 1940. O expansor foi fabricado segundo a norma ANSI/AMCA 210-07.

Para reprodução das curvas características do ventilador centrífugo em estudo, foi confeccionada uma bancada experimental em laboratório com dimensões e componentes prescritos pela norma ANSI/AMCA 210-07. Esta norma estabelece que o ensaio deve ser feito pelo menos oito vezes, com divisão por igual da abertura da válvula cônica. Durante o ensaio, foram feitas 22 medições, partindo com a válvula cônica fechando completamente o tubo de testes, até 57,50 mm de abertura, que corresponde a abertura total do tubo de testes.

Devido a imprecisão humana, qualquer procedimento experimental apresenta algum erro na medição, desta forma, foi necessário determinar os erros associados. A metodologia usada foi para determinar erros aleatórios da tomada de pressão, utilizando uma adaptação da aplicação de Holman (2011). Como critério de rejeição dos dados, foi adotado o critério de Chauvenet.

4 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

No presente trabalho foi dimensionado um ventilador centrífugo de forma analítica, sob condições climáticas, geográficas e parâmetros para alimentar uma fornalha industrial de 0,14 Gcal com ar atmosférico. Avaliou-se o equacionamento que modela o escoamento no ventilador centrífugo. Foi elaborado um código de linguagem interativa de programação computacional para a obtenção de todas as dimensões geométricas do ventilador centrífugo

e da bancada, bem como a potência, a velocidade de rotação do motor, e as demais informações de cálculos. Para a confecção das curvas características, os dados obtidos com a bancada experimental foram redigidos em uma planilha. A Figura 2 mostra as curvas característica do ventilador centrífugo estudado experimentalmente, onde:

- p_t → Pressão total;
- p_e → Pressão estática;
- p_d → Pressão dinâmica;
- η_t → Rendimento total;
- η_e → Rendimento estático.

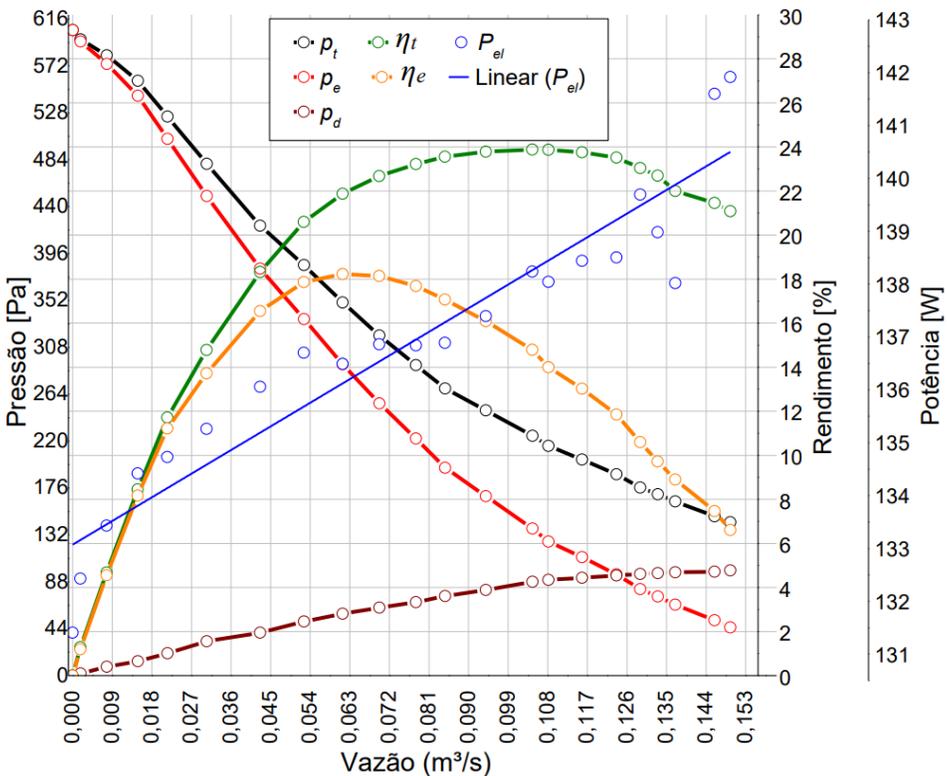


Figura 2. Curva característica do ventilador centrífugo estudado.

Comparando a curva de pressão da Figura 2 em relação à gráficos de catálogos de fabricantes, a pequena diferença é devido a forma construtiva do ventilador. A diferença se dá em função de perdas por atrito com o fluido, perdas por recirculação e perdas por atrito mecânico. Conforme recomendações da literatura, já prevendo possíveis variações

no desempenho total, foi atribuído valores de coeficientes adimensionais para os cálculos do dimensionamento do ventilador estudado. Então, dependendo dos coeficientes adimensionais estabelecidos para o dimensionamento, a proporção do ventilador mudará, mudando também a curva característica. Comparando a curva de pressão do ventilador estudado com a curva de pressão do ventilador experimental de Bazani et al. (2011), percebe-se a semelhança em seu traçado. Já a curva pressão x vazão de Neto (2005), se diferencia um pouco, mas mantém a tendência.

Cada tipo de ventilador tem sua própria curva característica. Mas, se comparar em catálogos de fabricantes, o mesmo ventilador poderá ter várias curvas, pois vão depender da vazão, pressão, velocidade de rotação do motor e fatores que alteram a massa específica do ar. Comparando a curva de pressão do ventilador estudado com a curva do ventilador centrífugo de pás curvadas para trás do fabricante Axair (2018), percebe-se grande semelhança no traçado das curvas.

A curva de potência do motor em função da vazão do ventilador, não apresentou a mesma semelhança do traçado do ventilador da norma ANSI/AMCA 210-07, onde não se observa mudanças significativas no aumento da trajetória da curva. Isso se deve pela baixa potência do motor do ventilador estudado. Em catálogos de fabricantes de ventiladores centrífugos, essas curvas são normalmente apresentadas em uma escala de potência com grandes variações, o que possibilita a visualização do aumento de potência do motor em função da vazão. A baixa potência do motor não proporciona uma curva visual de grandes variações, pois a variação de potência máxima e mínima é de 10,51 W, o que corresponde a aproximadamente a 0,01cv. Uma pequena variação na corrente resulta em uma mudança de potência do motor, e isso se deve pela movimentação da massa de ar. Quanto maior a massa de ar, maior a potência exigida pelo motor.

Comparando a curva rendimento x vazão com norma ANSI/AMCA 210-07, a caracterização da curva de desempenho do ventilador centrífugo estudado, evidencia-se semelhança. Através desta curva, percebe-se a quantidade de energia consumida pelo ventilador centrífugo em função da vazão. Segundo Costa (1978), ventiladores centrífugos maiores possuem rendimentos maiores que ventiladores pequenos. Nos testes realizados, o rendimento máximo foi na amostra de número 6 obtendo-se o valor de rendimento máximo de 24,16%. Já era de se esperar valores baixos, pois o ventilador centrífugo estudado é um ventilador de pequeno porte. Comparando com a dissertação de Bazzo (1979), que estudou curvas características em um ventilador centrífugo com pás curvadas para trás de grande porte e alcançou um rendimento máximo de 55%, onde Bazzo (1979) comenta que é um valor baixo para tal ventilador.

As curvas que caracterizam este ventilador, como era de se esperar, têm comportamento de curvas características típicas de ventiladores centrífugos de pás curvadas para trás. Tal comportamento se manteve para todas as amostragens.

Comparando os resultados obtidos analiticamente com os dados da bancada

experimental, ficou evidente que a metodologia utilizada, é eficaz para se dimensionar, projetar e fabricar um ventilador centrífugo de pás curvadas para trás, além de ser possível a confecção de uma bancada experimental instrumentada, retirar os dados e caracterizar o ventilador com as curvas de desempenho. A Tabela 1 apresenta as principais diferenças dos cálculos analíticos e dados experimentais.

Grandeza	Análítico	Experimental	Diferença	Unidade
Vazão	0,14	0,149 ($\pm 0,00067$)	0,009	m ³ /s
Pressão	50,00	61,74 ($\pm 0,535$)	11,74	mmH ₂ O
Velocidade	12,31	13,35 ($\pm 0,060$)	1,04	m/s
Vazão mássica	0,15	0,16 ($\pm 0,00067$)	0,01	kg/s

Tabela 1. Principais diferenças dos cálculos analíticos e dados experimentais.

5 | CONCLUSÕES

Através da metodologia organizada neste trabalho, foi possível desenvolver um programa computacional para dimensionar um ventilador centrífugo de pás curvadas para trás, para a alimentação de uma fornalha industrial. Com o resultado do dimensionamento, foi possível projetá-lo e fabricá-lo em tamanho real. Uma bancada foi confeccionada e instrumentada para conferir os dados dos cálculos analíticos. Com a bancada experimental, determinou-se a velocidade de saída que é 13,35 m/s, a vazão mássica de 0,16 kg/s, vazão volumétrica de 0,149 m³/s, e os demais dados de operação do ventilador, onde, através desses dados foi possível traçar as curvas características para o ventilador.

Constatou-se que o equacionamento apresentado, foi satisfatório para se projetar e fabricar um ventilador centrífugo, bem como a construção de uma bancada experimental. Pois quando correlacionados com catálogos de fabricantes de ventiladores centrífugos, os resultados deste trabalho, tiveram boa concordância, pois estão dentro da mesma faixa de operação em função de suas grandezas.

O ventilador centrífugo fabricado, é classificado como baixa pressão, por apresentar pressão diferencial de 61,74 mmH₂O.

Comparando os resultados obtidos analiticamente com os dados da bancada experimental, ficou evidente que a metodologia utilizada, é eficaz para se dimensionar, projetar e fabricar um ventilador centrífugo de pás curvadas para trás, além de ser possível a confecção de uma bancada experimental instrumentada, retirar os dados e caracterizar o ventilador com as curvas de desempenho.

REFERÊNCIAS

ANDERSON, J. D. J.; **Fundamentals of Aerodynamics**. 5ª ed. New York – NY, 2011.

ANSI/AMCA. **Laboratory Methods of Testing**. 2010.

AXAIR. **Centrifugal Fans**. Disponível em: < <https://www.axair-fans.co.uk/>>. Acesso em: 08 de outubro de 2018.

Bazani M. A., Paschoalini A. T. e Honório H. T. **Simulação Numérica de um Ventilador Centrifugo**. 10ª Conferência Brasileira de Dinâmica, Controle e Aplicação. 2011.

BAZZO E. **Influência da Geometria de Entrada e Saída nas Curvas Características de Ventiladores Centrifugos**. Dissertação de mestrado em engenharia. UFSC, SC. 1979.

Chunxi L; Ling, S. W e Yakui, J. **The performance of a centrifugal fan with enlarged impeller**. *Jornal Energy Conversion and Management*. China. 2011.

COSTA. **Compressores**. São Paulo. Edgard Bluecher. 1978.

COSTA. **Ventilação**. São Paulo. Edgard Bluecher. 2005.

ECK, B. **Fans Design and Operation of Centrifugal, Axial-Flow, and Cross-Flow Fans**. Oxford Pergamon Press. New York, USA. 1973.

FOX, Robert, W.; MCDONALD, Alan T.; PHILIP, J. Pritchard. **Introdução à Mecânica dos Fluidos**. Rio de Janeiro. Gen. Sétima edição. 2013.

Holman, J. P. **Experimental Methods for Engineering**. 8 ed. Connect Learn Succeed, 2011.

ISO 1940. **Mechanical vibration: Balance quality requirements for rotors in a constant (rigid) state**. Segunda edição. 2003.

KOTHE, B. L.; LUZ, R. L. J.; VECINA, J. D. T. **Projeto de otimização de um ventilador centrifugo através da dinâmica dos fluidos computacional (CFD)**. *Revista Técnico-Científica*. PR. 2016.

MACINTYRE. **Ventilação Industrial e Controle da Poluição**. Rio de Janeiro. Gen. 2008.

MORDOR INTELLIGENCE. **Global Centrifugal Fans Market (2017–2022)**. Bengaluru, Índia. 2017.

Neto P. J. M. R. **Bancada Didática de Sistema de Ventilação**. XXXIII Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia. Cobenge. 2005.

Oliveira, W.; FILHO, M. N.; FERNANDES, C. E. **Um Critério Baseado nas Características Locais do Escoamento para a Determinação do Número Ótimo de Pás de Rotores de Turbo-máquinas**. IX Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciências Térmicas. Caxambu, MG. 2002.

PFLEIDERER, C. **Bombas Centrifugas y Turbocompressores**. Editora Labor, Espanha, 1960.

SHARMA, N. e KARANTH, V. K. **Numerical Analysis of a Centrifugal Fan for Improved Performance using Splitter Vanes**. *World Academy of Science, Engineering and Technology*. 2009

SIGLOCH, H. **Strömungsmaschinen Grundlagen und Anwendungen**. Carl Hanser Verlag. 1984.

TRANSPARENCY MARKET RESEARCH. **Ventilation Fans Market - Global Industry Analysis, Size, Share, Growth, Trends and Forecast, 2015 – 2023**. Canada, U.S.A. 2016.

ESTUDO ANALÍTICO DE UM VENTILADOR CENTRÍFUGO E CONFEÇÃO DE UMA BANCADA EXPERIMENTAL

Data de aceite: 25/05/2021

Data de submissão: 07/04/2021

Carlos Alberto da Maia

UFRGS

Porto Alegre – RS

<http://lattes.cnpq.br/6006703677260048>

Marco Antonio Sampaio Ferraz de Souza

URI

Erechim – RS

<http://lattes.cnpq.br/6421797867310557>

RESUMO: O presente trabalho apresenta uma análise analítica do equacionamento que modela o escoamento em um ventilador centrífugo, usando como critério condições ambientais, geográficas e parâmetros para alimentar uma fornalha industrial de 0,14 Gcal, com ar atmosférico. Para abordagem da análise do ventilador centrífugo, foi considerado uma região do espaço conforme o fluido escoar através dela, escolhendo um volume de controle fixo, e para caracterizar seu desempenho, foi usado parâmetros adimensionais. Com base em recomendações de diferentes literaturas foi possível determinar parâmetros geométricos como número de pás, tipo de rotor, distribuidor, boca de saída, entre outros, para melhor aprimoramento do ventilador centrífugo. Foi deduzido o princípio da quantidade de movimento angular e simplificado as equações para uma análise de turbomáquinas. Utilizado um volume de controle fixo foi representada a equação de

Euler das turbomáquinas e através do diagrama de velocidades foi possível dimensionar o rotor do ventilador centrífugo. Para verificação dos dados de entrada do equacionamento, através dos resultados obtidos analiticamente, foi modelado um ventilador centrífugo em um software CAD, e fabricado em tamanho real. Também foi confeccionada uma bancada experimental em laboratório com dimensões e componentes prescritos pela norma ANSI/AMCA 210-07, onde pretende-se medir as grandezas do ventilador e traçar as curvas características. O ventilador centrífugo dimensionado e fabricado, é classificado como de baixa pressão, por apresentar pressão diferencial de 50 mmH₂O, possui rotor com diâmetro de 185,40 mm do tipo pás curvadas para trás com 35° de inclinação, velocidade de saída 12,31 m/s, vazão de 0,14 m³/s e motor de 2 polos com 0,16 hp.

PALAVRAS-CHAVE: Ventilador Centrífugo, turbomáquinas, equação de Euler das turbomáquinas, diagrama de velocidades, bancada experimental.

ANALYTICAL STUDY OF A CENTRIFUGAL FAN AND CONSTRUCTION OF AN EXPERIMENTAL BENCH

ABSTRACT: The present work presents an analytical analysis of the equation that models the flow in a centrifugal fan, using as criteria environmental conditions, geographical and parameters to feed an industrial furnace of 0.14 Gcal, with atmospheric air. To approach the analysis of the centrifugal fan, a region of space was considered as the fluid flows through it, choosing a fixed control volume,

and to characterize its performance, dimensionless parameters were used. Based on recommendations from different literature, it was possible to determine geometric parameters such as number of blades, type of rotor, distributor, outlet mouth, among others, for better improvement of the centrifugal fan. The principle of the amount of angular movement was deduced and the equations for simplifying turbomachinery analysis were simplified. Using a fixed control volume, the Euler equation of the turbomachinery was represented and through the speed diagram it was possible to dimension the rotor of the centrifugal fan. To verify the input data of the equation, through the results obtained analytically, a centrifugal fan was modeled in CAD software, and manufactured in real size. An experimental bench was also made in the laboratory with dimensions and components prescribed by the ANSI / AMCA 210-07 standard, where the intention is to measure the magnitudes of the fan and trace the characteristic curves. The scaled and manufactured centrifugal fan is classified as low pressure, as it has a differential pressure of 50 mmH₂O, it has a rotor with a diameter of 185.40 mm, with backward curved blades with a 35 ° inclination, outlet speed of 12.31 m / s, flow rate of 0.14 m³ / s and a 2-pole motor with 0.16 hp.

KEYWORDS: Centrifugal fan, turbomachines, Euler equation of turbomachinery, velocity diagram, experimental bench.

1 | INTRODUÇÃO

Em um ventilador centrífugo o ar entra de forma axial e sai de forma radial. Aplicam-se nas mais variadas áreas, como em sistemas de refrigeração, conforto térmico, remoção de pó, alimentação de fornalhas industriais, entre outras. O mercado mundial de ventiladores tem capitalizado o rápido crescimento em todos os setores, e é testemunho de perspectivas lucrativas em todo o mundo, devido ao crescente investimento no desenvolvimento de infraestrutura residencial, comercial e industrial. A crescente conscientização das pessoas sobre a qualidade do ar, avanço técnico em ventiladores e regulamentações governamentais sobre a implantação de ventiladores no setor industrial, significa aumentar sua popularidade, e por consequência, inovações de produtos moldarão o futuro do mercado mundial de ventiladores. A crescente ênfase na sustentabilidade e a obtenção de maior eficiência induziram os fabricantes a investir fortemente em seus setores de engenharia para desenvolver ventiladores centrífugos mais econômicos que possam otimizar o processamento geral e isso levou ao desenvolvimento de ventiladores centrífugos que oferecem alta eficiência, fluxo máximo e também resulta em um fornecimento de ar contínuo, confiável e eficiente em termos de energia. Devido à rápida urbanização, a crescente construção de espaços comerciais, residenciais e industriais, um aumento constante na demanda de ventiladores centrífugos pode ser observado em todo o mundo. De acordo com Transparency Market Research (2016), no ano de 2015, o mercado global de ventiladores, situou-se em US \$ 1,6 bilhão, e estimasse que até o final do ano 2023, deverá chegar em US \$ 2,4 bilhões. Segundo Mordor Intelligence (2017), em 2016 o número de ventiladores centrífugos estava em torno de 1.250.000 unidades, e estimam-se

que o mercado mundial de ventiladores centrífugos terá crescimento com taxa de 5,09% ao ano, chegando em torno de 1.602.000 unidades em 2021.

2 | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Diversas são as formas de se dimensionar um ventilador centrífugo. O engenheiro precisa ter uma boa noção de grandeza para saber qual a melhor forma de projetar um, pois qualquer variação nas dimensões ou geometria da caixa do ventilador, rotor, número de pás etc., poderá mudar significativamente os resultados esperados. Costa (2005) estabeleceu parâmetros de cálculos que permitem determinar as características de funcionamento dos ventiladores centrífugos, aplicando a primeira lei da termodinâmica ao escoamento. Costa (1978) e Macintyre (2008), apresentam a definição e modelos de ventiladores centrífugos e trazem exemplos de dimensionamentos deles. Fox et al (2013) se baseiam na equação da quantidade de movimento angular para um volume de controle e utiliza a equação de Euler para dimensionamento das turbomáquinas. Macintyre (2008) recomenda ensaios de laboratório que permitam, estatisticamente, exprimir a variação de considerações teóricas com condições reais em ventiladores centrífugos, para que com os valores obtidos nos ensaios, possam ser traçadas curvas característica desses ventiladores centrífugos. Fox et al. (2013) comentam que dados de fabricantes são exemplos de informações de desempenho medido e aconselha medir o desempenho global de ventiladores centrífugos em uma bancada de testes adequada.

Oliveira et al. (2002) avaliaram o número de pás de um rotor seguindo o critério de Richardson, que se trata de um parâmetro adimensional capaz de determinar o número ótimo de pás de rotores de ventiladores centrífugos. Quando comparado aos ensaios experimentais o critério de Richardson demonstrou ser muito eficiente, pois está perfeitamente dentro dos valores medidos em laboratórios, que foram adequados para rendimento máximo.

Sharma e Ka-ranth (2009) analisaram numericamente o aprimoramento de um ventilador centrífugo existente, contendo 13 pás diretrizes com 13 pás no rotor. Utilizaram quatro geometrias diferentes, modelaram as mesmas, e obtiveram resultados satisfatório. Para o sistema de coordenadas polares utilizaram as equações de Navier Stokes que foram resolvidas pela técnica de CFD (computational fluid dynamics). Em uma configuração, colocaram aletas divisórias entre as pás da saída do rotor. Para outra, colocaram aletas divisórias na saída do rotor a 25% do lado da sucção. A terceira configuração, consiste em aletas divisórias no bordo de ataque das pás diretrizes. A quarta configuração, possui aletas divisórias no bordo de fuga das pás diretrizes. Comparado ao ventilador centrífugo experimental, o aprimoramento de configuração que apresentou melhor desempenho foi a quarta configuração.

Chunxi et al. (2011) mostraram em um estudo numérico e experimental, o

desempenho de um ventilador centrífugo com variação no diâmetro do rotor, sem alterar a geometria do difusor. Em seus estudos, comprovaram que quando o ventilador centrífugo funcionava com rotores maiores, a pressão total e o ruído aumentaram, enquanto que a eficiência diminuiu.

DAN MEI (2012) estudou os efeitos da concentração de partículas em um ventilador centrífugo, e através de simulação numérica pode identificar a localização da erosão em um ventilador centrífugo, mostrando que ela tem relação com diâmetros das partículas.

Kothe et al. (2016) mostraram através de uma forma experimental e numérica, a otimização de um ventilador centrífugo, obtendo resultados satisfatórios. Alterando o número pás, de 16 para 13, modificando do perfil das pás para formato aerodinâmico. Além disso, modificaram as curvaturas das pás que eram para frente, para trás. Para a geometria do difusor, modificaram a saída da caixa que era retangular, de forma que a aresta mais próxima do centro fosse tangencial a saída do rotor. Para os resultados numéricos, com os dois ventiladores operando nas mesmas condições, o modelo otimizado representou uma vazão 67,8% maior, e 33,6% de queda de torque na região das pás. Através da simulação, foi possível identificar recirculações e vórtices, que são responsáveis pelo alto ruído e mau funcionamento dos ventiladores centrífugos. Para resultados experimentais, o ventilador otimizado representou um aumento de 74,65% de vazão, e uma queda de corrente, de 16 A para 11 A, resultando queda no consumo de energia.

3 | FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Ventilador Centrífugo

É um tipo de ventilador no qual o ar entra axial e sai de radial do ventilador. Pode ser citado como compressor centrífugo ou sopradores. O que difere ambos é a diferença de pressão. De acordo com Macintyre (2008) o ventilador é estudado como uma máquina de fluido incompressível, já que o grau de compressão que nele se verifica é muito pequeno. Para Fox et al. (2013), ventiladores com pás curvadas para trás são os mais indicados para instalações com elevada demanda de potência. Ventiladores de pás curvada para frente é perfeito quando um baixo custo inicial de instalação e um tamanho reduzido são importantes. As pás curvadas para frente requerem menores velocidades nas suas extremidades e pás inclinadas para trás com perfil aerofólio, possuem elevado rendimento e nível de ruído muito baixo.

O rotor de um ventilador centrífugo é constituído de uma série de canais fixos entre si que giram em torno de um eixo. Ao entrar no rotor, a velocidade absoluta do fluido é a resultante das velocidades tangencial e relativa, que se verificam ao longo dos canais rotativos (COSTA, 1978). A fim de diminuir a variação de velocidade relativa ao longo do rotor, a largura de entrada do rotor é geralmente maior e, menor na saída. Um rotor desbalanceado pode causar a diminuição da vida útil de um ventilador centrífugo. A norma

ISO 1940 é um manual de boas práticas para balanceamento de rotores. Costa (1978) recomenda que a distância entre pás deve ser sempre inferior à altura da coroa. Para definir o número de pás, é comumente usado em indústria as fórmulas clássicas, empíricas, como o critério de Sigloch (1984), Eck (1973) e Pfeleiderer (1960), que apresentam resultados bastante satisfatório.

4 | FORMULAÇÃO GERAL

O método de análise usado para turbomáquinas é escolhido de acordo com a informação desejada. Fox et al. (2013) explicam que existem duas abordagens para a análise, a abordagem Lagrangeano e a Euleriana. Para o presente trabalho utilizou-se a abordagem de volume de controle (Euleriana), que avalia uma região do espaço conforme o fluido escoar através dela. Como vantagem, essa abordagem possui uma grande quantidade de aplicações práticas, tornando-a o método mais escolhido. A desvantagem é que é necessário trabalhar matematicamente para converter as leis físicas de sua formulação para sistema, para a formulação de volume de controle, porque as leis da física aplicam-se à matéria, e não diretamente à região do espaço.

4.1 O Princípio da quantidade de movimento angular

O princípio da quantidade de movimento angular, para um sistema, é dado em termos de taxa por

$$\left. \frac{d\vec{H}}{dt} \right)_{\text{sistema}} = \vec{T}, \quad (1)$$

a quantidade de movimento angular do sistema dado em kg.m²/s como

$$\vec{H} = \int_{M(\text{sistema})} \vec{r} \times \vec{V} dm = \int_{V(\text{sistema})} \vec{r} \times \vec{V} \rho dV. \quad (2)$$

O torque total \vec{T} , aplicado a um sistema leva em conta os torques causados por forças de superfície, de campo e de eixo, e pode ser escrito de forma que,

$$\vec{T} = \vec{r} \times \vec{F}_s + \int_{M(\text{sistema})} \vec{r} \times \vec{g} dm + \vec{T}_{\text{eixo}}. \quad (3)$$

A relação geral entre as formulações de sistema e de volume de controle estacionário é dado por

$$\left. \frac{dN_s}{dt} \right)_{\text{sistema}} = \frac{\partial}{\partial t} \int_{VC} \eta_s \rho V + \int_{SC} \eta \rho \vec{V} \cdot d\vec{A}, \quad (4)$$

onde η representa as propriedades intensivas do sistema e N_s as propriedades extensivas do sistema de forma que

$$\vec{r} \times \vec{F}_s + \int_{M(\text{sistema})} \vec{r} \times \vec{g} dm + \vec{T}_{eixo} = \frac{\partial}{\partial t} \int_{VC} \vec{r} \times \vec{V} \rho dV + \int_{SC} \vec{r} \times \vec{V} \rho \vec{V} \cdot d\vec{A}. \quad (5)$$

Como o sistema e o volume de controle coincidem no instante t_o , $\vec{T} = \vec{T}_{VC}$, a formulação geral do princípio da quantidade de movimento angular para um volume de controle inercial é dada por

$$\vec{r} \times \vec{F}_s + \int_{VC} \vec{r} \times \vec{g} dV + \vec{T}_{eixo} = \frac{\partial}{\partial t} \int_{VC} \vec{r} \times \vec{V} \rho dV + \int_{SC} \vec{r} \times \vec{V} \rho \vec{V} \cdot d\vec{A}, \quad (6)$$

que estabelece, que o momento das forças superficiais e das forças de campo, mais o torque aplicado, levam a uma variação da quantidade de movimento angular do escoamento. As forças superficiais são devidas ao atrito e à pressão, a força de campo é devida à gravidade, a variação na quantidade de movimento angular pode aparecer como variação na quantidade de movimento angular no interior do volume de controle, ou como fluxo de quantidade de movimento angular através da superfície de controle (FOX et al., 2013).

4.2 Equação de Euler para turbomáquinas

Escolhendo um volume de controle fixo englobando o rotor, a fim de avaliar o torque de eixo. Considerando volumes de controle para os quais são esperados grandes torques de eixo, os torques decorrentes de forças de superfícies podem ser ignorados. Como o rotor gira em seu eixo, a força de campo gravitacional é simétrica, portanto, pode ser despre

$$\vec{T}_{eixo} = \int_{SC} \vec{r} \times \vec{V} \rho \vec{V} \cdot d\vec{A}. \quad (7)$$

Aplicando um volume de controle fixo que inclui o rotor da turbomáquina, o fluido entra no rotor na localização radial, com velocidade absoluta uniforme, e sai do rotor na localização radial, com velocidade uniforme absoluta. O vetor posição \vec{r} é puramente radial, de modo que apenas a componente da velocidade tangencial conta.

$$\vec{T}_{eixo} = \int_{SC1} \vec{r}_1 \times \vec{V}_{t1} \rho \vec{V}_1 \cdot d\vec{A}_1 + \int_{SC2} \vec{r}_2 \times \vec{V}_{t2} \rho \vec{V}_2 \cdot d\vec{A}_2. \quad (8)$$

A equação (8) pode ser escrita na forma escalar, para aplicação de máquinas de fluxo. Para escoamento uniforme

$$T_{eixo} \hat{k} = (r_2 V_{t2} - r_1 V_{t1}) \dot{m} \hat{k}. \quad (9)$$

Resolvendo o produto escalar

$$T_{eixo} = (r_2 V_{t2} - r_1 V_{t1}) \dot{m}. \quad (10)$$

A taxa de trabalho realizada sobre um rotor de uma turbomáquina é dado por

$$\dot{W}_m = \omega T_{eixo} = \omega(r_2 V_{t2} - r_1 V_{t1}) \dot{m}, \quad (11)$$

a carga teórica adicionada ao escoamento, como

$$H_e = \frac{\dot{W}_m}{\dot{m}g} = \frac{1}{g}(U_2 V_{t2} - U_1 V_{t1}). \quad (12)$$

4.3 Diagrama de velocidades

Nos ventiladores, como em todas as turbomáquinas, uma partícula de fluido em contato com a pá do rotor, não tem a mesma trajetória que a do ponto do rotor com a qual a cada instante se encontra em contato.

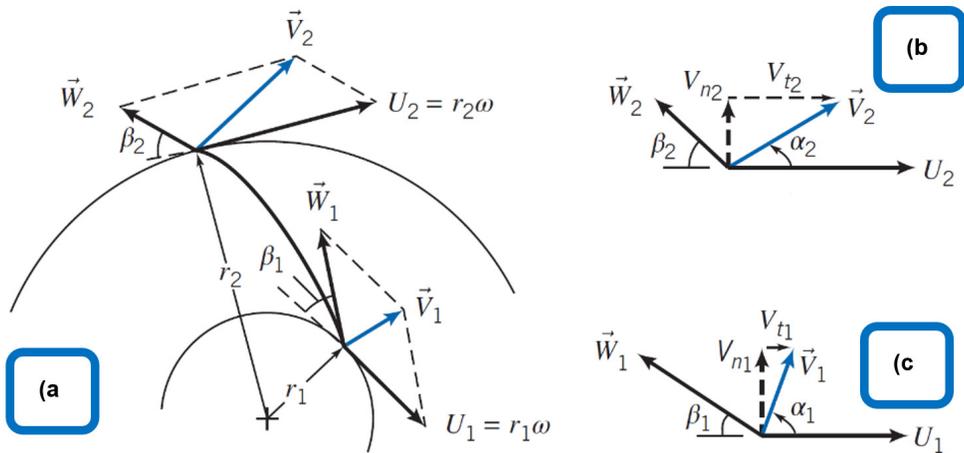


Figura 1. Notação para desenvolver diagramas de velocidades. (a) Escoamento no rotor; (b) Escoamento na saída do rotor; (c) Escoamento na estrada do rotor.

Fonte: Fox et al 2013

Para resolver a equação de Euler para as turbomáquinas, é necessário conhecer as componentes de velocidade do fluido e do rotor nas seções de entrada e de saída. Para isso é preciso desenvolver diagramas de velocidades como o da Figura 1, para os escoamentos de entrada e saída. Analisando o diagrama de velocidades da Figura 1, e com base em trigonometria, é possível retirar a formulação matemática para cada componente de velocidade.

5 I METODOLOGIA

Para os cálculos analíticos, partiu-se de condições ambientais, geográficas e parâmetros para alimentar a fornalha com ar atmosférico. Antes do início do

dimensionamento, foi necessário calcular as grandezas específicas que irão caracterizar o ambiente de trabalho do ventilador centrífugo, como vazão, massa específica, temperatura, altitude, pressão diferencial etc. Com os parâmetros iniciais estabelecidos e as grandezas já calculados, iniciou-se o processo de dimensionamento conforme a formulação geral. Para o número de pás do rotor, foi considerado o critério de Eck (1973), com base no artigo de Oliveira et al. (2002), onde utilizaram em sua análise experimental o mesmo método, e chegaram à resultados de alta eficiência. O difusor foi dimensionado seguindo os paramentos de Costa (1978) e aprimorado conforme Kothe et al. (2016), onde alteraram a geometria do difusor, modificando de forma que a aresta mais próxima do centro fosse tangencial a saída do rotor, obtendo melhores resultados.

Para facilitar os cálculos, foi utilizado um software de matemática simbólico numérico em linguagem C++, de forma que o programa interage com o usuário, mostrando instruções para o uso, onde o usuário irá preencher janelas que irão aparecendo conforme for sendo preenchidas.

O modelamento 3D e verificação de interferências foi feito por *software* CAD. A tampa de entrada e o distribuidor foram fabricados pelo processo de impressão 3D, onde o distribuidor foi projetado de forma a assegurar a entrada do ar puramente radial à entrada do rotor. Os demais componentes foram fabricados em aço carbono pelo processo de corte a laser CNC e unido por solda pelo processo GMAW. Para usinar o furo central do rotor com tolerância H7, foi feito interpolação por fresadora CNC. O encaixe da chaveta foi feito pelo processo de eletroerosão seguindo a norma DIN 6885. O balanceamento do rotor foi feito nos parâmetros estabelecidos pela norma ISO 1940. O expensor foi fabricado segundo a norma ANSI/AMCA 210-07.

Para a confecção da bancada experimental, foi adotado a norma ANSI/AMCA 210-07, que é constituído de um tubo reto, de uma válvula cônica, de um homogeneizador de fluxo, de um expensor, de um tubo de Pitot-Prandtl e do ventilador centrífugo. Para a obtenção de bons resultados, foi respeitado as dimensões exigidas pela norma, tendo como resultado para aplicação na bancada de testes as dimensões em milímetros da Figura 2.

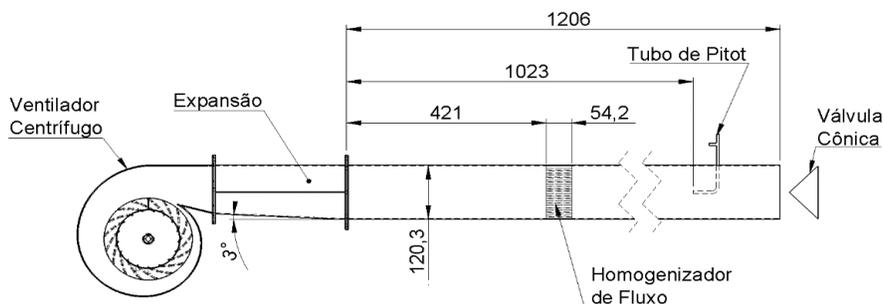


Figura 2. Medidas reais para bancada de testes.

Um micromanômetro digital foi acoplado no tubo de Pitot-Prandtl com a função de indicar as pressões. Um alicate amperímetro foi utilizado para medir a corrente do motor em função da vazão.

6 | RESULTADOS

No presente trabalho foi dimensionado um ventilador centrífugo de forma analítica, sob condições ambientais, geográficas e parâmetros para alimentar uma fornalha industrial de 0,14 Gcal, com ar atmosférico.

Avaliou-se o equacionamento que modela o escoamento no ventilador centrífugo, e através de dados disponíveis na literatura, foram averiguados e comparados os diferentes métodos de se desenvolver um ventilador centrífugo, conforme a recomendação de cada autor. Foi elaborado um código para a obtenção de todas as dimensões geométricas do ventilador centrífugo e da bancada, bem como a potência, a velocidade de rotação do motor, e as demais informações de cálculos. A Figura 3 mostra o ventilador centrífugo construído.

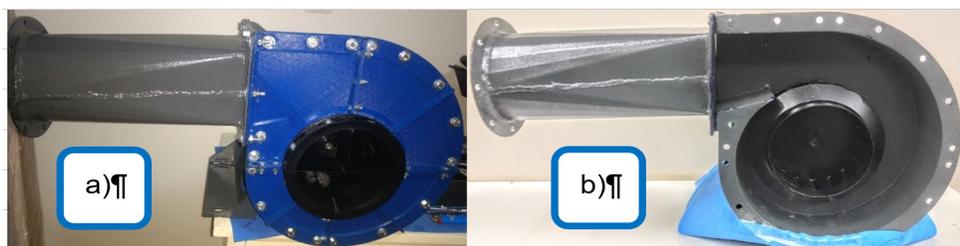


Figura 3. Ventilador centrífugo fabricado. (a) com tampa e difusor; (b) sem tampa e difusor.

O motor foi instalado em um inversor de frequência, e para garantir a real rotação do motor foi usado um tacômetro. O valor de rotação do motor se manteve conforme estabelecido nos cálculos. Uma análise de ruído foi feita utilizando um decibelímetro a um metro de distância do motor, e o resultado foi de 70,5 dB (a informação de ruído não é de importância para este trabalho).

Foi construído uma bancada experimental de acordo com os parâmetros indicados pela norma ANSI/AMCA 210-07. A bancada se encontra no laboratório de fenômenos de transporte da universidade URI campus 2 da cidade de Erechim – RS, está finalizada e pronta para fazer o ensaio de medição das pressões, da corrente e potência do motor, e traçar as curvas características. A Figura 4 mostra a bancada finalizada e indica o local da instrumentação.

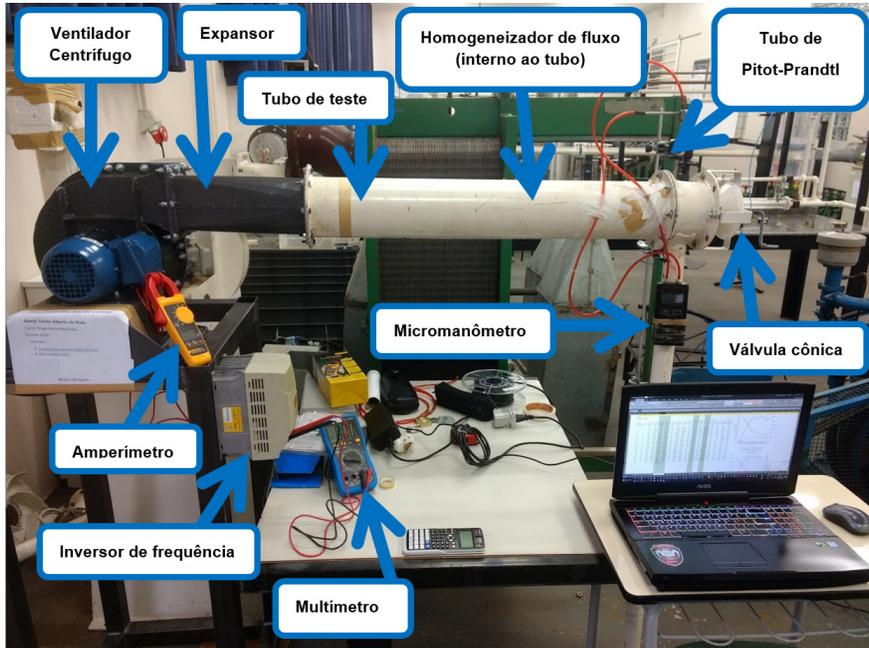


Figura 4. Bancada experimental instrumentada conforme norma ANSI/AMCA 210-07.

Como resultado, ficou evidente que a metodologia utilizada, é eficaz para se dimensionar, projetar e fabricar um ventilador centrífugo e montar uma bancada experimental instrumentada para medi-lo.

7 | CONCLUSÕES

Através da metodologia organizada neste trabalho, foi possível dimensionar, projetar e fabricar um ventilador centrífugo para determinada aplicação. Foi possível também o desenvolvimento e conclusão de uma bancada experimental instrumentada. Constatou-se que o equacionamento apresentado, foi satisfatório para se projetar e fabricar um ventilador centrífugo bem como a construção de uma bancada experimental.

O ventilador centrífugo dimensionado e fabricado, é classificado como baixa pressão, por apresentar pressão diferencial de $50 \text{ mmH}_2\text{O}$.

A partir deste trabalho foi possível determinar a velocidade de saída que é $12,31 \text{ m/s}$, a vazão mássica $0,15 \text{ kg/s}$, o diâmetro do rotor $185,4 \text{ mm}$, a boca de entrada e saída com $136,81 \text{ mm}$ e $120,34 \text{ mm}$ respectivamente, largura das pás de $26,71 \text{ mm}$ na entrada e $37,39 \text{ mm}$ na saída, ângulo de saída de 35° e de entrada $24,89^\circ$, número de pás igual a 17, motor 2 polos com $0,16 \text{ hp}$, entre outros valores para a construção do ventilador centrífugo e também a bancada experimental.

Quando correlacionados com catálogos de fabricantes de ventiladores centrífugos,

os resultados analíticos encontrados neste trabalho, tiveram boa concordância, pois estão dentro da mesma faixa de operação em função da geometria.

REFERÊNCIAS

ANDERSON, J. D. J.; **Fundamentals of Aerodynamics**. 5ª ed. New York – NY, 2011.

ANSI/AMCA. **Laboratory Methods of Testing**. 2010.

Chunxi L; Ling, S. W e Yakui, J. **The performance of a centrifugal fan with enlarged impeller**. *Jornal Energy Conversion and Management*. China. 2011.

COSTA. **Compressores**. São Paulo. Edgard Bluecher. 1978.

COSTA. **Ventilação**. São Paulo. Edgard Bluecher. 2005.

DAN MEI. **Numerical Simulation about the Effect Rules of Particles Concentration. on Erosion of the Centrifugal Fan**. *Advanced Materials Research*. Switzerland. 2012.

ECK, B. **Fans Design and Operation of Centrifugal, Axial-Flow, and Cross-Flow Fans**. Oxford Pergamon Press. New York, USA. 1973.

FOX, Robert, W.; MCDONALD, Alan T.; PHILIP, J. Pritchard. **Introdução à Mecânica dos Fluidos**. Rio de Janeiro. Gen. Sétima edição. 2013.

ISO 1940. **Mechanical vibration: Balance quality requirements for rotors in a constant (rigid) state**. Segunda edição. 2003.

KOTHE, B. L.; LUZ, R. L. J.; VECINA, J. D. T. **Projeto de otimização de um ventilador centrífugo através da dinâmica dos fluidos computacional (CFD)**. *Revista Técnico-Científica do CREA-PR*. PR. 2016.

MACINTYRE. **Ventilação Industrial e Controle da Poluição**. Rio de Janeiro. Gen. 2008.

MORDOR INTELLIGENCE. **Global Centrifugal Fans Market (2017 – 2022)**. Bengaluru, Índia. 2017.

Oliveira, W.; FILHO, M. N.; FERNANDES, C. E. **Um Critério Baseado nas Características Locais do Escoamento para a Determinação do Número Ótimo de Pás de Rotores de Turbo-máquinas**. IX Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciências Térmicas. Caxambu, MG. 2002.

PFLEIDERER, C. **Bombas Centrífugas y Turbocompressores**. Editora Labor, Espanha, 1960.

SHARMA, N. e KARANTH, V. K. **Numerical Analysis of a Centrifugal Fan for Improved Performance using Splitter Vanes**. *World Academy of Science, Engineering and Technology*. 2009

SIGLOCH, H. **Strömungsmaschinen Grundlagen und Anwendungen**. Carl Hanser Verlag. 1984.

TRANSPARENCY MARKET RESEARCH. **Ventilation Fans Market - Global Industry Analysis, Size, Share, Growth, Trends and Forecast, 2015 – 2023**. Canada, U.S.A. 2016.

INFLUÊNCIA DA IMPREGNAÇÃO CONTRA DEMANDA BIOLÓGICA NAS PRÓPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS DAS MADEIRAS DE CAIXETA (*Simarouba amara*)

Data de aceite: 25/05/2021

Data de submissão: 09/04/2021

Andréa de Souza Almeida

Universidade de São Paulo, Ciência e Engenharia de Materiais
São Carlos – São Paulo
<http://lattes.cnpq.br/8357751524776131>

Gabriel Criscuolo

Universidade de São Paulo, Engenharia e Ciência de Materiais
Pirassununga – São Paulo
<http://lattes.cnpq.br/0497417565847865>

Francisco Antonio Rocco Lahr

Universidade de São Paulo, Engenharia de Estruturas
São Carlos – São Paulo
<http://lattes.cnpq.br/2333091200416653>

André Luis Christoforo

Universidade Federal de São Carlos, Estruturas e Construção Civil
São Carlos – São Paulo
<http://lattes.cnpq.br/7623383075429186>

RESUMO: A preservação química visa proteger a madeira contra quaisquer ações deterioradoras, sejam elas consequências de fenômenos físico-químicos, como a ação do intemperismo, ou de fenômenos biológicos, como os organismos xilófagos. No Brasil, um dos preservativos mais utilizados nas usinas de preservação é o Arseniato de Cobre Cromatado (CCA), que

é aplicado na madeira através do processo de vácuo-pressão, método que em tese poderia aumentar a quantidade de defeitos superficiais e diminuir os valores das propriedades físico-mecânicas das madeiras. Atualmente, em decorrência da disponibilização no mercado (devida à implantação de áreas certificadas no Brasil) de espécies de madeira de média a baixa densidade, a questão da necessidade da preservação contra a demanda biológica se constitui em aspecto de fundamental importância para que se garantam as alternativas de oferta desse material para a construção de estruturas, cuja durabilidade seja equivalente à da madeira de espécies de uso consagrado, como Jatobá, Sucupira, Garapa e Itaúba, por exemplo. Neste contexto, o presente trabalho teve como objetivo investigar a influência do tratamento com o preservativo CCA nas propriedades físico-mecânicas da espécie de madeira tropical brasileira *Simarouba amara* (C20), escolhida na tentativa de abranger a classe de resistência mais baixa, de acordo com o que prescreve a ABNT NBR 7190:1997. Foi realizada a caracterização completa da espécie nos dois tipos de tratamento (Sem tratamento – Ref; CCA) para posterior aplicação do teste de comparações múltiplas de Tukey, avaliado ao nível de 5% de significância. Para avaliar o comportamento do preservante a nível celular, foram geradas fotomicrografias por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e seus respectivos espectros de EDS. Os resultados obtidos mostraram que o tratamento químico não afetou significativamente os valores das propriedades físico-mecânicas da espécie estudada.

PALAVRAS-CHAVE: Madeiras tropicais; preservação; caracterização; propriedades físico-mecânicas.

INFLUENCE OF IMPREGNATION AGAINST BIOLOGICAL DEMAND ON PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF CAIXETA TIMBER (*Simarouba amara*)

ABSTRACT: The chemical preservation aims to protect the wood against any deteriorating actions, be they consequences of physical-chemical phenomena, such as weathering, or biological phenomena, such as xylophagous organisms. In Brazil, the most used preservatives in the preservation plants is Chromated Copper Arsenate (CCA). It's applied to the wood through the vacuum-pressure process, which in theory could increase the amount of surface defects and decrease the values of the physical- mechanical properties of the wood. Currently, due to the availability in the market (due to the implantation of certified areas in Brazil) of medium to low density wood species, the question of the need for preservation against biological demand is an aspect of fundamental importance to ensure the alternatives of supply of this material for the construction of structures, whose durability is equivalent to the wood of species of consecrated use, such as Jatobá, Sucupira, Garapa and Itaúba, for example. In this context, the present work had as objective to investigate the influence of the treatment with the preservative CCA on the physical-mechanical properties of the Brazilian tropical wood species *Simarouba amara* (C20), chosen in an attempt to cover the lowest strength class, according to what ABNT NBR 7190:1997 prescribes. A complete characterization of the species was carried out in the two types of treatment (No treatment - Ref: CCA) was performed for the subsequent application of the Tukey's multiple comparison test, evaluated at the 5% level of significance. To evaluate the behavior of the preservative at the cellular level, photomicrographs were generated by Scanning Electron Microscopy (SEM) and their respective EDS spectra. The results obtained showed that the chemical treatment did not affect significantly the values of the physical- mechanical properties of the studied specie.

KEYWORDS: Tropical woods; preservation; characterization; physical-mechanical properties.

1 | INTRODUÇÃO

A madeira, material de fonte renovável, possui propriedades vantajosas para a construção civil, como alta resistência mecânica em relação à massa, bom isolamento térmico e elétrico, fácil trabalhabilidade e beleza (VIDAL et al., 2015; SILVEIRA et al., 2018). Como desvantagem, se destaca a suscetibilidade ao ataque de organismos xilófagos, consequência da sua origem biológica que favorece a retenção de umidade e a proliferação destes organismos (MOHAN et al. 2008; TEMIZ et al. 2010; FERRARINI et al., 2012; TEMIZ et al. 2013).

A deterioração causada pelos organismos xilófagos diminui drasticamente as propriedades de resistência e a durabilidade da madeira (EDLUND; NILSSON, 1998; ISAKSSON; BRISCHKE; THELANDERSSON, 2012; SILVEIRA et al., 2018), pois estes organismos atacam os polímeros naturais, que conferem rigidez às paredes celulares

dos elementos anatômicos e proporcionam resistência às solicitações mecânicas e, conseqüentemente, causam mudanças significativas nas propriedades físico-mecânicas das madeiras (OLIVEIRA et al., 1986; ZABEL; MORREL, 1992; ZIGLIO; GONÇALVES, 2013).

Para potencializar as propriedades físicas e mecânicas da madeira e garantir sua durabilidade, é realizado o tratamento preservativo suprindo a necessidade de espécies de longa durabilidade, principalmente em instalações rurais (FARIA et al., 2015; BOSCHETTI et al., 2016). O processo de tratamento químico é desconhecido por muitos brasileiros, sendo necessário que tenha seus conhecimentos mais difundidos para que o uso da madeira como sistema estrutural seja ampliado no país.

Os preservativos utilizados nos tratamentos devem ter determinadas características a fim de alcançar elevados níveis de eficiência, como ter ação duradoura, ser tóxicos a um grande número de organismos xilófagos, permitir penetração profunda e uniforme na madeira, não devem alterar as características da madeira ou dos materiais que estão em contato com a mesma, devem ser preferencialmente inodoros, não inflamáveis, resistentes à lixiviação e entre outras características que devem ser estudadas com base no tipo de madeira a ser tratada e no projeto (FLORIAN, 2011; TEIXEIRA, 2012; TELEGINSKI et al., 2016).

Segundo Lepage (1986), a classificação dos produtos preservativos da madeira pode ser feita com base na natureza físico-química do produto:

- a) Preservativos oleosos, ou seja, cuja natureza é oleosa;
- b) Preservativos oleossolúveis, que são dissolvidos em solventes orgânicos;
- c) Preservativos hidrossolúveis, aqueles em que o dissolvente é a água;

Dentre os preservativos hidrossolúveis, o CCA (Arseniato de Cobre Cromatado) é o mais utilizado no Brasil e é fortemente recomendado para o tratamento de madeiras que possam sofrer lixiviação, processo erosivo ocasionado pela lavagem superficial do solo ou de uma superfície, pois o CCA se fixa às paredes celulares da madeira e não é liberado facilmente para o meio ambiente (SILVA, 2006; VIDAL et al., 2015).

Mais de dezesseis mil espécies estão disponíveis na floresta Amazônica do território brasileiro e, destas, em torno de doze mil espécies foram registradas até o momento (STEEGE et al., 2016). Mesmo com a grande disponibilização das madeiras tropicais no país, as espécies que já eram classificadas foram demasiadamente utilizadas, o que acarretou na diminuição da disponibilidade do material e, conseqüentemente, aumentou os preços do material no mercado madeireiro brasileiro (PAES; MORESCHI; LELLES, 2005; SILVA; CAIXETA FILHO, 2015; LOPES et al., 2017).

Devido à implantação de áreas certificadas no país, houve uma crescente disponibilização no mercado madeireiro nacional de espécies de baixa e média densidade. Dessa forma, as madeiras que apresentam alta durabilidade natural vem sendo substituídas

gradualmente pelas espécies de rápido crescimento, em geral com poucas informações tecnológicas a respeito de seu comportamento ao longo do tempo, e que necessitam de preservação química para garantir a durabilidade do material aplicado em estruturas (PAES; MORESCHI; LELLES, 2005; VIDAL et al., 2015; LOPES et al., 2017).

Neste contexto, este trabalho apresenta uma análise sobre a influência da impregnação contra demanda biológica realizada com CCA-A, aplicado nas madeiras através do processo vácuo-pressão, nas propriedades físico-mecânicas da madeira tropical *Simarouba amara*, comumente conhecida como Caixeta (C20). Tal espécie é usual na construção civil e foi escolhida na tentativa de abranger a classe de resistência mais baixa de acordo com a ABNT NBR 7190/1997.

2 | MATERIAL E MÉTODOS

Neste trabalho, foram analisadas amostras de madeiras da espécie *Simarouba amara*, mais conhecida como Caixeta (C20) (Figura 1). Esta é uma das espécies tropicais mais usuais na construção civil brasileira e foi escolhida na tentativa de se cobrir a classe de resistência mais baixa, de acordo com o que prescreve a ABNT NBR7190/1997, a qual divide as madeiras em classes de resistência com o objetivo de empregar madeiras com propriedades padronizadas, auxiliando na escolha do tipo de madeira para a elaboração de projetos estruturais. Potencialmente, espécies desta classe apresentam maior porosidade e tendem a receber melhor o tratamento preservante.



Figura 1 - Madeira de Caixeta.

Fonte: Autoria própria.

Segundo Moreschi (2013), o CCA é empregado em três tipos de formulações diferentes (tipos A, B e C), todas as formulações contém cerca de 19% em base ao óxido de cobre (CuO) e se diferem em relação aos teores de cromo e arsênico. A Tabela 1 mostra a composição dos três tipos de CCA.

Componente	Tipo A	Tipo B	Tipo C
Cromo como CrO_3	65,5	35,3	47,5
Cobre como CuO	18,1	19,6	18,5
Arsênico como As_2O_5	16,4	45,1	34,0

Tabela 1 - Composição do CCA (%).

Fonte: Adaptado MORESCHI (2013).

As amostras de madeiras utilizadas na realização deste trabalho foram tratadas com CCA-A (óxido) através do sistema vácuo-pressão (célula cheia) em autoclave, com pressão entre 12 e 14 atm e retenção de 9,6 kg de preservativo/m³ de madeira tratada. O tratamento com CCA-A foi realizado na empresa FERRARI TRATAMENTO DE MADEIRAS em São Carlos – SP. As amostras de madeira foram retiradas para os ensaios a partir do seguinte modelo a fim de garantir a menor variabilidade das propriedades:

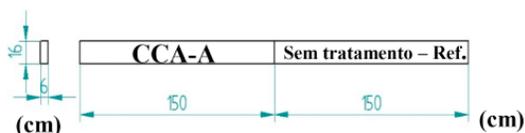


Figura 2 - Retirada das amostras para os ensaios.

Fonte: Autoria própria.

Ao todo foram 12 peças de Caixeta e de cada uma das duas partes (CCA-A, Sem tratamento - Ref) foram obtidos os corpos-de-prova para a determinação das propriedades estudadas, atendendo às recomendações do Anexo B, da ABNT NBR 7190.

As propriedades físico-mecânicas das madeiras de Caixeta foram determinadas conforme recomenda o Anexo B “Determinação das propriedades das madeiras para projeto de estruturas” do documento normativo NBR 7190/1997: Projeto de Estruturas de madeira, da Associação Brasileira de Normas Técnicas. Para a realização dos ensaios mecânicos foi utilizada a máquina universal de ensaios AMSLER com capacidade de 25 toneladas, somente os ensaios de tenacidade foram realizados em máquina específica.

Primeiramente, realizou-se a caracterização completa da espécie sem tratamento, e posteriormente, foi realizada a caracterização completa da espécie com o tratamento preservativo a base do produto hidrossolúvel CCA tipo A. Os resultados das propriedades de resistência e rigidez foram corrigidos para umidade padrão de referência de 12%, como estabelecido pela ABNT NBR 7190/97.

Na Tabela 2 são apresentadas a propriedade física e as propriedades mecânicas investigadas das amostras sem tratamento preservante (Ref) e com tratamento preservante a base de CCA, cabendo destacar que foram fabricados 12 corpos-de-prova na determinação

de cada propriedade (14 propriedades avaliadas) e por condição experimental investigada (sem tratamento, tratamento com CCA), o que resultou em 336 determinações ao todo.

Sigla	Propriedade
ρ_{ap}	Densidade aparente a 12% de umidade
f_{c0}	Resistência na compressão paralela às fibras
E_{c0}	Módulo de elasticidade na compressão paralela às fibras
f_{c90}	Resistência na compressão perpendicular às fibras
f_{t0}	Resistência na tração paralela às fibras
E_{t0}	Módulo de elasticidade na tração paralela às fibras
f_{t90}	Resistência na tração perpendicular às fibras
f_M	Resistência convencional na flexão estática
E_M	Módulo de elasticidade na flexão
f_{H0}	Dureza na direção paralela às fibras
f_{H90}	Dureza na direção perpendicular às fibras
f_{v0}	Resistência ao cisalhamento na direção paralela às fibras
f_{fend}	Resistência ao fendilhamento
W	Tenacidade

Tabela 2 - Propriedades avaliadas.

Fonte: Autoria própria.

A influência do fator tratamento [Tr] (sem - Ref, CCA) nas propriedades mecânicas da madeira de Caixeta foi avaliada com o uso do teste de Tukey, ao nível de 5% de significância. Do teste de Tukey:

- **A** denota a condição experimental de maior valor médio da propriedade;
- **B** denota a condição experimental associada ao segundo maior valor médio e assim sucessivamente;
- Letras iguais implicam em tratamentos com médias estatisticamente equivalentes.

Este teste de comparação múltipla consiste na equivalência das médias dos tratamentos como hipótese nula (H_0), e na não equivalência de pelo menos duas das médias como hipótese alternativa (H_1). Pela formulação da ANOVA, avaliada com o auxílio do software Minitab®, versão 14, P-valor inferior ao nível de significância ($\alpha = 0,05$) implica em refutar H_0 (pelo menos uma das médias se difere das demais), aceitando-a em caso contrário (P-valor $> 0,05$ = as médias dos tratamentos são estatisticamente equivalentes).

Ambos os ensaios (MEV e EDS) foram realizados com as amostras da espécie *Simarouba amara*. As fotomicrografias de MEV e os respectivos espectros de EDS, que possibilitaram a análise qualitativa da composição dos elementos das soluções

preservativas, foram realizados na Central de Análises Químicas Instrumentais do Instituto de Química de São Carlos (CAQI/IQSC/USP).

As amostras de Caixeta cortadas na direção paralela às fibras da madeira, com dimensões de (1,5 x 1,5) cm de área de superfície e 0,5 cm de espessura, que foram secas em estufa com convecção de ar a 50C durante 24 horas, anteriormente ao ensaio de MEV.

As fotomicrografias de MEV foram obtidas em um equipamento ZEISS LEO 440 (Cambridge, England) com detector OXFORD (modelo 7060), operando com feixe de elétrons de 20 kV, corrente de 2,82 A e I probe de 200 pA. As amostras foram recobertas com 6 nm de ouro em um metalizador Coating System BAL-TEC MED 020 (BAL-TEC, Liechtenstein) e mantidas em dessecador até o momento da análise. As condições de metalização foram as seguintes: pressão na câmara = $2,00 \times 10^{-2}$ mbar; corrente = 60 mA; taxa de deposição = 0,60 nm/s.

A análise de Energia Dispersiva (EDS) foi realizada em um equipamento EDX LINK ANALYTICAL, (Isis System Series 300), com detetor de SiLi Pentafet, janela ultrafina ATW II (Atmosphere Thin Window), de resolução de 133 eV à 5,9 keV e área de 10 mm², acoplado ao mesmo microscópio em que se obtiveram as fotomicrografias de MEV. Utilizou-se padrão de Co para calibração, feixe de elétrons de 20 kV, distância focal de 25 mm, dead time de 30%, corrente de 2,82 A e I probe de 2,5 nA.

3 I RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas tabelas 3, 4 e 5 são apresentados os valores médios (\bar{x}), os coeficientes de variação (Cv) e os resultados do teste de Tukey para as propriedades investigadas para a espécie *S. amara* (Caixeta).

Propriedades	Ref.		Com CCA	
	\bar{x}	Cv (%)	\bar{x}	Cv (%)
ρ_{ap} (g/cm ³)	0.33 A	2.67	0.34 A	1.95

Tabela 3 - Valores médios experimentais, coeficientes de variação (Cv) e resultados do teste de Tukey para a densidade aparente da espécie *S. amara* (Caixeta).

Fonte: Autoria própria.

De acordo com o Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT (2021), o valor para a densidade aparente na condição de 15% de umidade para a Caixeta é de 0.48 g/cm³, diferente das obtidas experimentalmente e na condição de 12% de umidade. Isso é comum, pois dentro da mesma espécie, os valores numéricos das características físicas e mecânicas podem variar de acordo com a região, composição e umidade do solo em que a árvore foi plantada, parte do tronco onde se retiraram as amostras, entre outros fatores

que fazem com que as propriedades de uma mesma espécie possuam diferentes valores devido às diferenças dos lotes (CALIL JUNIOR; DIAS, 1997; SEGUNDINHO et al., 2017).

Propriedades	Ref.		Com CCA	
	x	Cv (%)	x	Cv (%)
f_{c0} (MPa)	34.47 A	15.49	33.94 A	11.50
f_{c90} (MPa)	7.20 A	14.99	7.07 A	11.50
f_{t0} (MPa)	49.48 AB	7.41	46.14 B	13.22
f_{t90} (MPa)	2.46 AB	25.60	2.16 B	34.24
f_M (MPa)	62.36 A	15.03	62.07 A	12.04
f_v (MPa)	8.56 B	17.39	10.86 A	15.71
f_{te} (MPa)	0.40 B	24.03	0.45 AB	21.34
f_{H0} (MPa)	509.16 A	14.04	484.39 A	26.67
f_{H90} (MPa)	283.33 A	15.19	305.20 A	41.00
W (N.m)	15.37 B	22.11	25.26 A	17.59

Tabela 4 - Valores médios experimentais, coeficientes de variação (Cv) e resultados do teste de Tukey para os valores de resistência da espécie *S. amara* (Caixeta).

Propriedades	Ref.		Com CCA	
	x	Cv (%)	x	Cv (%)
E_{c0} (MPa)	7325 A	29.71	7736 A	28.04
E_{t0} (MPa)	9414 A	7.02	9920 A	19.09
E_M (MPa)	8858 A	17.85	9378 A	20.61

Tabela 5 - Valores médios experimentais, coeficientes de variação (Cv) e resultados do teste de Tukey para os valores de módulo de elasticidade da espécie *S. amara* (Caixeta).

Segundo a ABNT NBR 7190/1997, os valores máximos para o coeficiente de variação (Cv), para que a caracterização possa ser descrita como adequada, é de 18% para esforços normais (f_{t0} e f_{c0}), e 28% para esforços tangenciais (f_v). A caracterização da Caixeta realizada para todos os casos de tratamento atendeu a estes limites. Os valores para as resistências na compressão paralela às fibras, na flexão e na tração normal às fibras obtidas experimentalmente foram diferentes das expostas na tabela 5, pois os lotes analisados eram diferentes.

Pelo teste de Tukey, os preservante CCA não afetou de forma significativa os

valores para as propriedades estudadas das madeiras de Caixeta.

Foram consultadas diversas bases de dados, revistas eletrônicas, bibliotecas e redes sociais como ResearchGate, Engineering Village e Googlee Acadêmico, porém não foram encontradas pesquisas que abordassem a caracterização completa da espécie *S. amara* ou possíveis perdas nos valores das propriedades destas madeiras devido ao tratamento preservativo com CCA. Devido ao pioneirismo da pesquisa, não foram possíveis maiores comparações.

A Figura 3 é uma fotomicrografia gerada por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) da madeira de Caixeta (*Simarouba amara*) com CCA-A. Por ser uma superfície em seu estado bruto a análise no MEV foi realizada de forma pontual, escolhendo-se as regiões onde se obteve a melhor visualização das células, da fixação dos óxidos puros às paredes celulares e da visualização do lúmen.

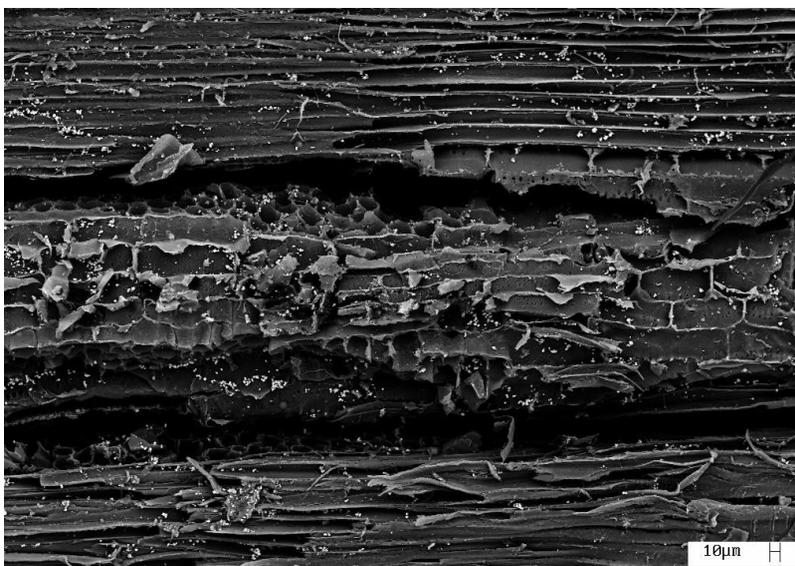


Figura 3 - Fotomicrografia de MEV com ampliação de 500x de magnitude da madeira de Caixeta impregnada com CCA.

Pode ser observado nas imagens os óxidos puros em forma de cristais aderidos em sua maioria nas paredes celulares e alguns dispersos no lúmen, tais cristais são destacados em relação aos componentes da madeira pura devido ao filtro utilizado no ensaio, que os deixam mais claros indicando a presença de elementos metálicos e semi-metálicos, como o cromo, arsênio e o cobre, que são as bases do preservativo utilizado.

Tendo em vista que a imagem é composta de regiões onde pontos mais claros contrastam com regiões mais escuras, e a fim de investigar onde os elementos que compõem o preservativo se encontram, foi feita a análise de EDS em uma região com

Como não foi confirmada a influência, não será necessária a adoção de um novo coeficiente de modificação das resistências no dimensionamento de elementos estruturais de madeira, tendo como base os requisitos da ABNT NBR 7190. E no presente trabalho, ficam registradas a primeira caracterização completa da espécie *S. amara*.

A partir destas conclusões, foi comprovado o elevado nível técnico e de confiabilidade dos tratamentos preservativos realizados pelos processos de vácuo-pressão nas usinas de preservação de madeiras.

AGRADECIMENTOS

Por todo apoio prestado, os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Nível Superior (CAPES) – Código de Financiamento 001.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7190: **Projeto de Estruturas de Madeira**. Rio de Janeiro, 1997.

BOSCHETTI, Walter Torezani Neto et al. **Preservative treatment of fence posts evaluation through photolorimetry segmentation performance**. Revista *Árvore*, [s.l.], v. 40, n. 4, p.731-739, ago. 2016. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/0100-67622016000400017>.

CALIL JR, Carlito; DIAS, Antonio Alves. **Utilização da madeira em construções rurais**. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 1, p.71-77, 1997.

EDLUND, Marie-louise; NILSSON, Thomas. **Testing the durability of wood**. *Materials And Structures*, [s.l.], v. 31, n. 9, p.641-647, nov. 1998. Springer Nature. <http://dx.doi.org/10.1007/bf02480616>.

FARIA, Wigor Souza et al. **Avaliação das propriedades físico-mecânicas da madeira de *Eucalyptus camaldulensis* Tratado e não Tratado com preservativo**. *Enciclopédia Biosfera*, Goiânia, v. 11, n. 21, p.287-293, jun. 2015.

FERRARINI, Suzana Frighetto et al. **Classificação de resíduos de madeira tratada com preservativos de madeira tratada à base de arseniato de cobre cromatado e boro/flúor**. *Química Nova*, Porto Alegre, v. 35, n. 9, p.1767-1771, jun. 2012.

FLORIAN, Alexandre. **Preservativos de madeira e suas características**. *Revista da Madeira*, ed. 127, UNB, março 2011. Disponível em: <<http://www.remade.com.br/revista-madeira>>. Acesso em: 10 jul. 2017.

GEISSE, M.E. 2006. Tratamento de madeira de reflorestamento em autoclave. *Revista da Madeira*, 100: 96-99.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS – IPT (2021). **Informações sobre madeiras**. Disponível em:< http://www.ipt.br/consultas_online/informacoes_sobre_madeira/busca> Acesso em: 05 de mar. 2021.

ISAKSSON, Tord; BRISCHKE, Christian; THELANDERSSON, Sven. **Development of decay performance models for outdoor timber structures**. *Materials And Structures*, [s.l.], v. 46, n. 7, p.1209-1225, 2 nov. 2012. Springer Nature. <http://dx.doi.org/10.1617/s11527-012-9965-4>.

LEPAGE, Ennio Silva. **Manual de preservação de madeiras**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas Estado de São Paulo, Divisão de Madeiras: Secretaria da Indústria, Comércio, Ciência e Tecnologia do Estado de São Paulo, 1986.

LOPES, Dercílio Junior Verly et al. **Influências do Diâmetro e Umidade da Madeira na Qualidade do Tratamento Preservativo. Floresta e Ambiente**, [s.l.], v. 24, e20160207, 12 set. 2017. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.020716>.

MOHAN, Dinesh et al. **Fungicidal values of bio-oils and their lignin-rich fractions obtained from wood/bark fast pyrolysis**. *Chemosphere*, [s.l.], v. 71, n. 3, p.456-465, mar. 2008. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2007.10.049>.

MORESCHI, João Carlos. (2013). **Biodegradação e Preservação da Madeira “Preservativos de Madeira”**. Apostila Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal – UFPR, vol. 2, Curitiba. 33p. Disponível em: <http://www.madeira.ufpr.br/disciplinasmoreschi/PRESERVATIVOS%20DE%20MADEIRA.pdf>. Acesso em: 05 de jul. 2017.

OLIVEIRA, AMF et al. **Agentes destruidores da madeira**. In: Lepage ES, editor. Manual de preservação de madeiras. São Paulo: IPT; 1986. p. 99-278. PMid:3722834.

PAES, Juares Benigno; MORESCHI, João Carlos; LELLES, José Gabriel de. **Avaliação do tratamento preservativo de moirões de *Eucalyptus viminalis* Lab. e de bracinga (*Mimosa scabrella* Benth.) pelo método de substituição da seiva. Ciência Florestal**, [s.l.], v. 15, n. 1, p.75-86, 30 mar. 2005. Universidad Federal de Santa Maria. <http://dx.doi.org/10.5902/198050981825>.

SEGUNDINHO, Pedro Gutemberg de Alcântara et al. **Eficiência da colagem de madeira tratada de *Eucalyptus cloeziana* F. Muell para produção de madeira laminada colada (MLC)**. *Matéria*, Rio de Janeiro, v. 22, n. 2, e11808, 2017. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1517-707620170002.0140>.

SILVA, Rodrigo Peixoto da.; CAIXETA FILHO, José Vicente. **Minimização dos Custos de Transporte para Exportação de Madeira da Amazônia Legal. Revista de Administração e Negócios da Amazônia**, [s.l.], v. 7, n. 1, p.103-125, 30 abr. 2015. Revista de Administracao e Negocios da Amazonia. <http://dx.doi.org/10.18361/2176-8366/rara.v7n1p103-125>.

SILVA, José de Castro. (2006). **Madeira preservada: impactos ambientais**. *Revista da Madeira*, Caixias do Sul. Disponível em: < <http://www.remade.com.br> >. Acesso em: 04 jul.2017.

SILVEIRA, Amanda Grassmann da et al. **QUALITY OF *Hovenia dulcis* Thunb. Round fence posts submitted to preservative treatment**. *Floresta*, [s.l.], v. 48, n. 1, p.59-66, 13 mar. 2018. Universidade Federal do Parana. <http://dx.doi.org/10.5380/ufpr.v48i1.50118>.

STEEGE, Hans Ter et al. **The discovery of the Amazonian tree flora with an updated checklist of all known tree taxa. Scientific Reports**, [s.l.], v. 6, n. 1, p.1-15, 13 jul. 2016. Springer Nature. <http://dx.doi.org/10.1038/srep29549>.

TEIXEIRA, Juliana Grilo. **Efeito preservativo de produtos químicos naturais e do tratamento térmico na biodeterioração da madeira de *Pinus caribaea* Morelet**. 2012. 41 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências Ambientais e Florestais, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

TELEGINSKI, Evandro et al. **Emprego de técnica de colorimetria e ferramentas de sensoriamento remoto para avaliar o tratamento por CCB de mourões de madeira**. Scientia Forestalis, [s.l.], v. 44, n. 111, p.587-593, 3 out. 2016. Instituto de Pesquisa e Estudos Florestais (IPEF). <http://dx.doi.org/10.18671/scifor.v44n111.05>.

TEMIZ, Ali et al. **Chemical composition and efficiency of bio-oil obtained from giant cane (*Arundo donax* L.) as wood preservative**. Bioresources, North America, v. 8, n. 2, p.2084- 2098, mar. 2013.

TEMIZ, Ali et al. **Efficiency of Bio-Oil Against Wood Destroying Organisms**. Journal Of Biobased Materials And Bioenergy, [s.l.], v. 4, n. 4, p.317-323, 1 dez. 2010. American Scientific Publishers. <http://dx.doi.org/10.1166/jbmb.2010.1092>.

VIDAL, Jackson Marcelo et al. **Preservação de madeiras no Brasil: histórico, cenário atual e tendências**. Ciência Florestal, Santa Maria, v. 25, n. 1, p.257-271, jan-mar. 2015.

ZABEL, Robert A.; MORREL, Jeffrey J.. **Wood Microbiology: Decay and Its Prevention**. San Diego: Academic Press, 1992. 474 p.

ZIGLIO, Analine Crespo; GONÇALVES, Débora. **On the use of capsaicin as a natural preservative against fungal attack on *Pinus* sp. and *Hymenaea* sp. woods**. Materials Research, [s.l.], v. 17, n. 1, p.271-274, 23 ago. 2013. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1516-14392013005000141>.

EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD ANTIOXIDANTE Y COMPUESTOS BIOACTIVOS EN PURÉ INSTANTÁNEO DE DIEZ CLONES DE PAPAS NATIVAS (*Solanum tuberosum*) CULTIVADAS EN ANDAHUAYLAS

Data de aceite: 25/05/2021

Data de submissão: 30/04/2021

Carlos Alberto Ligarda Samanez

Universidad Nacional José María Arguedas
Andahuaylas-Perú
<https://orcid.org/0000-0001-7519-8355>

David Choque Quispe

Universidad Nacional José María Arguedas
Andahuaylas-Perú
<https://orcid.org/0000-0003-4002-7526>

Betsy Suri Ramos Pacheco

Universidad Nacional José María Arguedas
Andahuaylas-Perú
<https://orcid.org/0000-0002-0286-0632>

Elibet Moscoso Moscoso

Universidad Nacional José María Arguedas
Andahuaylas-Perú

RESUMEN: Se evaluó la capacidad antioxidante y compuestos bioactivos en puré instantáneo de diez clones de papa nativa (*Solanum tuberosum*), los cuales fueron proporcionados por la empresa SEMPAL y codificados como clon A, B, C, D, E, F, G, H, I y J, se determinó la capacidad antioxidante por el método del DPPH, compuestos fenólicos por el método de Folin-Ciocalteu y antocianinas totales por el método del pH diferencial en los clones de papa nativa y purés instantáneos, siendo el clon C el que presentó los valores más altos. La capacidad antioxidante en muestras frescas fue elevada, varió entre 1462,29 a

3554,44 μg Equivalente Trolox/g muestra b.s., mientras que en los purés oscilaron entre 88,74 a 714,06 μg muestra b.s., evidenciándose una disminución entre 76,65% a 93, 93%. El contenido de fenoles totales en los clones fueron altos, observándose valores entre 14581,25 a 27563,68 mg Equivalente de ácido gálico/100 g de muestra b.s., sin embargo estos compuestos disminuyeron en los purés, en un rango de 60,41% a 78, 09% debido a los tratamientos tecnológicos, cuantificándose valores entre 5643,99 - 6040,41 mg/100 g de muestra b.s. Respecto al contenido de antocianinas, los valores oscilaron entre 2,601 a 1154,37 mg/100 g muestra b.s. en clones frescos, los cuales disminuyeron entre 23,8 % a 69,71% después de las etapas del proceso, obteniéndose valores entre 1,91 a 605,24 mg/100 g muestra b.s. El análisis por HPLC en el espectro ultravioleta a 370 y 520 nm en las muestras frescas, permitió determinar la presencia de las antocianinas: pelargonidina, peonidina y cianidina, en el caso de los fenoles no se logró identificarlos. Concluyendo que los clones de papas nativas pueden emplearse potencialmente como fuente natural de pigmentos y antioxidantes en fresco y procesado.

PALABRAS CLAVE: Clones de papa nativa, puré, capacidad antioxidante, fenoles, antocianinas.

EVALUATION OF THE ANTIOXIDANT CAPACITY AND BIOACTIVE COMPOUNDS IN INSTANT PUREE OF TEN CLONES OF NATIVE POTATOES (*Solanum tuberosum*) CULTIVATED IN

ANDAHUAYLAS

ABSTRACT: The antioxidant capacity and bioactive compounds in instant mash of ten native potato clones (*Solanum tuberosum*) were evaluated, which were provided by the company SEMPAL and coded as clone A, B, C, D, E, F, G, H, I and J, the antioxidant capacity was determined by the DPPH method, phenolic compounds by the Folin-Ciocalteu method and total anthocyanins by the differential pH method in native potato clones and instant purees, with clone C presenting the highest values. The antioxidant capacity in fresh samples was high, ranging from 1,462.29 to 3,554.44 µg Equivalent Trolox / g sample bs, while in purees they ranged from 88.74 to 714.06 µg sample bs, showing a decrease between 76, 65% to 93, 93%. The total phenol content in the clones was high, with values between 14581.25 to 27563.68 mg, Gallic acid equivalent / 100 g of sample bs, however these compounds decreased in the purées, in a range of 60.41% a 78, 09% due to technological treatments, quantifying values between 5643.99 - 6040.41 mg / 100 g of sample bs. Regarding the anthocyanin content, the values ranged from 2,601 to 1,154.37 mg / 100 g sample b.s. in fresh clones, which decreased between 23.8% to 69.71% after the stages of the process, obtaining values between 1.91 to 605.24 mg / 100 g sample b.s. The HPLC analysis in the ultraviolet spectrum at 370 and 520 nm in the fresh samples, allowed to determine the presence of the anthocyanidins: pelargonidine, peonidine and cyanidin, in the case of phenols it was not possible to identify them. Concluding that native potato clones can potentially be used as a natural source of fresh and processed pigments and antioxidants.

KEYWORDS: Native potato clones, mash, antioxidant capacity, phenols, anthocyanins.

1 | INTRODUCCIÓN

En la actualidad la tendencia de los mercados es obtener productos novedosos, inocuos, de calidad nutricional y funcional, que sean producidos naturalmente. Un alimento saludable que reúne estas características son las papas nativas, que presentan gran variabilidad de forma y coloración, está última se debe al contenido de antocianinas, los cuales son considerados antioxidantes que permiten evitar la oxidación de las células, permiten mantener un equilibrio en los procesos de oxido-reducción que ocurren en forma natural dentro del organismo.

El aumento de la prevalencia de las enfermedades crónicas, relacionadas con la alimentación ha conducido a un mayor interés por estudiar la relación alimentación y salud. Se ha demostrado una menor incidencia de las mismas con patrones alimentarios que involucran un alto consumo de alimentos vegetales, lo que ha motivado a investigar las propiedades de estos alimentos. El efecto protector de los alimentos de origen vegetal se ha atribuido a diversos nutrientes y fitoquímicos con actividad antioxidante lo cual es frecuentemente olvidado en las recomendaciones alimentarias.

Los clones de papa nativa (*Solanum tuberosum*), producidos en el distrito de San Jerónimo, provincia de Andahuaylas y región Apurímac, aún no han sido estudiados en su totalidad, sin embargo, se sabe que tienen un potencial nutricional en fresco y procesado.

2 | MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Materia prima

Se empleó diez clones de papa nativa (*Solanum tuberosum*), recolectados del campo experimental de la empresa SEMPAL, ubicada en el Centro Poblado de Chulcuiza, Distrito de San Jerónimo, Provincia de Andahuaylas, Región Apurímac. Se codificaron como 304184-600 (A), 30 3881 - 602 (B), 302285 - 608 (C), 308837 - 230 (D), 303799 - 609 (E), 507600 - 129B (F), Amanchi (G) Roja I (H), Amarilla I (I) y Amarilla II (J). Las pruebas experimentales se realizaron en los laboratorios de Procesos Agroindustriales y Química de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial (EPIA) de la Universidad Nacional José María Arguedas (UNAJMA) y en el Laboratorio de Cromatografía de Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco (UNSAAC).

2.2 Elaboración del puré instantáneo

Se adaptó la metodología descrita por Romero *et al.*, (2010). Se seleccionaron clones de papa que presentaron tamaño, forma y coloración homogénea, sin daños físicos aparentes provocados por insectos, luego se lavaron con abundante agua para eliminar las impurezas adheridas en la superficie. Los clones de papa se sometieron a cocción empleando una autoclave de acero inoxidable a 180°C (0.038 MPa) por un tiempo promedio de 15 minutos. Posteriormente se enfrió colocando las papas en bandejas de Aluminio por un espacio de 15 minutos a temperatura ambiente, para luego ser peladas y ralladas manualmente. Finalmente fueron deshidratadas a 65 °C por 6 horas en una estufa de convección forzada hasta alcanzar aproximadamente una humedad entre 4 a 6 %, se molió y tamizó empleando un tamiz de 420 micrómetros, finalmente se almacenó hasta su uso.

2.3 Determinación de la capacidad antioxidante

Se utilizó el método desarrollado por Brand-Williams *et al.*, (1995). Los compuestos antioxidantes de la muestra a ensayar, reaccionan con el radical estable 2,2 difenil-1-picrilhidrazil (DPPH) que se encuentra en una solución de metanol. El radical en forma de DPPH absorbe la luz a 515 nm.

2.4 Determinación de fenoles totales

Se utilizó el método de Folin-Ciocalteu, señalada por Singleton y Rossi (1999). Se tomó 12,5 ml del reactivo concentrado de Folin-Ciocalteu 2,0 N, se transfirió a un matraz aforado de 25 ml, se enrazó con agua destilada hasta la línea de aforo; previamente cubierta con papel aluminio y se almacenó a 4°C. Se pesó 3,75 g de Na₂CO₃ anhidro (99,5% pureza, PM=105,99), se transfirió a un matraz aforado de 50 ml y se enrazó con agua destilada, para luego realizar las medidas por espectrofotometría.

2.5 Determinación de fenoles totales

Para cuantificar el contenido de antocianinas se empleó el método de Giusti y Wrolstad, (2001). Se desarrolló a través del método del pH diferencial.

2.6 Cromatografía líquida de alta eficiencia

Se utilizó el método por cromatografía líquida de alta eficiencia (HPLC). Para identificar las antocianidinas y compuestos fenólicos presentes en los diez clones de papa nativa, en dicho método se utilizaron las adecuadas condiciones del análisis:

3 I RESULTADOS Y DISCUSIONES

3.1 Capacidad antioxidante de los clones de papa y puré

En la Tabla 1 se muestran los resultados de la capacidad antioxidante para los clones de papa nativa, el clon C ($3554,44 \pm 0,48 \mu\text{g/mL}$) y el clon I ($1462,29 \pm 0,83 \mu\text{g/mL}$) tiene la mayor y menor capacidad de reducir el radical DPPH respectivamente. Respecto a los purés instantáneos el mayor valor correspondió para el clon C ($714,06 \pm 0,93 \mu\text{g/mL}$) mientras que el clon I ($88,74 \pm 0,62 \mu\text{g/mL}$) presentó el menor valor.

Clon	Capacidad antioxidante (μg Equivalente Trolox / g b.s.).		Porcentaje de disminución (%)
	Clon de papa nativa	Puré instantáneo	
	$\bar{x} \pm s$	$\bar{x} \pm s$	
A	$2494,52^a \pm 0,67$	$582,50^a \pm 0,33$	76,65
B	$2175,60^b \pm 0,72$	$410,10^b \pm 0,83$	81,15
C	$3554,44^c \pm 0,48$	$714,06^c \pm 0,93$	79,91
D	$1985,75^d \pm 0,30$	$331,51^d \pm 0,77$	83,31
E	$1738,68^e \pm 0,51$	$286,47^e \pm 0,80$	83,52
F	$2176,48^b \pm 0,30$	$475,39^f \pm 0,79$	78,16
G	$3264,24^g \pm 0,44$	$707,25^g \pm 0,63$	78,33
H	$2001,24^d \pm 0,95$	$313,27^h \pm 0,60$	84,35
I	$1462,29^i \pm 0,83$	$88,74^i \pm 0,62$	93,93
J	$1486,35^j \pm 0,27$	$113,98^j \pm 0,93$	92,33

Donde: \bar{x} es la media; s es la desviación estándar, las letras iguales significan que no hay diferencia significativa, evaluadas a través del test LSD, con $\alpha = 5\%$.

Tabla 1. Capacidad antioxidante

García (2011), evaluó las propiedades antioxidantes de clones promisorios de papa criolla, el mejor clon de papa fue el CO56 siendo superior a papa criolla comercial, su capacidad antioxidante ABTS (16%), FRAP (43%) DPPH (37%) y ORAC (35%). Se

presentaron diferencias significativas entre clones y correlaciones respecto al color de la cáscara. En cuanto a la capacidad antioxidante in vitro determinada por el método DPPH se reportó valores entre 21,137 a 178,50 μg Equivalente de Trolox/g muestra b.s., estos valores fueron inferiores a los clones estudiados; relacionados con la pigmentación intensa que presentaron las muestras, lo que en cierta medida indica cualitativamente el contenido de antocianinas y por ende una mayor capacidad antioxidante.

3.2 Compuestos fenólicos de clones de papa y puré

Los compuestos fenólicos totales, están relacionados con la capacidad de capturar radicales libres, los cuales disminuyeron al ser sometidos a procesos tecnológicos para la elaboración del puré instantáneo. Los valores se expresaron como mg equivalente de ácido gálico /100 g de muestra b.s. En la Tabla 2 se muestran los resultados de los compuestos fenólicos totales para los clones de papa nativa, así el clon C (27563,68 \pm 0,16 mg/100 g) y el clon I (14581,25 \pm 0,44 mg/100 g) tiene la mayor y menor cantidad de compuestos fenólicos totales respectivamente. Para el caso del puré instantáneo el mayor valor corresponde al clon C (6040,41 \pm 0,40 mg/100 g) y el clon I (5643,99 \pm 0,43 mg/100 g) presenta la menor cantidad.

Clon	Compuestos fenólicos totales (mg GAE/100 g de muestra en b.s.).		Porcentaje de disminución (%)
	Clon de papa nativa	Puré instantáneo	
	$\bar{x} \pm s$	$\bar{x} \pm s$	
A	19081,53 ^a \pm 0,83	5969,54 ^a \pm 0,31	68,72
B	16710,37 ^b \pm 0,55	5886,01 ^b \pm 0,11	64,78
C	27563,68 ^c \pm 0,16	6040,41 ^c \pm 0,40	78,09
D	15746,71 ^d \pm 0,61	5885,82 ^b \pm 0,33	62,6
E	14702,49 ^e \pm 0,73	5821,20 ^d \pm 0,07	60,41
F	17025,32 ^f \pm 0,88	5889,52 ^b \pm 0,30	65,41
G	25561,62 ^g \pm 0,15	5990,09 ^e \pm 0,52	76,57
H	15565,16 ^h \pm 0,43	5869,24 ^f \pm 0,10	62,29
I	14581,25 ⁱ \pm 0,44	5643,99 ^g \pm 0,43	61,29
J	14653,48 ^j \pm 0,03	5720,09 ^h \pm 0,53	60,96

Donde: \bar{x} es la media; s es la desviación estándar, las letras iguales significan que no hay diferencia significativa, evaluadas a través del test LSD, con $\alpha = 5\%$.

Tabla 2. Compuestos fenólicos totales

Fuenzalida (2008), determinó la concentración de fenoles totales, de variedades testigos comerciales y genotipos pigmentados de Chile. Emplearon muestras liofilizadas para el análisis, las cuales fueron homogenizadas por 120 minutos a temperatura ambiente. Respecto a los tubérculos sin piel, los valores de fenoles se encontraron en rangos de

149,80 y 2084,79 mg/100 g de muestra b.s., por otro lado, los tubérculos con piel obtuvieron valores entre 205,57 y 3301,30 mg/100 g de muestra b.s., estos valores reportados fueron inferiores a los obtenidos en la investigación; lo cual está relacionada principalmente con el tiempo de macerado que ocasionó la menor concentración de fenoles; por otro lado, los diez clones de papa nativa estudiados, se encuentran a nivel de cuarta y quinta generación desde el punto de vista de manejo agronómico, lo que conlleva a que todos sus componentes bioactivos se concentren.

Repo y Encina (2008), determinaron el contenido total de compuestos fenólicos de diversos frutos, reportando que la papaya de monte fue la fruta que presentó mayor contenido con un valor de 167 mg de equivalente ácido gálico/g de muestra b.s. (16700 mg GAE/100 g de muestra b.s.), este valor fue menor que los clones A, B, C, F y G; y mayor que los clones D, E, H, I, J y todos los purés instantáneos.

García (2011), evaluó los componentes fenólicos de clones promisorios de papa criolla (*Solanum phureja*), los resultados mostraron contenidos de fenoles totales entre 238,34 a 426,96 mg EAG/100 g b.s. presentando diferencias significativas entre clones y correlación respecto al color de la cáscara, estos valores son menores a los obtenidos en la investigación, siendo una de las razones, el color de la pulpa (compuestos antocianicos).

Kong *et al.*, (2012), determinaron el contenido total de compuestos fenólicos (TP), de doce variedades tradicionales de papas cultivadas en Chile, el contenido de TP se determinó por el método de Folin-Ciocalteu y varió en las muestras de papas sin piel desde 191 a 1864 mg GAE /100g b.s., mientras que en las muestras con piel estos valores variaron entre 345 a 2852 mg GAE / 100 g b.s, los resultados indicaron una mayor concentración de fenoles totales en la epidermis de las papas nativas chilenas. Por otro lado, los diez clones de papa nativa estudiados, presentaron mayor contenido de compuestos fenólicos totales, en comparación a las cultivadas en Chile, e incluso éstas son menores al producto procesado (puré instantáneo).

Almeida (2012), determinó el contenido total de compuestos fenólicos, y el contenido de antocianinas del colorante natural de maíz negro (*Zea mays* L), se registró mayor contenido de compuestos fenólicos en el extracto colorante de las corontas que fue de 277,34 mg GAE/g muestra b.s. (27734,00 mg GAE/100 g muestra b.s.) mientras que el extracto del grano de maíz negro presentó 193,85 mg GAE/g muestra b.s. (19385,00 mg GAE/100 g muestra b.s.), los resultados obtenidos en los clones de papas son inferiores a los extractos de las corontas, sin embargo el clon C presentó mayor contenido de fenoles respecto al extracto del grano de maíz negro. Asimismo, los purés reportaron valores inferiores comparados con extracto de coronta y grano de maíz negro.

Valencia *et al.*, (2013), determinaron la variación de los compuestos bioactivos: fenoles totales del fruto y producto procesado (néctar) de la zarzamora (*Rubus fruticosus* L.). Como materia prima la zarzamora presentó valores de 2234,15 mg GAE/100 g muestra b.s., sin embargo, por el proceso de pulpeado-refinado disminuyó a 2086,54 mg GAE/100

g muestra b.s., por el homogenizado a 974,86 mg GAE/100 g b.s., por el estandarizado a 914 mg GAE/100 g muestra b.s., y finalmente por el pasteurizado a 860,71 914 mg GAE/100 g muestra b.s., disminuyendo aproximadamente en 61,47%, mientras que los pures instantáneos disminuyeron aproximadamente entre 60,41 a 78,09%.

3.3 Antocianinas totales de clones de papa y puré

Los diez clones de papa nativa estudiados presentan diferentes coloraciones e intensidades de color lo cual está relacionado con la cantidad de antocianinas (pigmentos responsables del color de la pulpa). El contenido de antocianinas totales, disminuyó durante la elaboración del puré instantáneo.

En la Tabla 3, se muestran los resultados del contenido de antocianinas totales de los clones de papa nativa, se observa que el clon C es el que presenta mayor contenido de antocianinas $1154,37 \pm 0,19$ mg /100 g b.s., y el clon I fue el que presentó menor cantidad $2,61g \pm 0,03$, en el caso del puré instantáneo los clones C ($605,24 \pm 0,07$ mg /100 g b.s) y clon I ($1,91 \pm 0,00$ mg /100 g b.s) presentaron el mayor y menor valor respectivamente.

Clon	Contenido de antocianinas totales (mg/100 g de muestra en b.s.)		Porcentaje de disminución (%)
	Clon de papa nativa	Puré instantáneo	
	$\bar{x} \pm s$	$\bar{x} \pm s$	
A	$643,09^a \pm 0,13$	$194,74^a \pm 0,13$	69,71
B	$402,75^b \pm 0,58$	$165,92^b \pm 0,22$	58,80
C	$1154,37^c \pm 0,19$	$605,24^c \pm 0,07$	47,57
D	$305,21^d \pm 0,12$	$130,34^d \pm 0,05$	57,28
E	$194,73^e \pm 0,24$	$68,67^e \pm 0,01$	64,73
F	$307,26^d \pm 0,22$	$187,18^f \pm 0,48$	39,08
G	$1048,59^f \pm 0,83$	$372,71^g \pm 0,32$	64,45
H	$194,78^e \pm 0,94$	$122,75^h \pm 0,54$	36,98
I	$2,61^g \pm 0,03$	$1,91^i \pm 0,00$	26,54
J	$9,07^g \pm 0,10$	$6,91^i \pm 0,01$	23,80

Donde: \bar{x} es la media; s es la desviación estándar, las letras iguales significan que no hay diferencia significativa, evaluadas a través del test LSD, con $\alpha = 5\%$.

Tabla 3. Antocianinas totales

Los pigmentos de antocianinas son relativamente inestables, su mayor estabilidad ocurre bajo condiciones ácidas. La estabilidad de las antocianinas en los alimentos depende en gran medida de la temperatura. La degradación de las antocianinas ocurre no solo durante la extracción del tejido vegetal sino también durante el procesado y conservación de los alimentos (Fennema, 2010). Los tratamientos térmicos también, influyen marcadamente

en la destrucción de las antocianinas (Badui, 2006). Durante el procesamiento del puré, el contenido total de antocianinas disminuyó, debido a la temperatura y a diversos procesos tecnológicos como la cocción y el secado, que influyeron en la pigmentación de los clones; los colores y tonalidad de estos fueron diferentes unos de otros, variaron de un rosado pálido, a un morado intenso, es decir las antocianidinas (agliconas de antocianinas) presentes en los clones fueron diversos. Por ejemplo, el contenido de antocianinas ricas en agliconas de pelargonidina, cianidina o delfinidina, son menos estables que las antocianinas ricas en agliconas de petunidina o malvinidina, debido al bloqueo de los grupos hidroxilo, haciéndolas más resistentes a la degradación.

Gorriti *et al.*, (2009), determinaron el contenido total de antocianinas de las corontas del maíz morado (*Zea mays*), obtuvieron valores entre 35,233 mg/g coronta (3523,3 mg/100g b.s.) y 37,127 mg/g coronta (3712,7 mg/100 g b.s.), estos valores son superiores a los clones de papa nativa estudiados, cuyo máximo valor fue de 1154,37 mg/100 g para el clon C, se puede observar que el contenido es mayor, por la coloración que presentó el maíz morado (pigmentación morada oscura).

Almeida (2012), determinó el contenido de antocianinas del colorante natural de maíz negro (*Zea mays* L), reportó mayor contenido de antocianinas para el extracto colorante de las corontas con un valor de 22,68 mg/g de muestra b.s. (2268,00 mg/100 g muestra b.s.), mientras que para el extracto del grano de maíz negro presento 13,92 mg/ g muestra b.s. (1392 mg/g muestra b.s.) Asociados a la pigmentación, estos valores del colorante natural de maíz negro son superiores a los clones de papa nativa estudiados, cuyo máximo valor fue de 1154,37 mg/100 g para el clon C.

3.4 Análisis por cromatografía líquida de alta eficiencia (hplc) en clones de papa nativa

El análisis cromatográfico se realizó en el espectro UV 370 para el análisis de fenoles y en el espectro UV 520 para antocianinas. El perfil cromatográfico, tanto para fenoles y antocianinas fue muy diverso, se compararon con patrones de antocianidinas (cianidina, pelargonidina, delfinidina, peonidina, malvidina y petunidina), y para fenoles (ácido clorogénico, ácido cafeico y ácido rosmarinico), que no pudieron identificarse.

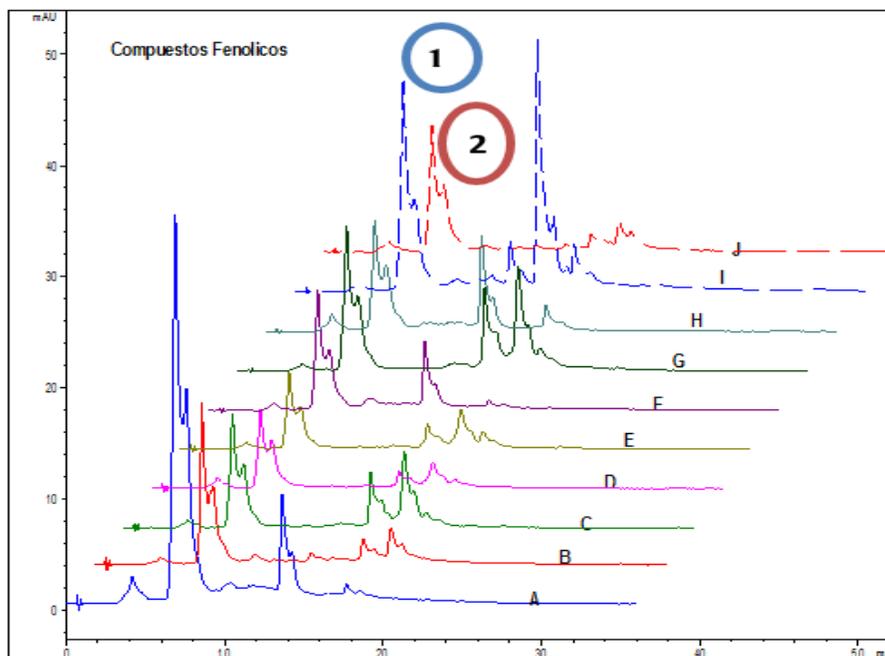


Figura 1: Comparación de los compuestos fenólicos de los clones de papa nativa.

Los clones de papa nativa estudiados, según el perfil cromatográfico de la Figura 1, presentaron el mismo compuesto fenólico 1, siendo el clon A, el de mayor abundancia con un área de 48,32% y un tiempo de retención de 6,775 min, seguido por el clon J (pigmentación amarillo oscuro) con un área de 44,57 % y un tiempo de retención (TR) de 6,78 min, y finalmente el clon I con un área de 31,47 % y un tiempo de retención de 6,765 min. El compuesto fenólico 2, también está presente en los clones de papa nativa, siendo el clon A, el de mayor área con 32,54 % y un TR igual a 7,48 min; los demás compuestos fenólicos obtenidos tras el análisis del HPLC, fueron diferentes para cada uno de los clones. El compuesto fenólico 1, fue el que presentó mayor porcentaje de área o abundancia en los clones de papa nativa, en comparación al compuesto fenólico 2, ambos compuestos fenólicos no fueron identificados.

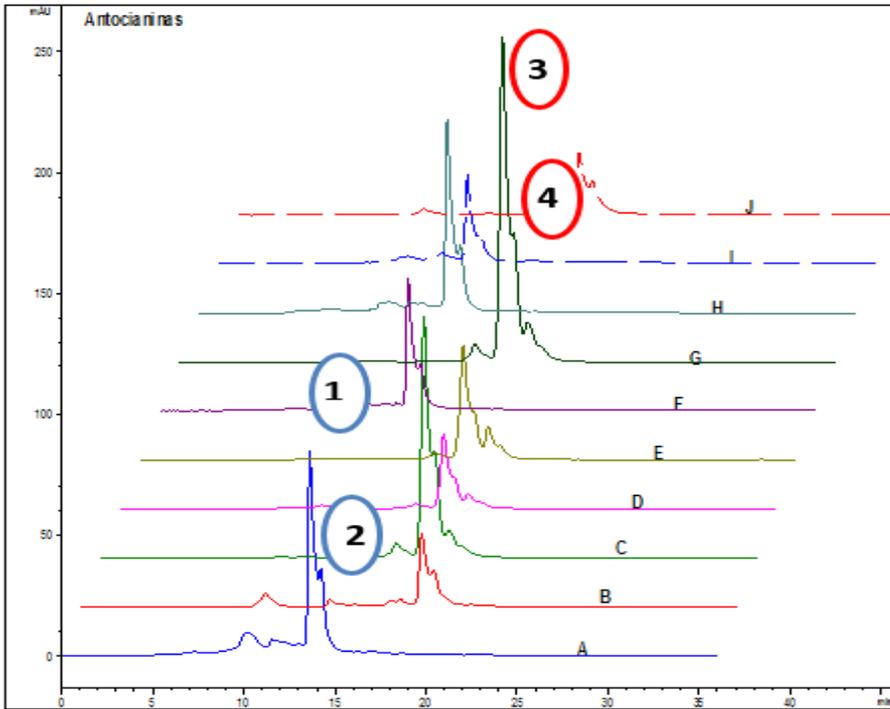


Figura 2: Comparación de los compuestos antocínicos de los clones de papa nativa.

Con respecto al análisis de antocianinas el perfil cromatográfico se muestra en la Figura 2, la antocianidina 1, estuvo presente en los clones denominados A (% Área=63,09 % y TR = 13,52 min), F (% Área=63,07 % y TR = 13,52 min), H (% Área = 74,88 % y TR = 13,51 min) e I (% Área = 65,57 % y TR = 13,52 min), siendo el clon H, el que presentó mayor cantidad de antocianidina 1 seguido por el clon A, al comparar el pico y el tiempo de retención de esta antocianidina con el patrón, no se logró identificar.

Los clones denominados A (% Área = 24,97 % y TR = 14,143 min), F (% Área = 21,70 % y TR = 14,20 min), H (% Área = 25,12 % y TR = 14,22 min) e I (% Área = 22,93 % y TR = 14,24 min), según el perfil cromatográfico presentan la antocianidina 2, que al ser comparada con el patrón de la antocianidina pelargonidina, presentaron similitud, es por ello que se trata de esta antocianidina.

Los clones B, C, D, E y G, contienen la antocianidina 3, siendo el clon C, el de mayor abundancia (% Área = 65,45 % y un TR = 17,63 min), seguido del denominado G (% Área = 62,95 % y TR = 17,62 min), y siendo el clon B, con menor abundancia, esta antocianidina 3, al ser comparada con los patrones, y teniendo en cuenta el tiempo de retención, presentó similitud con el patrón de la antocianidina peonidina.

La antocianidina 4, al igual que la antocianidina 3 estuvo presente en el perfil cromatográfico de los clones de papa nativa denominados B (% Área = 27,00 y TR = 19,25

min), C (% Área = 24,33 y TR = 18,22 min), D (%Área = 17,38 y TR = 18,202 min) y G (% Área = 20,41 y TR = 18,23 min), probablemente se trate de la antocianidina cianidina, ya que los picos de los clones que la contienen, presentan similitud con el patrón; esta antocianidina se encuentra en menor cantidad que la antocianidina 3, en los clones B, C, D y G.

Kuskoski *et al.*, (2004), evaluó los compuestos fenólicos y antociánicos de los frutos tropicales silvestres y pulpas de frutas congeladas; el extracto de baguacu, además de presentar elevada concentración de antocianinas, presentó los principales pigmentos como la delfinidina 3-glicosido (17,9 %), cianidina 3-glicosido (1,8 %), petunidina 3-glicosido (15,9 %), pelargonidina 3-glicosido (15,9 %), peonidina 3-glicosido (11,7 %) y malvidina3-glicosido (27,1 %), en el perfil cromatográfico de los diez clones de papa nativa, es probable que se encuentren las antocianidinas pelargonidina, peonidina y cianidina, el clon denominado H, fue el que presento mayor abundancia, o mayor porcentaje de área de la antocianidina pelargonidina (25,12%), asimismo se observa que la antocianidina 3, es la peonidina, y el clon C, es el que mayor porcentaje presentó con 65,45 %, en ambos casos los valores son superiores a los reportados por Kuskoski para el extracto de baguacu.

4 | CONCLUSIONES

Se determinó la capacidad antioxidante, compuestos fenólicos y antocianinas totales en todos los clones de papa nativa y purés, siendo el clon C el que presento los valores mayores.

Los valores de la capacidad antioxidante, fenoles y antocianinas totales en los clones de papa nativa y purés, disminuyeron al ser sometidos a procesos tecnológicos. Observándose qué la capacidad antioxidante y los compuestos fenólicos totales fueron los que más disminuyeron en comparación con el contenido de antocianinas.

El análisis por HPLC permitió identificar la presencia de las antocianidinas: pelargonidina, peonidina y cianidina, en el caso de los fenoles no se logró identificarlos.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional José María Arguedas.

REFERENCIAS

Romero F., Chávez K., Bejarano E., Moreno J. (2010). **Determinación del uso potencial de 56 variedades de papa nativa Colombianas del Banco Germoplasma administrado por CORPOICA a partir de sus propiedades físicas, fisicoquímicas y culinarias.** Ingeniería de Alimentos, de la Universidad de La Salle, Colombia.

Brand-Williams, et al., (1995). **Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity.** Food Sci Technol.; 20(1); 25-30.

- Singleton, et al., (1999). **Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of the Folin–Ciocalteu reagent.** Meth Enzymol,
- Giusti, et al. (2001). Characterization and measurement with UVvisible spectroscopy”, Current protocols in food analytical chemistry, John Wiley & Sons, Inc.
- García A. (2011). **Evaluación in vitro/in vivo de propiedades antioxidantes de clones promisorios de papa criolla (*Solanum phureja*).** Tesis de maestría no publicada, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia. (<http://www.bdigital.unal.edu.co/8675/>).
- Fuenzalida N. (2008). **Determinación de la cantidad de fenoles totales y la actividad antioxidante en papas nativas pigmentadas.** Tesis para el grado de Licenciado en Agronomía no publicada, Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile.
- Repo D., Encima Z. (2008). **Determinación de la capacidad antioxidante y compuestos bioactivos de frutas nativas peruanas.** Revista de la sociedad química del Perú, 2, 279-296. (http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S1810-634X2008000200004&script=sci_arttext).
- Ah-Hen, Kong, Fuenzalida, Carolina, Hess, Susan, Contreras, Andrés, Vega-Gálvez, Antonio, & Lemus-Mondaca, Roberto. (2012). **Antioxidant Capacity and Total Phenolic Compounds of Twelve Selected Potato Landrace Clones Grown in Southern Chile.** Chilean journal of agricultural research, 72(1), 3-9. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-58392012000100001>
- Almeida J. (2012). **Extracción y caracterización del colorante natural de maíz negro (*Zea mays L*) y determinación de su capacidad antioxidante.** Tesis para optar el título de Ingeniería Agroindustrial, no publicada, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.
- Valencia S., Guevara P. (2013). **Variación de la capacidad antioxidante y compuestos bioactivos durante el procesamiento del néctar de zarzamora (*Rubus fruticosus L.*).** Revista de la Sociedad Química del Perú, 79(2), 26-34. (http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S1810-634X2013000200004&script=sci_arttext)
- Fennema, O. (2010). **Química de los Alimentos.** México: Editorial. ACRIBIA, S.A. Zaragoza.
- Badui S. (2006). **Química de los alimentos.** México: Editorial PEARSON.
- Gorriti G., Arrollo A., Negron B., Jurado T., Purizaca LL., Santiago A., Taype E., Quispe J. (2009). **Antocianinas, fenoles totales y actividad antioxidante de las corontas del maíz morado (*Zea mays L.*).** Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas, 8 (6), 509 – 518. (<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=85617461006>)
- Kuskoski E., Asuero A., Troncoso A., Mancini-Filho A., Fett R. (2004). **Aplicación de diversos métodos químicos para determinar actividad antioxidante en pulpa de frutos.** Ciencia y Tecnología de Alimentos, 25(4), 726-732. (<http://www.scielo.br/pdf/cta/v25n4/27642.pdf>).

SOBRE O ORGANIZADOR

CARLOS AUGUSTO ZILLI - Possui graduação em Engenharia Civil e Matemática pela Universidade do Sul de Santa Catarina - UNISUL (2015 e 2005). É doutorando em Engenharia e Gestão do Conhecimento pela Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC (2021) e mestre em Engenharia de Transportes e Gestão Territorial pela Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC (2020). Possui especialização em Avaliação de Imóveis e Perícias de Engenharia pelo Instituto de Pós-Graduação - FAPAN (2018), em Gestão de Obras e Projetos pela Universidade do Sul de Santa Catarina - UNISUL (2017), e em Engenharia de Segurança do Trabalho pelo Centro Universitário de Capivari - FUCAP (2016). É docente no Instituto Federal de Educação de Santa Catarina (IFSC) - Campus São Carlos. Possui experiência na área de Matemática, com ênfase em Educação Matemática e em Engenharia de Avaliações e Perícias, com ênfase em Inferência Estatística. Tem interesse em temas relacionados à Ciência de Dados, Engenharia de Avaliações e Planta de Valores Genéricos.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Absorção sonora 1, 2, 3, 7, 8, 9, 10, 11, 12

Aditivos químicos 113

Aerodesign 127, 128, 132, 144, 145

Antocianinas 180, 181, 183, 184, 185, 186, 187, 189, 190, 191

Argissolo 113, 115, 117, 118, 119

Arrasto 127, 128, 129, 130, 134, 135, 137, 138, 140, 144

Auditores de barragens 102

B

Bancada experimental 146, 150, 151, 152, 153, 156, 163, 164, 165

Boas práticas de fabricação 68, 69, 70

C

Cambissolo 113, 115, 117, 118, 119

Capacidade antioxidante 180, 182, 183, 184, 190, 191

Caracterização 74, 75, 113, 116, 117, 119, 146, 152, 167, 168, 171, 174, 175, 177

Carregamento equivalente 29, 31, 32, 39, 40, 41

Certificação 102, 105

Clones de papa nativa 180, 181, 182, 183, 184, 185, 186, 187, 188, 189, 190

Concreto armado 43, 44, 46, 55, 56, 57, 59

Curva granulométrica 2, 6, 10, 11, 12

D

Desempenho acústico 58, 59, 60, 63, 64, 65, 66

DFMEA 14, 18, 20, 21, 25, 27, 28

Diagrama de velocidades 146, 149, 156, 162

Dimensionamento à flexão 43

Distribuição das cordoalhas 29, 34, 36, 39

E

Epidemiologia 80, 84

Escoamento 30, 31, 129, 130, 131, 132, 133, 134, 140, 144, 147, 148, 149, 150, 154, 156, 158, 161, 162, 164, 166

Estruturas portuárias 43, 44

F

Fenoles 180, 182, 183, 184, 185, 187, 190, 191

FMEA 14, 18, 20, 28

I

Incêndio 43, 44, 45, 46, 47, 49, 50, 52, 53, 54, 56, 57

Indústria farmacêutica 68, 69

Internet das coisas 68

Investimentos públicos 85, 99

L

Laje lisa 29

Latossolo vermelho 113, 115, 117, 118, 119

M

Madeiras tropicais 168, 169

Mistura asfáltica 2, 3, 4, 5, 9, 10, 11

Mobilidade urbana 120, 121, 123, 125

Modelo de correlação 85, 87

O

Open PLET 14, 28

P

Painéis de vedação vertical 58

Painel de baixa densidade 71, 76

Painel reconstituído 71, 72, 73, 75, 76

Perfis aerodinâmicos 127, 128, 136, 140

Plástico-madeira 71, 73, 74, 75, 76

Policloreto de vinila 71, 72, 73

Políticas de incentivo 120, 121

Políticas públicas 82, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 94, 95, 96, 99, 100, 101, 125

Preservação 167, 168, 170, 177, 178, 179

Propriedades físico-mecânicas 167, 168, 169, 170, 171, 177

Protensão sem aderência 29

Q

Quantidade de movimento 147, 148, 156, 158, 160, 161

R

Ruído 2, 3, 8, 12, 13, 58, 59, 60, 63, 64, 65, 66, 147, 159, 164

Rupturas de barragens 102, 103

S

Saneamento básico 78, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101

Senioridade 102, 107

Sistemas embarcados 68

Structural analysis 14

T

Transporte aquaviário 120

Transporte urbano 120, 124, 125, 126

Turbomáquinas 146, 147, 148, 149, 156, 158, 160, 161, 162

V

Variáveis 69, 70, 85, 87, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100

Ventilador centrífugo 146, 147, 149, 150, 151, 152, 153, 154, 156, 157, 158, 159, 163, 164, 165, 166

W

Wood frame 58, 59, 60, 61, 65, 67

X

XFLR5 127, 128, 131, 134, 135, 136, 137, 139, 144, 145

DESAFIOS E IMPACTO DAS ENGENHARIAS NO BRASIL E NO MUNDO

 www.atenaeditora.com.br
 contato@atenaeditora.com.br
 [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
 www.facebook.com/atenaeditora.com.br

DESAFIOS E IMPACTO DAS ENGENHARIAS NO BRASIL E NO MUNDO

 www.atenaeditora.com.br
 contato@atenaeditora.com.br
 [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
 www.facebook.com/atenaeditora.com.br