

# Engenharias:

Da Genialidade à Profissão e  
seu Desenvolvimento

João Dallamuta  
Henrique Ajuz Holzmann  
Rennan Otavio Kanashiro  
(Organizadores)



**Atena**  
Editora

Ano 2021

# Engenharias:

Da Genialidade à Profissão e  
seu Desenvolvimento

João Dallamuta  
Henrique Ajuz Holzmann  
Rennan Otavio Kanashiro  
(Organizadores)



**Atena**  
Editora

Ano 2021

**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 Cremona

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. Elói 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  
Profª Drª Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás  
Profª Drª Daniela Reis Joaquim de Freitas – Universidade Federal do Piauí  
Profª Drª Débora Luana Ribeiro Pessoa – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Douglas Siqueira de Almeida Chaves – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri  
Profª Drª Elizabeth Cordeiro Fernandes – Faculdade Integrada Medicina  
Profª Drª Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília  
Profª Drª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina  
Profª Drª Eysler Gonçalves Maia Brasil – Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira  
Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Profª Drª Fernanda Miguel de Andrade – Universidade Federal de Pernambuco  
Prof. Dr. Fernando Mendes – Instituto Politécnico de Coimbra – Escola Superior de Saúde de Coimbra  
Profª Drª Gabriela Vieira do Amaral – Universidade de Vassouras  
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. Helio Franklin Rodrigues de Almeida – Universidade Federal de Rondônia  
Profª Drª Iara Lúcia Tescarollo – Universidade São Francisco  
Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. Jefferson Thiago Souza – Universidade Estadual do Ceará  
Prof. Dr. Jesus Rodrigues Lemos – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Dr. Jônatas de França Barros – Universidade Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Prof. Dr. Luís Paulo Souza e Souza – Universidade Federal do Amazonas  
Profª Drª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. Marcus Fernando da Silva Praxedes – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Profª Drª Maria Tatiane Gonçalves Sá – Universidade do Estado do Pará  
Profª Drª Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma  
Profª Drª 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  
Profª Drª Regiane Luz Carvalho – Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino  
Profª Drª Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora  
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª 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  
Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie  
Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás  
Profª Drª 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  
Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará  
Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho  
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande

Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá  
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



## Engenharias: da genialidade à profissão e seu desenvolvimento

**Bibliotecária:** Janaina Ramos  
**Diagramação:** Camila Alves de Cremo  
**Correção:** Flávia Roberta Barão  
**Edição de Arte:** Luiza Alves Batista  
**Revisão:** Os Autores  
**Organizadores:** João Dallamuta  
Henrique Ajuz Holzmann  
Rennan Otavio Kanashiro

### Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

E57 Engenharia: da genialidade à profissão e seu desenvolvimento / Organizadores João Dallamuta, Henrique Ajuz Holzmann, Rennan Otavio Kanashiro. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2021.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5983-071-8

DOI 10.22533/at.ed.718211205

1. Engenharia. I. Dallamuta, João (Organizador). II. Holzmann, Henrique Ajuz (Organizador). III. Kanashiro, Rennan Otavio (Organizador). IV. 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](http://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

Neste livro optamos por uma abordagem multidisciplinar por acreditarmos que esta é a realidade da pesquisa em nossos dias.

A realidade é que não se consegue mais compartimentar áreas do conhecimento dentro de fronteiras rígidas, com a mesma facilidade do passado recente. Se isto é um desafio para trabalhos de natureza mais burocrática como métricas de produtividade e indexação de pesquisa, para os profissionais modernos está mescla é bem-vinda, porque os desafios da multidisciplinariedade estão presentes na indústria e começam a ecoar no ambiente mais ortodoxo da academia.

Aos pesquisadores, editores e aos leitores para quem, em última análise todo o trabalho é realizado, agradecemos imensamente pela oportunidade de organizar tal obra.

Boa leitura!

João Dallamuta

Henrique Ajuz Holzmann

Rennan Otavio Kanashiro

## SUMÁRIO

### **CAPÍTULO 1..... 1**

#### **ANALYSIS OF ELEVATOR HINGE MOMENT IN AN UNMANNED AERIAL VEHICLE DESIGNED FOR SAE AERODESIGN COMPETITION USING CFD SIMULATION**

Bruno Santos Junqueira  
Daniel Coelho de Oliveira  
Turan Dias Oliveira  
Vinícius Carneiro Rios Machado

**DOI 10.22533/at.ed.7182112051**

### **CAPÍTULO 2..... 10**

#### **ANÁLISE DE ESTABILIDADE DE UM AEROMODELO ATRAVÉS DO SOFTWARE XFLR5**

Marcos Paulo Azevedo  
Igor Felice Souza Mosena  
Renato de Sousa Maximiano  
Erika Peterson Gonçalves

**DOI 10.22533/at.ed.7182112052**

### **CAPÍTULO 3..... 18**

#### **IDENTIFICAÇÃO DOS PRINCIPAIS ATRIBUTOS PARA O PROJETO DE UMA REDE CICLOVIÁRIA**

Taiany Richard Pitilin  
Luciana Mação Bernal  
Otavio Henrique da Silva  
Suely da Penha Sanches

**DOI 10.22533/at.ed.7182112053**

### **CAPÍTULO 4..... 32**

#### **ANÁLISE DE INFRAESTRUTURA FERROVIÁRIA UTILIZANDO AS FERRAMENTAS DE ECOEFICIÊNCIA**

Filipe Batista Ribeiro  
Bruno Guida Gouveia  
Filipe Almeida Corrêa do Nascimento  
Marcelino Aurélio Vieira da Silva  
Antônio Carlos Rodrigues Guimarães  
Priscila Celebrini de Oliveira Campos

**DOI 10.22533/at.ed.7182112054**

### **CAPÍTULO 5..... 49**

#### **DETERMINAÇÃO DO TEMPO DE PASSAGEM EM JORNADA de SERVIÇO DE MAQUINISTAS**

Marina Donato  
Caio Almeida Arêas Reis  
Paulo Roberto Borges  
Mayara Souza Gomes  
Débora Dávila Cruz Santos

Ana Flávia Moraes de Souza

**DOI 10.22533/at.ed.7182112055**

**CAPÍTULO 6..... 63**

**PROJETO DE UM SISTEMA AUTÔNOMO PURO CC DE BAIXO CUSTO UTILIZANDO ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA**

Eliamare Alves da Silva

Danilo Medeiros de Almeida Cardins

Lizandra Vitória Gonçalves dos Santos

Kelvonn Henrique Matos de Oliveira Xavier

Jalberth Fernandes de Araújo

**DOI 10.22533/at.ed.7182112056**

**CAPÍTULO 7..... 75**

**APLICABILIDADE DE GEOSSINTÉTICOS EM OBRAS DE ENGENHARIA**

Marcus Gabriel Souza Delfino

Juliângelo Kayo Sangi de Oliveira

Gabriela Callegario Santolin

**DOI 10.22533/at.ed.7182112057**

**CAPÍTULO 8..... 87**

**ESTABILIZAÇÃO DE UM SOLO PLÁSTICO COM O USO DO RESÍDUO DE GESSO ACARTONADO DA INDÚSTRIA DE DRYWALL PARA APLICAÇÃO EM PAVIMENTAÇÃO**

Lourena Ferreira Uchôa

Lilian Medeiros Gondim

**DOI 10.22533/at.ed.7182112058**

**CAPÍTULO 9..... 102**

**POTENCIAL DA APLICAÇÃO DE RESÍDUOS PLÁSTICOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL: ALTERNATIVAS E SUSTENTABILIDADE**

Aline Viancelli

Antônio Cristiano Lara Sampaio

Christian Antônio dos Santos

Daniel Celestino Fornari Bocchese

Denilson Lorenzatto

Helton Araujo Couto Carneiro

Luiz Fernando Broetto

Patrícia Aparecida Zini

Paula Roberta Silveira Málaga

Robison Ranieri Martins

Thiago Demczuk

William Michelin

**DOI 10.22533/at.ed.7182112059**

**CAPÍTULO 10..... 109**

**THE PILOTIS AS SOCIOSPATIAL INTEGRATOR: THE URBAN CAMPUS OF THE CATHOLIC UNIVERSITY OF PERNAMBUCO**

Andreyra Raphaella Sena Cordeiro de Lima

Maria de Lourdes da Cunha Nóbrega

Robson Canuto da Silva

**DOI 10.22533/at.ed.71821120510**

**CAPÍTULO 11..... 124**

**DESAFIOS DO MUNICÍPIO DE SÃO DESIDÉRIO PARA PROMOÇÃO DO DIREITO AO SANEAMENTO BÁSICO SOB A ÓTICA DA POLÍTICA PÚBLICA MUNICIPAL**

Amanda dos Santos Carteado Silva

Luiz Roberto Santos Moraes

**DOI 10.22533/at.ed.71821120511**

**CAPÍTULO 12..... 132**

**DEGRADAÇÃO DE FACHADAS COM REVESTIMENTO CERÂMICO EM BRASÍLIA: ESTUDO DE CASO**

Lukas Augusto Moreira

Nathaly Sarasty Narváez

Vanessa Nupán Narváez

**DOI 10.22533/at.ed.71821120512**

**CAPÍTULO 13..... 151**

**EFEITO DE VARIÁVEIS-CHAVE DA MISTURA SOLO-CIMENTO NA DOSAGEM FÍSICO-QUÍMICA E COMPORTAMENTO MECÂNICO PARA BASE DE PAVIMENTOS**

José Wilson dos Santos Ferreira

Diego Manchini Milani

Michéle Dal Toé Casagrande

Raquel Souza Teixeira

**DOI 10.22533/at.ed.71821120513**

**CAPÍTULO 14..... 165**

**SERENS: DISCUTINDO O PRESENTE PARA TRAÇAR O FUTURO**

Rosângela de Araújo Santos

Teresinha de Quadros Guilherme dos Santos

Jarbas Cordeiro Sampaio

Ernando Ferreira

Elisa Cristina de Barros Casaes

Aline Rita Pereira Hohenfeld

Eleilson Santos Silva

**DOI 10.22533/at.ed.71821120514**

**CAPÍTULO 15..... 175**

**DIRT AND ABSORPTION TESTS IN PROTECTIVES FILMES APPLIED TO PHOTOVOLTAIC PANELS: A SYSTEMATIC REVIEW**

Luciano Teixeira dos Santos

Alex Álisson Bandeira Santos

Joyce Batista Azevedo

Paulo Roberto Freitas Neves

**DOI 10.22533/at.ed.71821120515**

<b>CAPÍTULO 16.....</b>	<b>183</b>
<b>DISPOSITIVOS PARA DETERMINAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE CRISTAIS DE GELO EM SOLUÇÃO DE GELO LÍQUIDO</b>	
Ricardo Santos Nascimento	
Rennan Yie Yassu Nishimori	
Vivaldo Silveira Junior	
<b>DOI 10.22533/at.ed.71821120516</b>	
<b>CAPÍTULO 17.....</b>	<b>196</b>
<b>VISÃO GERAL DOS INIBIDORES BIFUNCIONAIS A BASE DE TERRAS RARAS E SUAS APLICAÇÕES</b>	
Célia Aparecida Lino dos Santos	
Fabiana Yamasaki Vieira Martins	
Rafael Augusto Camargo	
Zehbour Panossian	
<b>DOI 10.22533/at.ed.71821120517</b>	
<b>CAPÍTULO 18.....</b>	<b>211</b>
<b>VARIABILIDADE GENÉTICA EM PROGÊNIES DE <i>Parkia platycephala</i> Benth</b>	
Dandara Yasmim Bonfim de Oliveira Silva	
Séfora Gil Gomes de Farias	
Lucas Ferraz dos Santos	
Romário Bezerra e Silva	
Moema Barbosa de Sousa	
Graziele Nunes Lopes dos Santos	
<b>DOI 10.22533/at.ed.71821120518</b>	
<b>CAPÍTULO 19.....</b>	<b>224</b>
<b>LAPSUS TRÓPICUS E A DIALÉTICA DO ANTROPOCENO</b>	
Karen Aune	
<b>DOI 10.22533/at.ed.71821120519</b>	
<b>CAPÍTULO 20.....</b>	<b>240</b>
<b>TESTES DE CISALHAMENTO SIMPLES PARA ANÁLISE DA INTERFACE ADESIVA CONCRETO/ PRF ATRAVÉS DE ESTUDOS NUMÉRICOS</b>	
Maicon de Freitas Arcine	
Nara Villanova Menon	
<b>DOI 10.22533/at.ed.71821120520</b>	
<b>SOBRE OS ORGANIZADORES .....</b>	<b>259</b>
<b>ÍNDICE REMISSIVO.....</b>	<b>260</b>

# CAPÍTULO 1

## ANALYSIS OF ELEVATOR HINGE MOMENT IN AN UNMANNED AERIAL VEHICLE DESIGNED FOR SAE AERODESIGN COMPETITION USING CFD SIMULATION

*Data de aceite:* 03/05/2021

*Data de submissão:* 29/01/2021

### **Bruno Santos Junqueira**

Centro Universitário SENAI CIMATEC  
Salvador – Bahia  
<http://lattes.cnpq.br/5412974654317844>

### **Daniel Coelho de Oliveira**

Centro Universitário SENAI CIMATEC  
Salvador – Bahia  
<http://lattes.cnpq.br/9774468210981778>

### **Turan Dias Oliveira**

Departamento de Energia, SENAI CIMATEC  
Salvador – Bahia  
<http://lattes.cnpq.br/7990083155534548>

### **Vinicius Carneiro Rios Machado**

Centro Universitário SENAI CIMATEC  
Salvador – Bahia  
<http://lattes.cnpq.br/0428390431551939>

**ABSTRACT:** This study had the general objective to analyze the resulting values of hinge moment in the elevator for the PM-03 project, of an unmanned aerial vehicle, dedicated for participation in the SAE Aero Design 2020 Competition. From 2D CAD modeling of surfaces using Solidworks, the hinge moment was analyzed in Ansys Fluent after generating an appropriate mesh and adjusting the initial flow settings. The validation of the CFD analysis was performed by comparing experimental results from another study and using USAF Datcom data and correlations. The results

obtained by CFD and USAF DATCOM diverge, however, those allows to correctly estimate the order of magnitude of the hinge moment, allowing an optimized selection of the servo motor for the project.

**KEYWORDS:** Hinge moment; CFD analysis; numerical simulation; Aerodesign.

### ANÁLISE DO MOMENTO DE ARTICULAÇÃO DO PROFUNDOR DE UM VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO PROJETADO PARA A COMPETIÇÃO SAE AERODESIGN USANDO SIMULAÇÃO CFD

**RESUMO:** Este estudo teve como objetivo geral analisar os valores resultantes de hinge moment no profundor para o projeto PM-03, de um veículo aéreo não tripulado, dedicado para participação na Competição SAE Aero Design 2020. A partir da modelagem CAD 2D das superfícies usando Solidworks, o hinge moment foi analisado no Ansys Fluent após a geração de uma malha apropriada e ajustando-se as configurações iniciais de escoamento. A validação da análise CFD foi efetuada comparando-se resultados experimentais de outro estudo e através de dados e correlações do USAF Datcom. Os resultados obtidos pelo CFD e pelo USAF Datcom divergem, no entanto, permitem estimar corretamente a ordem de magnitude do hinge moment, permitindo uma seleção otimizada do servo motor para o projeto.

**PALAVRAS-CHAVE:** Momento de articulação; análise CFD; simulação numérica; Aerodesign.



## 1 | INTRODUCTION

During the development of an aeronautical project to participate in the SAE BRASIL Aerodesign Competition, one of the activities to be performed by the participating teams consists in the project and evaluation of the aircraft's Stability and Control. Summarily, the stability project must include the determination of the plane's center of gravity (G.C.), followed by a sizing process of the horizontal and vertical stabilizers so that, after a complete analysis, its ability to return to its flight equilibrium state after a disturbance, the so-called static stability, can be ensured. The stability analysis is addressed separately for the three axes adopted by the aeronautical industry: longitudinal, vertical and lateral (RODRIGUES, 2014).

In most cases, an aircraft designed to participate in the SAE Aerodesign Competition have the deflection of the surfaces driven by a micro-servo motor. This actuator must overcome an existing moment around the articulation axis (hinge) of the control surface in question, the hinge moment. The hinge moment is caused by the resulting aerodynamic forces acting on the pressure center of the control surface, as explained by Pamadi (1998). The dimensionless coefficient for the hinge moment is obtained by equation 1 below:

$$C_h = C_{h\alpha}\alpha + C_{h\delta}\delta \quad (1)$$

In the above equation,  $C_h$  is the dimensionless coefficient of the hinge moment,  $C_{h\alpha}$  is the rate of change of  $C_h$  with the angle of attack,  $C_{h\delta}$  is the rate of change of  $C_h$  with the deflection,  $\alpha$  is the angle of attack of the wing in which the surface is coupled and  $\delta$  represents deflection of the control surface. In this project case, the hinge moment is evaluated by fixing the control surface at its critical deflection, causing the highest resulting moment.

The ability to estimate the magnitude of the hinge moment is important in the execution of an aircraft project, since it allows to optimize the selection of the micro-servo motor. The eventual oversizing of this component in an attempt to supply the required torque may result in undesirable volume, energy consumption, weight and increase in the final price of the actuator. However, as approached by NELSON (1998), the parameters  $C_{h\alpha}$  and  $C_{h\delta}$  to obtain the hinge moment coefficient of equation 1 above are difficult to be analytically predicted and, in general, are evaluated through experimental results of tests in wind tunnels. With the advances of the last decades in modeling by computational fluid dynamics (CFD), there is also the possibility of reproducing the design conditions, such as the geometry of the control surface, the angle of attack and the positioning of the articulation axis and simulating the real flow conditions. Typically, the results are used to guide the sizing and positioning of the surfaces still in the design phase and must later be validated with test data in a wind tunnel with a model.

Starting from these initial considerations, it is proposed as a general objective of the

present study, to analyze the values resulting from hinge moment in the elevator for the PM-03 unmanned aerial vehicle (UAV) project, of the Prometheus Aerodesign team of SENAI CIMATEC, destined to participate in the SAE BRASIL Aerodesign 2020 Competition. The specific objectives to be accomplished to carry out this analysis are: 1) to model the middle sections of the horizontal stabilizer and elevator using computer-aided design (CAD); 2) evaluate the resulting hinge moment in the elevator applying the CFD method; 3) validate the CFD results through correlations with bibliographic experimental data and other studies.

## 2 | METHODOLOGY

### 2.1 CAD Modeling

Using the CAD modeling feature of Solidworks, the two-dimensional geometries of the plane's elevator and horizontal stabilizer (figure 3 below) were created using the 'Surface' feature of the software, based on the dimensions shown in Table 1 below. The 2D modeling for the simulation is consistent because the data and correlations for aerodynamics characteristics used for comparison in step 2.3, CFD validation, are also applied for 2D middle sections, and later, the resulting moment is obtained by multiplying the value found by the span of the control surface.

Characteristic Dimension	Elevator	Elevator + Stabilizer
Mean Aerodynamic Chord (mac)	0.12 m	0.35 m
Aspect Ratio	6.58	2.3
Wingspan	0.8 m	0.8 m
Surface Area	0.1 m <sup>2</sup>	0.28 m <sup>2</sup>
Hinge line position (% mac)	16.67%	71.74%

Table 1. Characteristic Dimensions of the Elevator

### 2.2 CFD Analysis

To perform the simulations, the CFD analysis feature of the ANSYS 18.1 software was used, through the Fluent tool. In the first stage of the analysis, it was necessary to define the geometry of the control surfaces, for this purpose the 2D elevator and stabilizer were imported into the Design Modeler.

With the imported surfaces, the domain for the evaluated flow was created, with the borders having a distance of 12.5 times the characteristic chord formed by the stabilizer and elevator. The type of mesh chosen for the analysis was hexahedral, as this allows an optimization of the fluid flow direction. As a quality criterion for forming the mesh, proximity to the real shape of the control surfaces was used. With that, it was possible to guarantee that the curves on the surface borders were preserved, avoiding the appearance of wedges

in the simulation geometry, which can interfere considerably in the results.

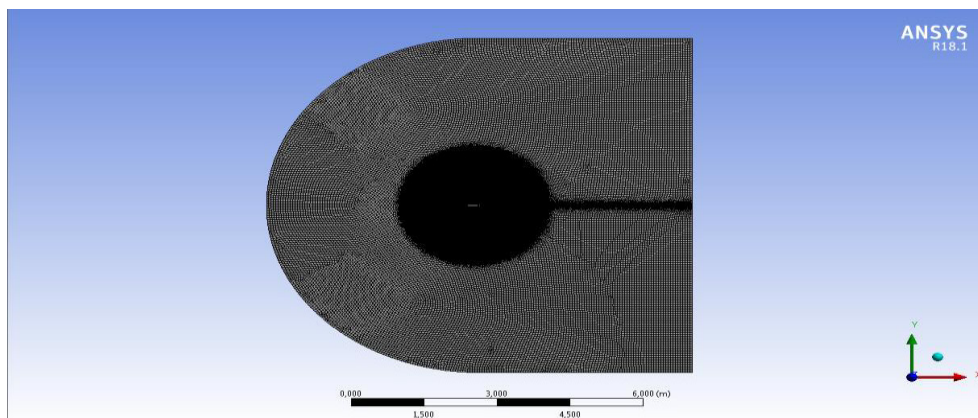


Figure 1. Simulations domain

In the stage of setting the simulation conditions, which occurs after the definition of the meshes, the parameters for the simulation were inserted. The resolution model for turbulence adopted was Spalart-Allmaras, this model being recommended for aerospace applications and for requiring less computational resources and resolution time (MONK; CHADWICK, 2017), considering that the team does not have computers that can dedicate themselves only to simulations for long periods of time, the application of this model being justified. For the simulation, the following configurations were considered:

Parameters	Values
Relative Velocity (V)	13.6 m/s
Elevator Deflection ( $\delta_e$ )	20°
Maximum air attack angle over the aircraft ( $\alpha_w$ )	19.11°
Resulting air attack angle on the horizontal stabilizer ( $\alpha_s$ )	8.25°
Residual Error of the Monitored Values	1 e -03

Table 2. Parameters utilized in the calculations and simulations

The representation of the hinge moment to be found can be seen in figure 3 below, as well as the angle of deflection of the elevator ( $\delta_e$ ) and the angle of attack in the horizontal stabilizer ( $\alpha_s$ ).

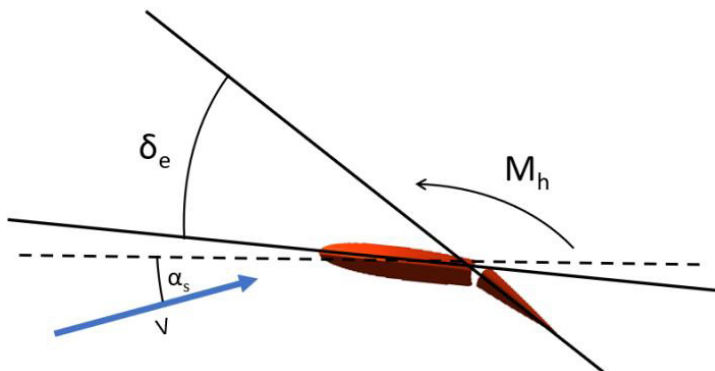


Figure 2. Resulting air flow over the tail

The flight parameters in the Table 2 above were considered for the analysis, once they are resultant from the most critical possible situation for the elevator control: the airplane is in a dive speed ( $V$ ) and the elevator is totally deflected upward ( $\delta_e$ ) in order to increase the resultant moment that will bring the plane back to straight-and-level flight condition. In that case, the effects of gravity will be adverse to control maneuverability.

## 2.3 Results Validation

Typically, designers in the aeronautical industry seek to validate their simulation data through tests with a model of the designed aircraft [3]. However, in view of the impossibility of accessing the institution's Energy Laboratory to use the wind tunnel equipment, due to the current social isolation situation due to COVID-19, it was used as an alternative to validate the results of the CFD analysis the following two steps: 1) validation of the boundary conditions by comparison of the aerodynamic coefficients of non-deflected elevator with the work of Eftekhari et. Al. (2019); 2) comparing the hinge moment results with the calculated when applied the correlations and data available in the USAF Stability and Control DATCOM from Hoak et. Al. (1978).

For the first step, the values of the lift and drag coefficients were compared, first for simulation results using the NACA 0012 profile without the elevator, against another CFD and experimental NACA 0012 data, allowing to evaluate the mesh quality and boundary conditions. The results were compared with the study by [5], which used the same turbulent model and similar Reynolds numbers applied in this analysis.

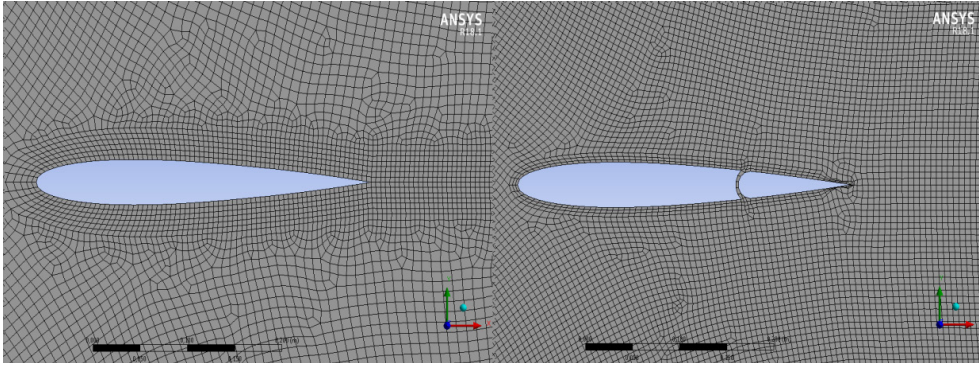


Figure 3. NACA 0012 airfoil without and with elevator

Then, the same coefficients were extracted for the tail with the non-deflected elevator, as shown in the figure 4 above. After that, once the boundary conditions were validated, the origin of the simulation was positioned on the axis of rotation of the elevator, thus defining the positioning of the hinge line and now, the moments exerted by the incidence of air on the surfaces will coincide with the torque required for the servos to move the control surfaces, as they will be acting on the same axis of rotation.

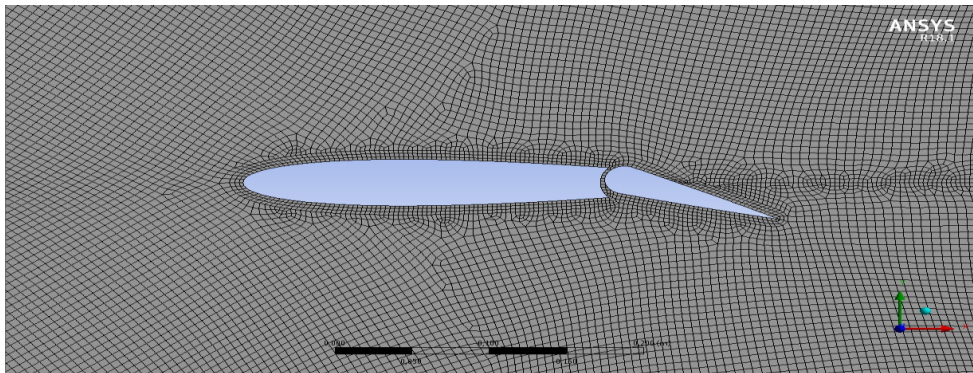


Figure 4. NACA 0012 airfoil with the deflected elevator

Setting up the required elevator deflection ( $\delta_e$ ) as shown in Figure 5 above, the second step of validation was performed: with the deflected elevator, the results were compared with the values obtained using the DATCOM procedures for the calculation of the Hinge Moment. The USAF Stability and Control DATCOM (HOAK et. Al., 1978) is a compendium of data and methods for estimating quantities for applications in stability projects and aircraft control, developed by the US Air Force, to estimate the  $Ch_\alpha$  and  $Ch_\delta$  values of the hinge moment of the elevator in equation (1).

Using the dimensions evaluated for Ansys Fluent (Table 1),  $Ch\alpha$  and  $Ch\delta$  for the hinge moment could be obtained using the USAF DATCOM data, consulting its series of curves for the experimental values corresponding to the dimensions and geometries of the control surface here evaluated and, applying the following empirical correlations:

$$C_{h\alpha} = \left( \frac{A_t \cos \Lambda_{c4}}{A_t + \cos \Lambda_{c4}} \right) C_{hab} + \Delta C_{h\alpha} \quad (2)$$

$$C_{h\delta} = \cos \Lambda_{c4} \cos \Lambda_{HL} (C_{h\delta b} + \alpha_\delta C_{hab}) \left( \frac{2 \cos \Lambda_{c4}}{A_t + \cos \Lambda_{c4}} \right) + \Delta C_{h\delta} \quad (3)$$

where,  $Ch\alpha.b$  and  $Ch\delta.b$  are the nose swing contributions of the section,  $\Delta C_{h\alpha}$  and  $\Delta C_{h\delta}$  are the induced camber corrections,  $A_t$  is the aspect ratio of the control surface and  $\Lambda_{c4}$  and  $\Lambda_{HL}$  are the sweep angles with respect to a quarter of the chord line and to the hinge line, respectively. Since the aircraft has no sweep angle for its control surfaces, the  $\Lambda_{c4}$  and  $\Lambda_{HL}$  angles were neglected.

### 3 | RESULTS AND DISCUSSION

For the results, a comparison between the simulation with the airfoil NACA 0012 and the results obtained through [5] in the graphics of lift and drag coefficient by alpha was made and the results have shown to be near.

In the comparison between the CFD modeled airfoil without the elevator and the airfoil with the elevator, the following coefficients of lift and drag were obtained, as shown in table 3:

Airfoil/Property	Lift	Drag
NACA 0012	0.16455751	0.00032024
NACA 0012 with elevator	0.15684119	0.00430888

Table 3. Coefficients of the NACA 0012 airfoil simulations, with and without elevator

Comparing the lowest value with the highest value in both, the results of the lift coefficient proved to be close, with a difference of less than 5%. However, in the results of the comparison of the drag coefficient, the difference was much greater, this occurred probably because the mesh of the analysis using only the airfoil needed to be refined. In numerical drag analysis, it is required to apply a higher mesh refinement in order to present more faithful results for the drag. As better computational resources were not available, the analysis continued nonetheless, taking into account the proximity of the results of the lift coefficient.

For the comparison between the results of the airfoil simulation with the deflected elevator and the method provided by [6], the following values of Hinge Moment were obtained:

Method	Hinge Moment
CFD Simulation	0.239 N.m
DATCOM	0.121 N.m

Table 4. Hinge Moment values obtained through CFD and DATCOM method

The results of the hinge moment for the two methods were shown to be different, this is justified due to the difference in the way each one is obtained: DATCOM method provides the results by using historic experimental data, while using CFD numerical method, approximated equation models are applied. Such discrepancy when using different methods is also obtained from previous works in the literature, as the study carried out by [7]. For the current project, the value of 0.239 N.m provided by CFD analysis in Table 4 will be adopted, since it is more conservative and will ensure that the aircraft has greater controllability in face of the most critical conditions that can be achieved during the flights of the competition.

The corresponding pressure and velocity fields generated from CFD analysis are shown, respectively, on the following figures 4a and 4b:

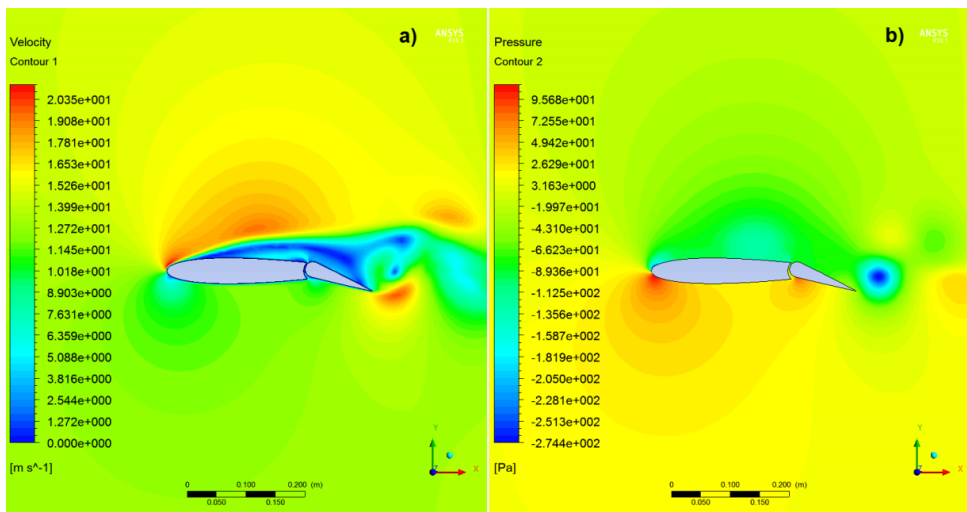


Figure 5. (a) Resulting Velocity Field (b) Resulting Pressure Field

In figure 4a, the formation of vortices is noticeable in the region of the trailing edge of the elevator. It is possible to observe in figure 4b, containing the pressure distribution contours, that a region of high pressure was formed at the bottom of the junction between the elevator and the stabilizer, the hinge moment being derived from the pressure distribution at this location.

## 4 | CONCLUSION

From the analysis carried out in this study, it was possible to evaluate the resulting hinge moment under the flight conditions predicted for the PM-03 UAV project by the Prometheus Aerodesign team, which were replicated for a CFD simulation performed. Despite the divergence between the hinge moment resulting from the CFD simulation and the hinge moment evaluated by the data and correlations, the study allowed to evaluate the order of moment magnitude that must be overcome by a servo motor acting upon a designed elevator according to dimensions that were analyzed in this study. The study made it possible to estimate the minimum torque to be applied by a micro-servo motor, corresponding to the maximum estimated value of the hinge moment from the CFD results.

As a suggestion for future investigations, the results here seek to be compared with the wind tunnel tests with the scale model, serving for possible improvements to be implemented in the modeling and definition of meshes and configurations for future CFD analysis, be it the hinge moment or other aerodynamic characteristics for Prometheus Aero Design projects.

## ACKNOWLEDGMENTS

To SAE BRASIL, SENAI CIMATEC and the PROMETHEUS AERODESIGN Team.

## REFERENCES

EFTEKHARI, Shahrooz; AL-OBAIDI, Abdulkareem Shafiq Mahdi. **Investigation of a NACA0012 Finite Wing Aerodynamics at Low Reynold's Numbers and 0° to 90° Angle of Attack**. Journal of Aerospace Technology and Management, v. 11, 2019.

HOAK, D. E.; ANDERSON, R.; GOSS, C. R. **The USAF stability and control DATCOM**, Air Force Wright Aeronautical Laboratories. Wright Patterson Air Force Base, Ohio, 1978.

L. E. M. J. RODRIGUES, **Fundamentos da engenharia aeronáutica aplicações ao projeto sae-aerodesign**, 1a ed. Salto/SP, 2014.

MONK, David; CHADWICK, Edmund A. **Comparison of turbulence models effectiveness for a delta wing at low Reynolds numbers**. In: 7th European Conference for Aeronautics and Space Sciences (EUCASS). 2017.

NELSON, Robert C. et al. **Flight stability and automatic control**. New York: WCB/McGraw Hill, 1998.

PAMADI, Bandu. **Performance, Stability, Dynamics, and Controls of Airplanes**. Hampton, Virginia, 1998.

SIMPSON, Christopher David. **Control surface hinge moment prediction using computational fluid dynamics**. The University of Alabama, 2016.



## ANÁLISE DE ESTABILIDADE DE UM AEROMODELO ATRAVÉS DO SOFTWARE XFLR5

Data de aceite: 03/05/2021

### Marcos Paulo Azevedo

Universidade do Vale do Paraíba – UNIVAP  
São José dos Campos - SP  
<http://lattes.cnpq.br/4404852587225808>

### Igor Felice Souza Mosena

Universidade do Vale do Paraíba – UNIVAP  
São José dos Campos – SP  
<http://lattes.cnpq.br/7797750465536511>

### Renato de Sousa Maximiano

Universidade do Vale do Paraíba – UNIVAP  
São José dos Campos – SP  
<http://lattes.cnpq.br/1945825460200477>

### Erika Peterson Gonçalves

Universidade do Vale do Paraíba – UNIVAP  
São José dos Campos – SP  
<http://lattes.cnpq.br/3970923776415063>

**RESUMO:** A análise de estabilidade é de extrema importância em todas as fases de desenvolvimento do projeto de uma aeronave, assim, é necessário determinar e avaliar as melhores configurações para as superfícies de estabilidade da aeronave. Foi utilizado o *software* XFLR5. Uma ferramenta baseada no método de malha de vórtice para análise de aerofólios, asas e aviões operando em números de *Reynolds* baixos, sendo um software gratuito e de baixo custo operacional desenvolvida por pesquisadores do MIT - *Massachusetts Institute of Technology*. Foram realizadas análises da estabilidade estática de um aeromodelo que

inicialmente apresentava uma instabilidade, e após variar o ângulo de incidência do estabilizador horizontal e da asa, chegou-se a uma melhor estabilidade estática longitudinal. Escolhendo o perfil Eppler 230 para o estabilizador horizontal com configuração de 60 cm de envergadura e 40 cm de corda, ângulos de incidência de  $-5,5^\circ$  no estabilizador horizontal e  $+3^\circ$  na asa. Foi possível observar a importância do uso de programas para redução de tempo e estudos de estabilidade durante toda fase do projeto devido mudanças a cada atualização de dados.

**PALAVRAS-CHAVE:** Aeronave; Estabilidade; Projeto; XFLR5.

### STABILITY ANALYSIS OF A MODEL AIRPLANE USING XFLR5 SOFTWARE

**ABSTRACT:** Stability analysis is extremely important in all phases of aircraft design development, so it is necessary to determine and evaluate the best configurations for aircraft stability surfaces. The XFLR5 software was used. A tool based on the vortex mesh method for analysis of airfoils, wings and airplanes operating in low Reynolds numbers, being a free and low-cost operational software developed by researchers at MIT - *Massachusetts Institute of Technology*. Were performed static stability analyses of a model airplane that initially presented instability, and after varying the angle of incidence of the horizontal stabilizer and the wing, a better longitudinal static stability was reached. Choosing the Eppler 230 airfoil for the horizontal stabilizer with 60 cm wingspan configuration and 40 cm of rope, angles of incidence of  $-5.5^\circ$  on the horizontal stabilizer and  $+3^\circ$  on the wing. It was

possible to observe the importance of using programs to reduce time and stability studies throughout the project due to changes with each data update.

**KEYWORDS:** Aircraft; Stability; Project; XFLR5.

## 1 | INTRODUÇÃO

Na maioria dos projetos de engenharia, a estabilidade é o assunto mais importante, sem ela, qualquer projeto não duraria muito, seja na Engenharia Geotécnica (REIS, 2010) ou Engenharia Elétrica (CHOQUE PILLCO, 2011), e na Engenharia Aeroespacial, não seria diferente. Projetar uma aeronave ou um foguete estável significa garantir a segurança e a viabilidade do projeto. Para isso, realizam-se entre os ensaios, os de estabilidade estática e dinâmica.

A estabilidade estática trata-se do equilíbrio de um corpo em relação ao seu centro de gravidade. Ou seja, supondo um corpo pendurado pelo seu centro de gravidade, este, deve possuir massas iguais de ambos os lados do seu centro de gravidade, para assim, manter-se em forma de uma “gangorra nivelada”. (ANDERSON JR, 2015, p.593).

A estabilidade dinâmica, parte do princípio de que qualquer força momentânea que atue no corpo, este, deve ter a capacidade de retornar à sua situação original, no caso, à situação na estabilidade estática. Existem três possibilidades para este retorno: Modo Estável, Instável e Indiferente. De forma estável, o corpo possui capacidade de retornar ao equilíbrio anterior. De modo instável, tende a aumentar cada vez mais a oscilação causada pela força momentânea. E, no caso indiferente, manterá de forma constante, a oscilação causada pela força momentânea. É por isso que, no caso de um aeromodelo, quanto melhor estiver sua estabilidade estática, será possível retornar a um voo seguro e controlável. (ANDERSON JR, 2015, p.594)

Para realizar estes ensaios, seriam necessários diversos protótipos e tempo de estudo em túnel de vento, porém, com o aumento da capacidade de processamento de dados dos computadores, o uso de programas para ensaios se tornou cada vez mais importante para a área das engenharias, com o propósito de diminuir o tempo e custo de produção. Contudo, as máquinas ainda possuem um desempenho limitado para obter a exatidão com a realidade. Para se obter a melhor precisão possível, dependendo do desempenho do computador, ainda pode levar dias. Assim, o uso de programas menos complexos, porém, com rápido tempo de análise e adaptabilidade podem ser usados para equilibrar essa falta de exatidão. Desta forma, é possível selecionar protótipos em programas com precisões menores, e selecionar os melhores modelos para ser analisados posteriormente em programas com maiores precisões, que demandarão mais tempo.

Tendo isso em mente, o uso do programa XFLR5 foi de extrema importância para análises iniciais da estabilidade estática dos modelos, sem que houvesse a necessidade de fazer um protótipo em escala para cada modelo e possuir uma máquina com alto

desempenho; salvando recursos e tempo de resposta para os problemas encontrados.

## 2 | METODOLOGIA

Para o cálculo teórico das áreas do estabilizador vertical e horizontal, foi utilizado embasamento histórico feito por Daniel P. Raymer. Onde obtêm-se as equações para cálculos de volume de empenagem (RAYMER, 1992, p.111):

$$cht = \frac{Lht.Sht}{\bar{Cw}.Sw} \quad \text{Eq(1)}$$

$$cvt = \frac{Lvt.Svt}{bw.Sw} \quad \text{Eq(2)}$$

Onde **cht** é o coeficiente de volume da cauda horizontal, **cvt** é o coeficiente de volume da cauda vertical, **Lht** é a distancia entre ¼ da corda média aerodinâmica do estabilizador horizontal e ¼ da corda média aerodinâmica da asa, **Lvt** é a distancia entre ¼ da corda média do perfil do estabilizador vertical e ¼ da corda média do perfil da asa, **Sw** é a area de asa da aeronave, **bw** é a envergadura de asa, **Sht** é a area do estabilizador horizontal e **Svt** é a area do estabilizador vertical e  $\bar{Cw}$  é a corda aerodinâmica média da asa.

Após feitos os cálculos, obteve-se inicialmente uma configuração de 54 cm de envergadura e 31 cm de corda para o estabilizador horizontal. Devido a uma fraca estabilidade estática no projeto inicial, foi necessário manter o estabilizador horizontal com um ângulo de ataque negativo, para compensar a tendência de nariz para baixo do aeromodelo.

Para solucionar este problema levou-se em conta o custo financeiro e as medidas que trariam melhores resultados sem grandes dificuldades de operação e montagem, assim, para obter o melhor desempenho possível, tais medidas foram tomadas: Alteração do estabilizador horizontal para 60 cm de envergadura e 40 cm de corda, a utilização de perfis aerodinâmicos assimétricos e invertidos para manter o ângulo de ataque do estabilizador horizontal mais próximo possível de 0° e, melhora na distribuição das massas da aeronave a fim de que o centro de gravidade ficasse em uma posição favorável (mais próximo do primeiro terço da corda media da asa da aeronave longitudinalmente e abaixo da linha média da aérea lateral, lateralmente), para obter um melhor equilíbrio longitudinal e lateral. Uma vez que, em caso de perturbação do voo reto e nivelado, as massas contrapõem-se ao movimento das oscilações, desta forma, retornando a posição antes das oscilações.

Para serem possíveis as simulações no programa XFLR5 é necessária a criação de uma malha para que sejam realizados os cálculos. Quanto maior o número de malha, maior o número de cálculos em cada ponto, portanto, maior precisão nas simulações. (PEREIRA, 2005 apud VISCONTI, 2016, p.18)

Foram usados 2150 pontos de malha distribuídos no aeromodelo.

Foram realizadas simulações sem viscosidade, com ângulos de ataque variando de  $-15^\circ$  até  $15^\circ$  e velocidade constante de 18 m/s.

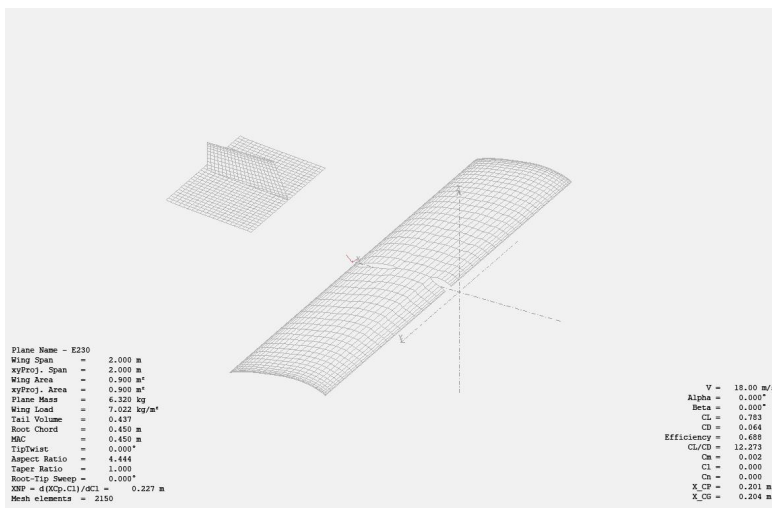


Figura 1 - Malha formada para a simulação

Fonte: Autores.

### 3 I RESULTADOS

Inicialmente, obteve-se a seguinte relação entre Coeficiente de momento de arfagem e ângulo de ataque:

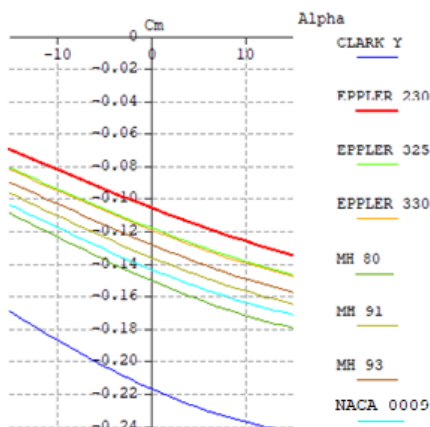


Figura 2 – Estabilidade estática e os perfis usados no estabilizador horizontal

Fonte: Autores.

Para escolher a melhor solução entre os modelos definidos anteriormente, foi levado em consideração seus impactos aerodinâmicos. Assim, os valores da razão entre coeficiente de sustentação e coeficiente de arrasto obtido para cada cenário analisado foram:

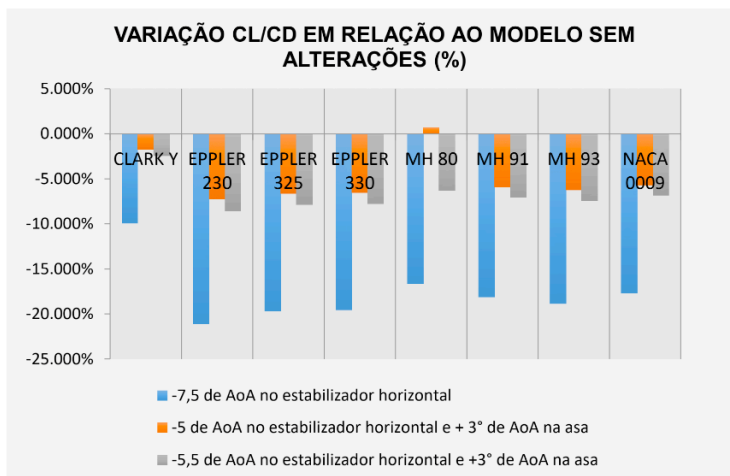


Figura 3 - Comparação de CL/CD obtido em cada configuração analisada para o estabilizador horizontal

Fonte: Autores.

Devido à alta inclinação negativa (-7,5°) do estabilizador horizontal, verificou-se uma perda média de 17,641% na eficiência aerodinâmica da aeronave, por isso, foram estudados outros métodos de se conseguir uma melhor estabilidade estática longitudinal, resultando na utilização de -5° no estabilizador horizontal e +3° na asa, afetando apenas, em média, 4,866% da eficiência aerodinâmica. Após reavaliação das massas presentes no projeto, foi possível aumentar a carga paga para 8 kg, no entanto, mantendo -5,5° no estabilizador horizontal, afetando uma média de 6,742% da eficiência aerodinâmica.

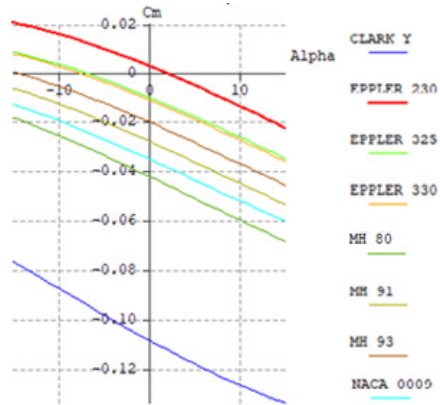


Figura 4 - Estabilidade estática e os perfis usados no estabilizador horizontal com  $-7,5^\circ$  de ângulo de incidência

Fonte: Autores.

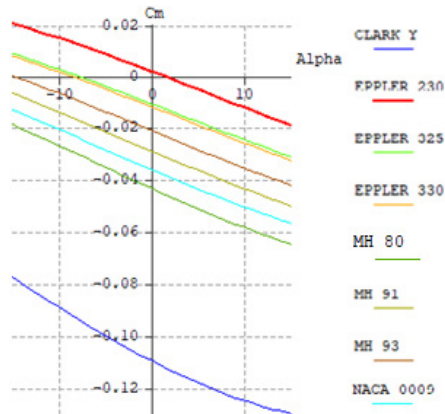


Figura 5 - Estabilidade estática e os perfis usados no estabilizador horizontal com  $-5^\circ$  e a asa com  $+3^\circ$  de ângulo de incidência

Fonte: Autores.

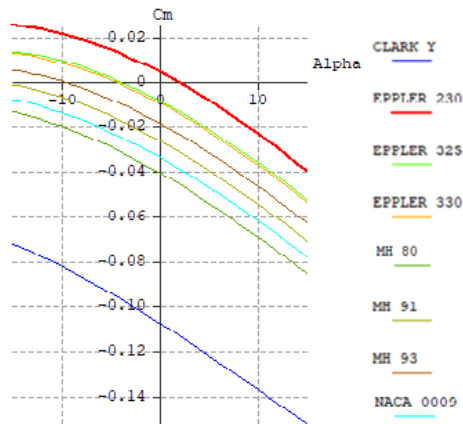


Figura 6 - Estabilidade estática e perfis usados no estabilizador horizontal com  $-5,5^\circ$  e a asa com  $+3^\circ$  de ângulo de incidência com novos valores de massas

Fonte: Autores.

## 4 | DISCUSSÃO

Inicialmente, foram usados 2150 pontos de malha distribuídos no aeromodelo para realizar a seleção dos perfis que estariam dentro dos resultados buscados. Após o Eppler 230 ser escolhido, foi possível reorganizar as massas e aumentar a precisão para 6125 pontos de análise.

Foi possível observar inicialmente uma situação de instabilidade estática e, com a ferramenta XFLR5, foram analisados ângulos de ataque e perfis para o estabilizador horizontal para que houvesse a melhora na estabilidade estática, e foi o que se obteve no final dos estudos.

Até o momento, não foi possível realizar os testes em um túnel de vento devido à pandemia COVID19, no entanto, são de extrema importância em estudos futuros, a comprovação da exatidão obtida no programa usado e a evolução de precisão das malhas do programa.

## 5 | CONCLUSÃO

Conforme visto anteriormente, são importantes os estudos de estabilidade durante todo seu desenvolvimento, visto que, a cada mudança, o equilíbrio das massas pode alterar o comportamento da aeronave no ar. Há também, a observação da importância do uso de ferramentas tecnológicas para os ensaios iniciais do projeto, para que seja possível analisar mais resultados em um menor espaço de tempo e focar o tempo previsto do projeto para os modelos que realmente são interessantes para sua validação. Os resultados obtidos se mostraram muito promissores, e com uma metodologia de curto espaço de tempo e

de baixo custo, mostrando assim a eficiência da metodologia em relação à elaboração de aeronaves de baixo número de Reynolds.

## REFERÊNCIAS

ANDERSON JR, John D. **Fundamentos de Engenharia Aeronáutica**. 7. ed. Porto Alegre: AMGH Editora LTDA, 2015.

CHOQUE PILLCO, Edwin. **A importância da região de estabilidade no problema de análise de estabilidade de tensão em sistemas elétricos de potência**. Dissertação (Mestrado-Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e Área de Concentração em Sistemas Elétricos de Potência) — Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2011.

PEREIRA, L. H. G. **Análise do desempenho do método dos painéis de ordem superior para o cálculo do escoamento em torno de um aerofólio**. Tese (Doutorado) — UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO, 2005.

RAYMER, D. P. **Aircraft Design: A conceptual Approach**. 2nd ed. California, AIAA, 1992.

REIS, R. C. **Estudo de estabilidade de taludes da Mina de Tapira - MG**. 2010. 95 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2010.

VISCONTI, João Pedro Portella Guedes. **Estudo inicial de um veículo aéreo não tripulado do tipo tilt-rotor**. 2016. 62 f. Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal de Juiz de Fora, Faculdade de Engenharia, 2016.



## IDENTIFICAÇÃO DOS PRINCIPAIS ATRIBUTOS PARA O PROJETO DE UMA REDE CICLOVIÁRIA

*Data de aceite: 03/05/2021*

**Taiany Richard Pitilin**

<http://lattes.cnpq.br/2653656667798172>

**Luciana Mação Bernal**

<http://lattes.cnpq.br/6245633021120476>

**Otávio Henrique da Silva**

<http://lattes.cnpq.br/4318259807867888>

**Suely da Penha Sanches**

<http://lattes.cnpq.br/3857424839674606>

**RESUMO:** Este artigo apresenta os resultados de uma pesquisa que teve como objetivo identificar quais os principais atributos que devem ser considerados para o projeto de uma rede cicloviária considerando a opinião de ciclistas e de especialistas. Com base em uma revisão da literatura foram selecionados 20 atributos que são considerados os mais importantes para a escolha da rota pelos ciclistas. Os fatores foram avaliados através de um questionário estruturado com base em escalas de diferencial semântico. Para avaliar a consistência da opinião de cada um dos grupos avaliados utilizou-se o Coeficiente de Correlação Interclasse e para avaliar a concordância entre os grupos estudados aplicou-se o teste kappa de Cohen. Verificou-se que a consistência de opinião entre os ciclistas foi excelente, já entre os especialistas foi fraca. O kappa apresentou concordância “boa” para 16 dos 20 fatores analisados, indicando que os dois

grupos compartilham as mesmas expectativas na maioria dos fatores.

**PALAVRAS-CHAVE:** Ciclovia, rede cicloviária, Kappa de Cohen, Coeficiente de correlação interclasse.

**ABSTRACT:** This article presents the results of research that aimed to identify which are the main attributes that should be considered for the design of a bicycle network considering the opinion of cyclists and specialists. Based on a literature review, 20 attributes were selected, which are considered the most important for the choice of route by cyclists. The factors were assessed using a structured questionnaire based on semantic differential scales. To assess the consistency of the opinion of each of the groups evaluated, the Interclass Correlation Coefficient was used, and to assess the agreement between the groups studied, the Cohen's kappa test was applied. It was found that the consistency of opinion among cyclists was excellent, whereas among specialists it was weak. The kappa showed "good" agreement for 16 of the 20 factors analyzed, indicating that the two groups share the same expectations in most factors.

**KEYWORDS:** Bicycle path, cycle route, Kappa, Interclass Correlation coefficient.

### 1 | INTRODUÇÃO

O crescimento desordenado das cidades, associado à priorização do uso de veículos motorizados para as viagens urbanas, tem causado sérios problemas de mobilidade

influenciando negativamente na qualidade de vida das pessoas, causando restrições de acessibilidade, congestionamentos, altos índices de acidentes, aumento da poluição do ar e falta de espaços para estacionamento. Para reverter este cenário é necessária uma mudança nos padrões de deslocamento através da implantação de meios de transporte mais eficientes e sustentáveis.

Neste cenário, a bicicleta surge como uma opção viável, pois é um modo transporte sustentável, barato e acessível para a maior parte da população. No entanto, para incentivar seu uso nas cidades brasileiras há necessidade de mudanças no comportamento dos indivíduos (em sua percepção sobre a bicicleta como modo de transporte), e, principalmente, há necessidade de implantação de infraestrutura viária adequada para garantir e estimular o uso da bicicleta com modo de transporte.

Assim, este artigo visa apresentar os resultados de uma pesquisa que teve como objetivo identificar os principais atributos a serem considerados para o projeto de uma rede cicloviária considerando a opinião de ciclistas e especialistas em planejamento cicloviário e analisar a concordância entre as opiniões. A partir da revisão bibliográfica foram identificados os principais fatores que influenciam na escolha das rotas dos ciclistas e eles foram considerados para a pesquisa como os principais atributos para o projeto de uma rede cicloviária, pois uma rede cicloviária deve atender às expectativas dos ciclistas e atrair novos usuários para este meio de transporte.

## **2 I FATORES QUE INFLUENCIAM NA ESCOLHA DA ROTA PELOS CICLISTAS**

Diversos atributos podem influenciar na escolha da rota pelos ciclistas, podendo estar relacionados às características dos ciclistas ou às características físicas e operacionais das vias. Esta pesquisa aborda apenas o segundo grupo de atributos, pois o objetivo é definir quais fatores (físicos e operacionais) devem ser considerados no projeto de uma rede cicloviária. Providelo (2011) classifica os aspectos físicos que são importantes para os ciclistas em cinco categorias: (1) tráfego, (2) infraestrutura viária, (3) conflitos, (4) ambiente e (5) características da rota como um todo.

### **2.1 Tráfego**

Incluem-se nesta categoria os seguintes atributos: o volume e velocidade dos veículos motorizados e a composição do tráfego.

Os ciclistas preferem circular por vias com pouco fluxo de automóveis (WINTERS *et al.*, 2010; AULTMAN-HALL, 1996), preferencialmente vias residenciais, em decorrência do baixo volume de tráfego existente nestas vias (TILAHUN, *et al.*, 2007). Alguns estudos utilizam a classificação funcional da via (local, coletora ou arterial) como variável *proxí* para as características do tráfego. A classificação funcional tem uma relação direta com a percepção dos usuários quanto à segurança, pois esta, em geral, correlacionada com o

volume e velocidade do tráfego (SEGADILHA, 2014).

Alguns ciclistas não fazem restrições ao compartilhamento das vias com veículos motorizados, desde que não haja circulação de veículos pesados (ônibus e caminhões), pois estes aumentam a sensação de insegurança (AULTMAN-HALL, 1996; SENER, *et al.*, 2009; WINTERS *et al.*, 2010; SEGADILHA, 2014).

## 2.2 Infraestrutura ciclovária

A existência de infraestrutura (ciclovias ou ciclofaixas) contínua para ciclistas é um aspecto determinante na escolha da rota (SENER, *et al.*, 2009). Quando há compartilhamento de tráfego de ciclistas com veículos motorizados a sensação de insegurança dos ciclistas aumenta, e esta relação é ainda maior quando há circulação com veículos pesados (ônibus e caminhões).

Além do compartilhamento do tráfego, a largura da via, o número de faixas de tráfego e o número de sentidos de direção também interferem na percepção de segurança do ciclista. Hyodo *et al.*, (2000) citam que os ciclistas tendem a planejar suas viagens por vias principais, geralmente com várias faixas de tráfego, pois, segundo os autores, as vias principais são mais conhecidas pelos usuários, o que facilita no planejamento de suas rotas.

Outro aspecto importante relacionado à infraestrutura é o pavimento da via (tipo e estado de conservação). Para que a circulação dos ciclistas seja adequada, o pavimento precisa ser regular, liso, garantir boa aderência com o pneu da bicicleta e precisa estar bem conservado (BASTOS; MOTA, 2013). Cesar (2015) menciona também que os desníveis na via, junto ao meio fio desestimulam a circulação de ciclistas.

## 2.3 Conflitos

Para os ciclistas a presença de estacionamento ao longo da via, as interseções e os pontos de ônibus podem ser considerados como pontos de conflitos, pois nestes locais o fluxo de veículos motorizados cruza o trajeto dos ciclistas.

O estacionamento nas vias pode ser em ângulo ou paralelo. Segundo Sener *et al.* (2009) os ciclistas preferem percursos por vias onde o estacionamento não é permitido, no entanto, em locais onde não exista esta possibilidade, os ciclistas preferem o estacionamento em ângulo, pois em vias com estacionamento paralelo eles se sentem mais vulneráveis, devido à abertura de portas para a entrada e saída de pessoas nos veículos estacionados.

Não existe consenso entre os pesquisadores com relação à influência da sinalização nas interseções sobre a escolha das rotas. Alguns consideram que semáforos acarretam atrasos e são obstáculos (MENGHINI *et al.*, 2010). No entanto, se o volume de tráfego na via transversal for grande, os semáforos podem ser uma característica atrativa para os ciclistas (BROACH *et al.*, 2012).

Alguns tipos de elementos como pontes, rodovias, linhas férreas e viadutos influenciam diretamente na escolha da rota dos ciclistas, pois podem se tornar barreiras,

impedindo a passagem dos usuários de bicicletas (EMONDY; HANDY, 2011).

## 2.4 Ambiente

Em uma pesquisa realizada através de um grupo focal, Providelo (2011), identificou que os seguintes atributos do ambiente são importantes para o ciclista: declividade da via, percepção de segurança pessoal e vegetação (sombra).

Com relação à declividade, alguns autores citam que vias com grande declividade são evitadas por ciclistas (STINSON; BHAT, 2005), mas os textos que abordam este tópico não deixam claro qual declividade é considerada acentuada. Winters *et al.* (2010) afirmam que não existe consenso sobre este tópico, porém em seu estudo este limite foi considerado como sendo 10%.

Um fator que pode ser considerado como fundamental na escolha das rotas pelos ciclistas é a percepção de segurança pessoal (NYENHUIS, 2012). Um aspecto que influencia diretamente na sensação de segurança pessoal é a iluminação das vias. Segundo Menghini *et al.* (2010) a iluminação é essencial para a melhoria da trafegabilidade de bicicletas, além de permitir o aumento da sensação de segurança durante a noite.

## 2.5 Características da rota como um todo

As características das viagens devem ser entendidas como elemento determinante na escolha das rotas pelos ciclistas. O comprimento da viagem e o tempo da viagem são relações contraditórias, pois muitas vezes os usuários estão dispostos a percorrerem distancias mais longas para circular em locais mais adequados, assim como o tempo pode ser aumentado em função da escolha da rota que mais atenda às necessidades dos ciclistas.

Segundo Krizek, *et al.* (2007) os ciclistas estão dispostos a pedalar até 10% a mais de seu tempo de viagem para ter acesso a vias residenciais e com infraestrutura para ciclistas. No entanto Aultmann-Hall (1996) em sua pesquisa, realizada para investigar o transporte por bicicletas em Guelphi, Canadá, comparou o caminho percorrido pelos participantes com os caminhos mais curtos, concluiu que os ciclistas desviam pouco do caminho mais curto, e que a maioria utilizava as principais rodovias.

## 3 | METODOLOGIA

O método escolhido para medir a percepção dos ciclistas e dos especialistas sobre os fatores foi a aplicação de questionários desenvolvidos com base em escalas de diferencial semântico de cinco pontos variando entre “Muito importante” (codificado como 5) e “Totalmente sem importância” (codificado como 1). Os vinte fatores incluídos no questionário foram definidos a partir da revisão bibliográfica e estão listados na Tabela 1. Para os ciclistas foi solicitado que avaliassem a importância dos fatores para a escolha de suas rotas e aos especialistas foi solicitado que avaliassem a importância dos fatores para um projeto de rede cicloviária.

<b>Fatores</b>
1. Número de faixas de tráfego (largura da via)
2. Permissão de estacionamento do lado direito da via
3. Mão única de direção
4. Tipo de pavimento
5. Estado de conservação do pavimento
6. Declividade (ladeiras)
7. Ciclovias e ciclofaixas
8. Tráfego de ônibus e caminhões
9. Volume de veículos na via
10. Velocidade dos veículos na via
11. Arborização
12. Iluminação
13. Menor tempo de viagem
14. Caminho mais curto
15. Rotatórias
16. Cruzamentos com parada obrigatória
17. Desnível junto ao meio fio
18. Segurança pessoal
19. Pontos de parada de ônibus
20. Obstáculos (pontes, viadutos)

Tabela 1 Fatores que podem influenciar na escolha da rota

A pesquisa foi realizada entre Janeiro e Fevereiro de 2016. Foram obtidas 620 respostas de ciclistas, originadas de 25 cidades brasileiras de diferentes portes (entre 90 mil e 12 milhões de habitantes), e 37 respostas de especialistas. A aplicação ocorreu através da internet, em grupos de ciclistas que aceitaram participar da pesquisa e por email com especialistas participantes do XXIX ANPET (Congresso Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes). Procedimentos estatísticos foram aplicados para a análise quantitativa dos resultados obtidos.

### 3.1 Consistência das opiniões dos grupos (ciclistas e especialistas)

Para avaliar a consistência das opiniões dos dois grupos (ciclistas e especialistas) foi utilizado o Coeficiente de Correlação Intraclasse (*Intraclass Correlation Coefficient – ICC*). O ICC é uma estatística que descreve o quanto os indivíduos dentro de um mesmo grupo são parecidos entre si. A correlação intraclasse (ICC) é calculada pela Equação (1) (Zaiontz, 2015).

$$ICC = \frac{var(\beta)}{var(\alpha) + var(\beta) + var(\varepsilon)} \quad (1)$$

Onde:

$\text{var}(\beta)$ : variabilidade devida a diferenças entre as importâncias dos itens avaliados.

$\text{var}(\varepsilon)$ : variabilidade devida a diferenças entre as avaliações dos itens feitas pelos indivíduos (por exemplo, um avaliador considera um determinado item como muito importante, enquanto outro avaliador considera este item sem qualquer importância).

$\text{var}(\alpha)$ : variabilidade devida a diferenças nas escalas de avaliação utilizadas pelos indivíduos (por exemplo, dois avaliadores podem considerar determinado item como o mais importante, mas um atribui a ele uma avaliação Likert igual a 4 e o outro atribui ao item uma avaliação igual a 5).

Para obtenção dos valores das variabilidades, utilizam-se os resultados de uma ANOVA com fator duplo sem repetição. Cada uma das variabilidades é estimada como mostrado nas equações (2), (3), e (4).

$$\text{var}(\beta) = (MQ_{linhas} - MQ_{erro})/n \quad (2)$$

$$\text{var}(\varepsilon) = MQ_{erro} \quad (3)$$

$$\text{var}(\alpha) = (MQ_{colunas} - MQ_{erro})/k \quad (4)$$

Onde:

n: número de linhas (itens avaliados)

k: número de colunas (avaliadores)

$MQ_{linhas}$ : média quadrada das linhas

$MQ_{colunas}$ : média quadrada das colunas

$MQ_{erro}$ : média quadrada do erro

Cicchetti (1994) sugere a interpretação para os valores do ICC mostrada na Tabela

2.

Valor do ICC	Nível de concordância
< 0,40	Fraco
0,40 – 0,59	Razoável
0,60 – 0,74	Bom
0,75 – 1,00	Excelente

Tabela 2 - Interpretação dos valores do ICC

### 3.2 Concordância de opinião entre os dois grupos (ciclistas e especialistas)

Para verificar se existe diferença entre a opinião dos ciclistas e dos especialistas foi utilizada uma adaptação do coeficiente kappa de Cohen (COHEN, 1960). O coeficiente kappa é uma medida de concordância entre dois avaliadores (para escalas nominais) que ajusta as proporções de concordância observada, levando em consideração a quantidade

de concordância que seria esperada por acaso (Equação 5).

$$k = \frac{p_o - p_e}{1 - p_e} \quad (5)$$

Onde:

k: índice kappa de Cohen

$p_o$ : parcela de concordância observada

$p_e$ : parcela de concordância devida ao acaso

Landis e Kock (1977) sugerem os valores mostrados na Tabela 3, para interpretação do valor obtido para o índice kappa.

Valor do kappa	Nível de concordância
< 0,20	Muito ruim
0,21 – 0,40	Ruim
0,41 – 0,60	Moderado
0,61 – 0,80	Bom
0,81 – 1,00	Muito bom

Tabela 3 - Interpretação dos valores de kappa

Para calcular o índice kappa de Cohen, quando se trata de uma escala ordinal (como a utilizada no questionário desta pesquisa), Fleiss e Cohen (1973) sugerem a utilização do kappa ponderado. Neste caso, considera-se que as concordâncias que envolvem valores próximos têm peso maior do que as concordâncias entre valores mais distantes. Por exemplo, na escala utilizada nesta pesquisa, que varia entre 1 (totalmente sem importância) e 5 (muito importante), valores 1 e 5 atribuídos para o mesmo item indicam grande discordância e têm peso menor que valores 4 e 5, que indicam discordância pequena e têm peso maior.

O esquema para atribuição dos pesos pode variar, sendo que os pesos sempre têm valores entre 0 e 1. O esquema de pesos utilizados nesta pesquisa é mostrado na Tabela 4.

	1	2	3	4	5
1	1,00	0,75	0,50	0,25	0,00
2	0,75	1,00	0,75	0,50	0,25
3	0,50	0,75	1,00	0,75	0,50
4	0,25	0,50	0,75	1,00	0,75
5	0,00	0,25	0,50	0,75	1,00

Tabela 4 - Pesos atribuídos às concordâncias/discordâncias

O peso é igual a 1 para as células na diagonal (quando os avaliadores concordam exatamente) e é igual a 0 para as células nos cantos superior direito e inferior esquerdo (quando os avaliadores discordam o máximo possível).

## 4 | RESULTADOS OBTIDOS

### 4.1 Consistência das opiniões dos grupos (ciclistas e especialistas)

A Tabela 5 mostra o cálculo do Coeficiente de Correlação Interclasse – ICC para o grupo de ciclistas. Pode-se verificar que, de acordo com a interpretação proposta por Cicchetti (1994) e mostrada na Tabela 2, a consistência pode ser considerada excelente.

Fonte da Variação	Soma dos Quadrados	gl	Média Quadrada	F	valor-p	F crítico
Entre itens	2702,536	19	142,239	133,042	0	1,587
Entre avaliadores	4117,388	619	6,656	6,222	0	1,098
Resíduo	12573,913	11761	1,069			
Total	19393,838	12399				
var( $\beta$ )	7,058					
var( $\epsilon$ )	1,069					
var( $\alpha$ )	0,009					

ICC=0,867

Tabela 5 Cálculo do ICC para o grupo de ciclistas

Para os especialistas, a análise do ICC resultou em um nível de concordância fraco (Tabela 6). Neste caso, a variabilidade devida a diferenças entre as avaliações dos itens feitas pelos indivíduos (var( $\epsilon$ )) é muito grande em comparação com as outras variabilidades.

Fonte da Variação	Soma dos Quadrados	gl	Média Quadrada	F	valor-p	F crítico
Entre itens	131,445	19	6,918	9,465	0,000	1,596
Entre avaliadores	456,999	55	8,309	11,368	0,000	1,345
Erro	763,804	1045	0,703			
Total	1352,24	1119				
var( $\beta$ )	0,309					
var( $\epsilon$ )	0,730					
var( $\alpha$ )	0,135					

ICC=0,263

Tabela 6 Cálculo do ICC para o grupo de especialistas



## 4.2 Concordância de opinião entre os dois grupos (ciclistas e especialistas)

A Tabela 7 mostra os valores obtidos para o coeficiente kappa ponderado.

Fator	kappa	Nível de concordância
Número de faixas	0,616	Bom
<b>Estacionamento</b>	<b>0,558</b>	<b>Moderado</b>
Mão única	0,613	Bom
Tipo de pavimento	0,637	Bom
Conservação do pavimento	0,695	Bom
Ladeiras	0,639	Bom
Ciclovias e ciclofaixas	0,666	Bom
Ônibus e caminhões	0,671	Bom
Volume de veículos	0,685	Bom
Velocidade dos veículos	0,666	Bom
Arborização	0,615	Bom
Iluminação	0,702	Bom
Tempo de viagem	0,654	Bom
Caminho mais curto	0,651	Bom
<b>Rotatórias</b>	<b>0,590</b>	<b>Moderado</b>
<b>Parada obrigatória</b>	<b>0,604</b>	<b>Moderado</b>
Desnível no meio fio	0,611	Bom
Segurança pessoal	0,697	Bom
<b>Paradas de ônibus</b>	<b>0,587</b>	<b>Moderado</b>
Obstáculos	0,635	Bom

Tabela 7 - Concordância entre ciclistas e especialistas

Pode-se verificar que, para a maior parte dos fatores o nível de concordância entre ciclistas e especialistas foi bom (16 entre 20). Para os outros 4 fatores (Estacionamento, Rotatórias, Parada obrigatória e Parada de ônibus) o nível de concordância foi moderado.

Para entender mais detalhadamente as diferenças na opinião dos ciclistas e especialistas são apresentadas, a seguir, as distribuições de frequência das respostas de ciclistas e especialistas em relação aos fatores que apresentaram nível de concordância moderado (Figuras 1 a 4).

A figura 1 apresenta a distribuição das frequências das respostas para o fator “Estacionamento”. Quando o fator estacionamento é avaliado pode-se perceber que ele recebe uma importância muito mais significativa por parte dos especialistas, pois os mesmos levam em consideração normas e o código de trânsito e não estão vivenciando as situações encontradas pelos ciclistas. Pode-se dizer que para os ciclistas o fator não é

tão importante para a escolha de suas rotas, pois no geral, não se encontram muitas vias onde não há presença de estacionamentos, por isso, os ciclistas acabam dando muito mais importância a outros fatores, como por exemplo, o tipo e a conservação do pavimento ou ao tipo e a velocidade dos veículos que circulam por uma via. Circular por locais onde exista ou não estacionamento de veículos acaba não sendo uma opção para os ciclistas. Pode-se entender que por isso a concordância entre os ciclistas e os especialistas para este fator foi moderada.

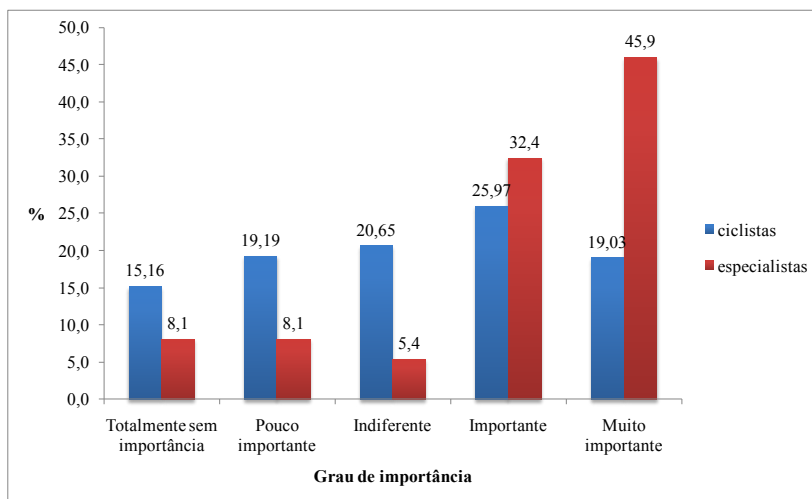


Figura 1 Distribuição da frequência das respostas do fator “Estacionamento”

Para o fator “Rotatórias” a distribuição das frequências está representada na Figura 2. Quando analisados os dados para o fator “rotatórias”, nota-se que muitos ciclistas se consideram indiferentes a este fator, ou consideraram sem importância, enquanto os especialistas (67,5%) consideraram o fator como importante ou muito importante. Pode-se dizer que a diferença na opinião entre os grupos avaliados esteja quando se considera que uma rotatória é um obstáculo aos ciclistas e pode ser um ponto de conflitos diretos com os veículos motorizados. Assim os especialistas atribuíram a este fator grande importância, enquanto que para os ciclistas o fator não é muito importante, pois se eles estiverem circulando por uma via não veem problema em continuar por ela e passar por uma rotatória.

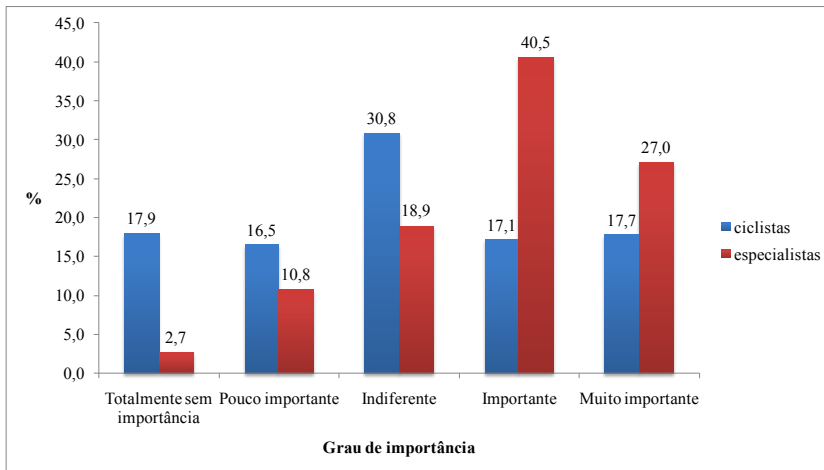


Figura 2 - Distribuição da frequência das respostas do fator "Rotatórias"

O fator "parada obrigatória" recebeu importância grande pelos especialistas, enquanto grande parte dos ciclistas considerou como indiferente. No entanto, a existências das paradas obrigatórias para os ciclistas pode ser vista como um atraso por fazer com que ele pare e perca um tempo para ganhar velocidade novamente, mas também quando bem sinalizadas às rotas com paradas são boas para os ciclistas, pois permitem maior sensação de segurança. Pode-se considerar que os especialistas ao atribuírem importância altas consideraram a segurança dos ciclistas, pois as paradas podem ser pontos de conflitos com automóveis.

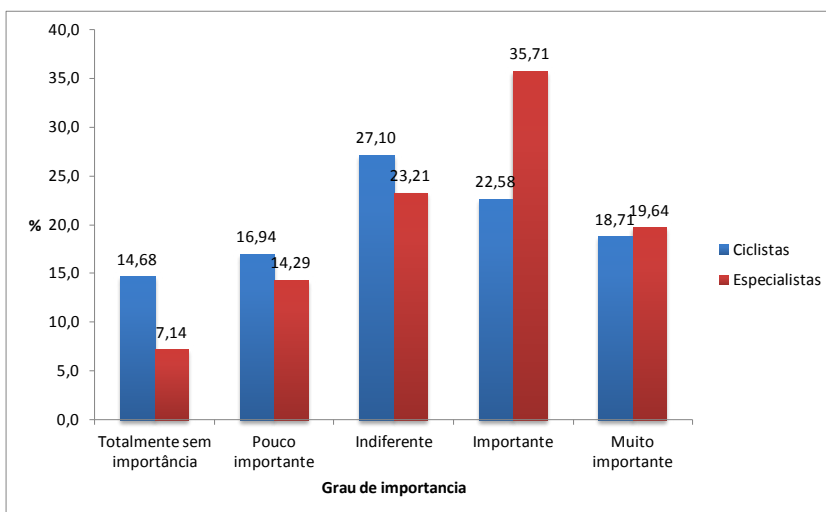


Figura 3 Distribuição da frequência das respostas do fator "Parada obrigatória"

A Figura 4 apresenta a distribuição da frequência para o fator “Parada de ônibus”. Ao analisar o fator pode-se perceber que a importância atribuída pelos especialistas foi muito grande, o que pode estar associado ao fato dos ônibus, geralmente, pararem no meio fio e interromperem a passagem, fazendo com que os ciclistas precisem desviar seu caminho por outras faixas da via, ficando mais exposto ao trânsito. No entanto, para os ciclistas as importâncias ficaram bem distribuídas: 35,1% dos ciclistas consideraram totalmente sem importância ou pouco importante enquanto 38,2% consideraram importante ou muito importante e 26,6% consideraram indiferente.

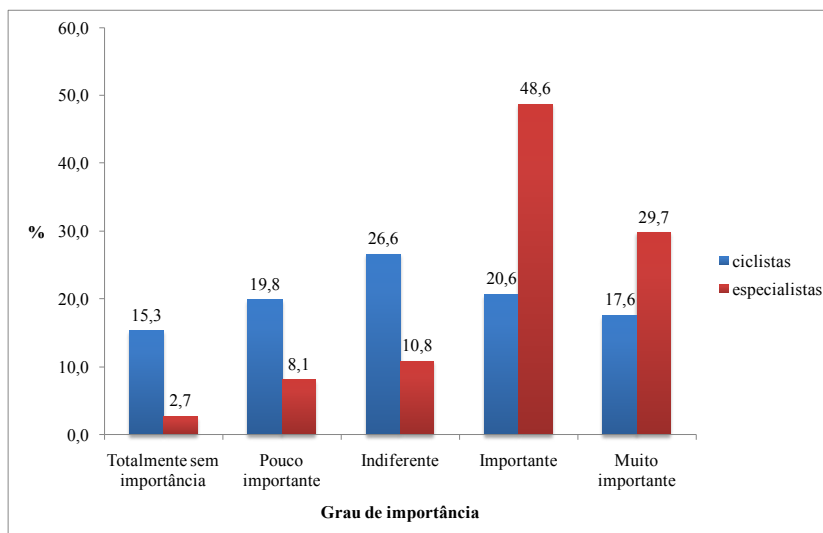


Figura 4 - Distribuição da frequência das respostas do fator “Paradas de ônibus”

## 5 | CONCLUSÕES

O objetivo desta pesquisa foi identificar quais os principais atributos que devem ser considerados no projeto de uma rede cicloviária.

Através da aplicação do questionário com ciclistas e especialistas em transporte foi possível identificar a opinião dos dois grupos estudados. Os atributos considerados mais importantes para a escolha da rota pelos ciclistas, assim como os fatores que os especialistas consideram mais importantes para o traçado de uma rota ciclável foram levantados com o objetivo de identificar o que os dois grupos consideram mais importantes para o projeto de uma rede cicloviária.

Para avaliar a consistência da opinião de cada um dos grupos avaliados, utilizou-se o Coeficiente de Correlação Interclasse – ICC. Verificou-se que a concordância de opinião entre os ciclistas foi excelente (ICC = 0,867), indicando que os usuários de bicicleta compartilharam as mesmas expectativas quanto às qualidades de uma rota ciclável. Já

entre os especialistas, a concordância foi fraca ( $ICC = 0,263$ ), indicando que não existe concordância interna neste grupo com relação à importância dos fatores que devem ser considerados para a elaboração de um projeto cicloviário.

A concordância entre os dois grupos estudados foi avaliada aplicando uma adaptação do teste kappa de Cohen. Para os fatores: Estacionamento, Rotatórias, Parada obrigatória e Paradas de ônibus, o nível de concordância pode ser considerado moderado (kappa entre 0,41 e 0,60), enquanto para os demais a concordância é boa (kappa entre 0,61 e 0,80), podendo considerar que para a maioria dos fatores avaliados (16 dos 20 fatores) a concordância entre os dois grupos (ciclistas e especialistas) é boa.

## REFERÊNCIAS

Aultman-Hall, Lisa M. (1996) **Commuter Bicycle Route Choice: Analysis of Major Determinants and Safety Implications**. Open Access Dissertations and Theses. Paper 2366. <http://digitalcommons.mcmaster.ca/opensdissertations/2366>.

Bastos, C.; Mota, E. (2013) **Pavimentação de ciclovias. Vias concretas: Pavimentação com sustentabilidade**.

Broach, J.; Dill, J.; Gliebe, J. (2012) **Where do cyclists ride? A route choice model developed with revealed preference GPS data**. Transportation Research Part A, nº46, p. 1730–1740.

Cicchetti, D. (1994) **Guidelines, criteria, and rules of thumb for evaluating normed and standardized assessment instruments in psychology**, Psychological Assessment 6(4), p. 284–290.

Cohen, J. (1968) **Weighted kappa: nominal scale agreement with provision for scaled disagreement or partial credit**. Psychological Bulletin 70, 213-220.

Emond C.R., Handy S. (2011) **Factors associated with bicycling to high school: insights from Davis, CA**. Journal of Transport Geography, nº20, p. 71-79.

Fleiss, J.L., Cohen, J. (1973). **The equivalence of weighted kappa and the intraclass correlation coefficient as measures of reliability**. Educational and Psychological Measurement, 33, 613-619.

Hyodo T.; Suzuki N.; Takahashi K. (2000) **Modeling of Bicycle Route and Destination Choice Behavior for Bicycle Road Network Plan**. Transportation Research Record 1735, nº 1434, p. 70-76.

Krizek, K.; EL-Geneidy A.; Thompson K. (2007) **A detailed analysis of how an urban trail system affects cyclists' travel**. Transportation, nº 34.

Landis JR, Koch GG (1977) **The measurement of observer agreement for categorical data**. Biometrics; 33: 159-174.

Ministério Das Cidades (2015). **Caderno de referência para elaboração de plano** de mobilidade urbana. Secretaria nacional de Transporte e da Mobilidade Urbana – ITDP. Disponível em < <http://www.cidades.gov.br/images/stories/ArquivosSE/planmob.pdf> > acesso em 04/04/2018.

Menghini G.; Carrasco N.; Schüssler N.; Axhausen K.W. (2010) **Route choice of cyclists in Zurich**. Transportation Research Part A, nº44, p. 754-765.

Nyenhuis, D. W. (2012) **An Investigation of Factors Influencing Route Choice of Bicyclists**. Thesis (Master of science in Civil Engineering) – University Of California, IRVINE

Providelo, J. K. (2011) **Nível de Serviço para Bicicletas: um estudo de caso nas cidades de São Carlos e Rio Claro**. Tese (Doutorado em Engenharia Urbana) – Centro de Ciências Exatas, Universidade Federal de São Carlos.

Segadilha, A. B. P. (2014) **Identificação dos principais fatores que influenciam na escolha da rota dos ciclistas: Um estudo de caso de São Carlos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Centro de Ciências exatas, Universidade Federal de São Carlos.

Sener I. N.; Eluru N.; Bhat C. R. (2009) **An Analysis of Bicyclists and Bicycling Characteristics: Who, Why, and How Much are they Bicycling?** Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, nº 2134, p. 63-72.

Stinson, M. A.; Bhat, R. C. (2004) **Frequence of bicycle commuting: Internet-Based Survey analysis**. Transportation Research Board, n. 3493.

Tilahun N.Y.; Levinson D.M.; Krizek K.J., (2007) **Trails, lanes, or traffic: Valuing bicycle facilities with an adaptive stated preference survey**. Transportation Research Part A, nº41 p. 287–301.

Winters M., Teschke K., Grant M., Setton E. M., Brauer M. (2010) **How far out of the way will we travel?** Built environment influences on route selection for bicycle and car travel. 89th Annual Meeting of the Transportation Research Board.

Zaiontz, C. (2015) **Real Statistics Using Excel**. [www.real-statistics.com](http://www.real-statistics.com)

## ANÁLISE DE INFRAESTRUTURA FERROVIÁRIA UTILIZANDO AS FERRAMENTAS DE ECOEFICIÊNCIA

Data de aceite: 03/05/2021

### Filipe Batista Ribeiro

<http://lattes.cnpq.br/6424323417858377>

### Bruno Guida Gouveia

<http://lattes.cnpq.br/5991925401759457>

### Filipe Almeida Corrêa do Nascimento

<http://lattes.cnpq.br/1845480649434596>

### Marcelino Aurélio Vieira da Silva

Programa de Engenharia de Transportes,  
COPPE - Centro de Tecnologia  
Universidade Federal do Rio de Janeiro  
UFRJ  
<http://lattes.cnpq.br/7060585515102803>

### Antônio Carlos Rodrigues Guimarães

<http://lattes.cnpq.br/8890983301899546>

### Priscila Celebrini de Oliveira Campos

Programa de Pós-graduação em Engenharia  
de Transportes, Instituto Militar de Engenharia  
- IME  
<http://lattes.cnpq.br/3912686193914606>

**RESUMO:** Este estudo propõe a análise do desempenho do pavimento ferroviário com foco no desempenho mecânico do subleito, considerando três pontos distintos de saturação deste, utilizando ferramentas de análise mecanística-empírica e Análise de Ciclo de Vida. Como resultado, ficou evidente que, utilizando os princípios da Ecoeficiência, é possível obter critérios de avaliação mais sensíveis que a comparação de parâmetro técnico por custo,

além de deixar claro que os esforços para garantir que o pavimento trabalhe em condições ideais, permitem aumentar a quantidade de passagens de eixo-padrão sobre a via permanente, resultando em maior tempo de uso da estrutura.

**PALAVRAS-CHAVE:** Ferrovia; infraestrutura; ecoeficiência; ciclo de vida; transporte.

**ABSTRACT:** This study proposes the analysis of the performance of the railway pavement with a focus on the mechanical performance of the subgrade, considering three distinct points of saturation of it, using tools of mechanistic-empirical analysis and Life Cycle Analysis. As a result, it became evident that, using the principles of Eco-efficiency, it is possible to obtain evaluation criteria that are more sensitive than the comparison of technical parameters by cost, in addition to making it clear that efforts to ensure that the pavement works in ideal conditions, allow to increase the number of standard axles load passages over the permanent track, resulting in longer use of the structure.

**KEYWORDS:** Railway; infrastructure; eco-efficiency; life cycle; transportation.

## 1 | INTRODUÇÃO

Diferentemente do transporte hidroviário e até mesmo do rodoviário, que em casos específicos, podem não demandar a construção de suas respectivas vias para que os deslocamentos de mercadorias e pessoas se realizem, o modo ferroviário é cativo da construção de uma via própria para que o material rodante possa desempenhar sua

função. Do ponto de vista ambiental, durante a construção das ferrovias é necessário o consumo de energias não renováveis, além de serem emitidos para o meio ambiente gases de efeito estufa (GEE), entre outros. Estima-se que o setor de transporte represente cerca de 14% das emissões globais do citado tipo de gases, sendo o modo rodoviário responsável por 72% (ASTAE, 2009; EEA, 2016). Contudo, como exemplo da importância das ferrovias no mundo, somando-se as redes ferroviárias da União Europeia, Brasil, China, Japão e Estados Unidos da América, chega-se a 664.800 km de ferrovias implantadas (European Union, 2016; Ministério de Infraestrutura, 2020). Esses fatos por si corroboram a realização de trabalhos que contribuam para um maior entendimento de como cada etapa do ciclo de vida das ferrovias se comporta quanto ao consumo energético e as emissões atmosféricas.

AACV (Avaliação de Ciclo de Vida) é uma ferramenta para quantificar o desempenho ambiental dos produtos, levando em consideração o ciclo de vida completo, iniciando desde a produção de matérias-primas até a disposição final dos produtos, incluindo a reciclagem de materiais, se necessário. Com sua perspectiva de sistemas baseados no ciclo de vida e ampla cobertura de impactos ambientais, a ACV é de fato uma ferramenta promissora para avaliar a sustentabilidade ambiental (Sala e Castellani, 2019). Ela quantifica o uso de recursos e os impactos ambientais associados a um produto ou serviço em um extenso conjunto de categorias de impacto (European Commission, 2010).

AACV, usualmente, desenvolve-se em quatro etapas: definição do escopo e objetivo, análise do inventário, avaliação dos impactos e interpretação dos resultados (Celauro *et al.*, 2015), mas também são admitidas outras etapas mais detalhadas (Giani *et al.*, 2015). Nascimento *et al.* (2020) mostraram ainda que, no caso específico de pavimentos rodoviários, apesar de ainda não haver um consenso entre os diversos autores que atuam na área (Santos *et al.*, 2018; Umer *et al.*, 2017) costuma-se subdividir o ciclo de vida com as seguintes etapas: (1) preparação dos insumos e seu transporte; (2) usinagem dos materiais e seus transportes; (3) construção do pavimento; (4) conservação e manutenção; (5) uso; e (6) fim da vida útil. Alinhado às concepções de AACV, o *World Business Council for Sustainable Development* (WBCSD) desenvolveu a definição de Ecoeficiência, o qual busca atrelar o conceito de criar valor e correlacioná-lo com as premissas ambientais. O objetivo é criar valor para a sociedade, e para as empresas, fazendo mais com menos considerando todo o ciclo de vida, ou seja, desde as matérias-primas até a disposição final (DeSimone e Popoff, 1997).

Finalmente, o objetivo deste trabalho é mostrar a aplicação das ferramentas de AACV nos processos de tomada de decisão na área de infraestrutura de transporte ferroviário. Por isso, utilizando os conceitos de Ecoeficiência, este estudo focou na avaliação ambiental das etapas de (1) exploração dos materiais naturais; (2) processos industriais; e (3) construção da via. Vale ressaltar que o ponto de vista do trabalho é a partir do planejamento e projeto de construção, com análise dos efeitos antes da primeira intervenção de manutenção. Entretanto, é importante destacar que a etapa de manutenção não é propriamente



dita considerada. Para isso, assumiu-se que, necessariamente, o subleito estaria sob condições que levaria à variação dos graus de saturação e, por conseguinte, às mudanças na sua capacidade de suporte. Esse efeito, por sua vez, foi considerado na estimativa de quantidade de passagens de eixo-padrão, com foco no desempenho mecânico do subleito, cuja variação de saturação leva a diferentes comportamentos e respostas da estrutura.

## 2 | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

As metodologias de análise em diferentes tipos de projetos têm adotado parâmetros técnicos (Pons *et al.*, 2020), econômicos (Sasidharan *et al.*, 2020) e ambientais (Shinde *et al.*, 2018) para avaliação de cenários. Desta forma, os resultados permitiram suportar as decisões de modo a mensurar as relações de custo-benefício entre as diferentes perspectivas possíveis, como apresentado por Barrientos (2016) com a utilização de algoritmos de otimização inteligente para avaliação de projetos na construção de infraestrutura ferroviária.

Adiante, assumindo neste estudo o foco nos critérios de sustentabilidade, foi possível mencionar alguns indicadores que vêm sendo adotados por diferentes entidades e países, conforme Van Bellen (2004). Dentre os diferentes indicadores, é possível destacar a “EcoEficiência”, como um dos tópicos que vem sendo amplamente estudados ao longo dos últimos dez anos. Como validação dessa premissa, tem-se o resultado da análise bibliométrica realizada na base *ScienceDirect*, utilizando as palavras-chave “*eco-efficiency*” e “*analysis*”. Por fim, os 68.782 documentos gerados, com a curva ascendente como resultado, permitiram concluir que o assunto possui relevância na atualidade. Diante desse cenário, foi realizada nova consulta às bases do Science Direct, visando entender a relevância da temática dentro do setor ferroviário. Utilizando as palavras-chave “*eco-efficiency*” e “*railway*” foram obtidos 1.611 resultados para os últimos 10 anos. Aplicando foco na área de transporte ferroviário, é possível notar que a maior parte das palavras trata justamente da infraestrutura, com destaque para estruturas de concreto e o subleito. Já, em nova pesquisa às bases de dados da *ScienceDirect*, utilizando as palavras “*life cycle*” e “*railway*” e, após analisar os 2.000 documentos mais relevantes (conforme filtro da plataforma) dentre os 8.769 resultados obtidos, pôde-se perceber que o estudo do subleito representa apenas 7% dos trabalhos publicados, enquanto o trilho e o dormente representam respectivamente 51% e 41%. Logo, entende-se que a realização de um estudo considerando todas as camadas e elementos seria mais completo, entretanto, a concentração de esforços na análise do subleito permitiu um aprofundamento da análise em um tema que possui um maior campo a ser investigado.

### 2.1 Pavimento Ferroviário

Sobre o objeto de aplicação da análise de ecoeficiência, ou seja, o subleito do

pavimento ferroviário, é válido explicitar sua relevância no contexto da via permanente. Segundo Li et al. (2016), assim como Selig e Li (1994), o módulo de via é o parâmetro que é usado extensivamente para quantificar a capacidade de suporte da fundação da via, assim como a rigidez das camadas de lastro, sublastro e subleito. Tais parâmetros permitem estabelecer critérios acerca do desempenho do pavimento ferroviário. Uma das principais fontes de problemas para o pavimento é a alta umidade, a qual pode gerar os impactos explicitados por IHHA (2009).

Logo, é relevante o estudo do impacto da umidade no subleito da via permanente, uma vez que os transtornos gerados por ela no pavimento são significativos. Isso porque a correção dos fatores que levam à variação de saturação do solo tem relação direta com a operação da via, tendo como consequência no escoamento da produção que é o principal core business no negócio de transportes. Mesmo para implantar as medidas de solução para estabilidade dos solos, apontadas por Lazorenko *et al.* (2019), seja por meio de camadas protetivas, melhoramento de solo e soluções estruturais, entende-se que o tempo de paralisação da operação no transporte seja de impacto relevante.

Finalmente, o presente estudo visa aplicar os conceitos de Análise de Ciclo de vida, utilizando as ferramentas de Ecoeficiência, na infraestrutura do pavimento ferroviário, tendo como critério a variação de capacidade de suporte do subleito pela variação da saturação do solo. Isto para avaliar as estratégias de gestão da infraestrutura de drenagem, com foco no desempenho insatisfatório, satisfatório e muito satisfatório dos dispositivos. Para a elaboração do trabalho, inicialmente foram estabelecidos três cenários iniciais (Cen.1, Cen.2 e Cen.3), que serviram de diagnóstico, cujo objetivo era avaliar o impacto da variação da saturação no comportamento do subleito e, posteriormente, foram criados outros três cenários (Cen.4, Cen.5 e Cen.6) que seriam respostas aos três primeiros, e cujo foco era a intervenção na variação da espessura do lastro como critério para aumentar ou reduzir a quantidade de passagens de eixo-padrão. Posteriormente, foram coletados dados técnicos acerca dos materiais, geometria da via, carregamento, quantidades de eixo-padrão de projeto ( $N_{projeto}$ ) e demais elementos necessários para a análise mecanística-empírica do pavimento ferroviário, utilizando o software Systrain. A seguir, foram utilizados dois diferentes modelos matemáticos (tensão e deformação) para obter o  $N_{efetivo}$ , a fim de mensurar o input a ser comparado na análise de Ecoeficiência. Adiante, com as espessuras das camadas da estrutura empregada na análise estrutural, e uso da base de dados do Sistema de Custos Referenciais de Obras – SICRO, foram estimados os quantitativos dos materiais a serem empregados, assim como o custo. Adiante, com uso dessas quantidades e do inventário ambiental EcoInvent® foram estimados os impactos de  $CO_{2eq}$ , ou seja, o output. Por fim, para o cálculo da Ecoeficiência foram comparados os inputs e outputs de cada cenário, assim como também o cálculo da eficiência do custo como benchmarking de solução trivial.

### 3 | MÉTODOS

Os aspectos contratuais acerca da operação da ferrovia se mostram como um dos pontos cruciais para o gerenciamento do transporte, ou seja, impactam diretamente os custos de transação (Merkert e Nash, 2013). Diante disso, entende-se que o bom funcionamento da via permanente possibilita uma maior Velocidade Máxima Autorizada (VMA), além de reduzir as paralisações para manutenção, resultando num melhor desempenho da operação da via. Com isto em vista, a garantia da estabilidade do solo de fundação do pavimento ferroviário permite que o subleito não seja um dos problemas da degradação da via (Lazorenko *et al.*, 2019). Todavia, quando algum problema é identificado como de origem nesse elemento, a resolução dos problemas pode demandar tempo e recursos elevados, sendo de difícil mensuração do efeito. Diversas são as causas das variações de saturação, sendo desde o mau funcionamento ou inexistência dos dispositivos de drenagem, assim como influência do N.A., tipo de solo ou mesmo problemas da infiltração da água ao longo do perfil (Lazorenko *et al.*, 2019).

Para isso, este estudo visa estimar os impactos por parâmetros técnicos, econômicos e ambientais gerados pela falta de planejamento no funcionamento dos dispositivos de drenagem, que ocasionam variação significativa de umidade no subleito. É preciso reforçar que a análise é feita a partir da ótica da etapa de construção da ferrovia, e o desdobramento das decisões de projeto ao longo do tempo de uso da via, e antes da primeira intervenção de manutenção. Por fim, foram desenvolvidos seis cenários com as seguintes premissas, conforme a Figura 1.

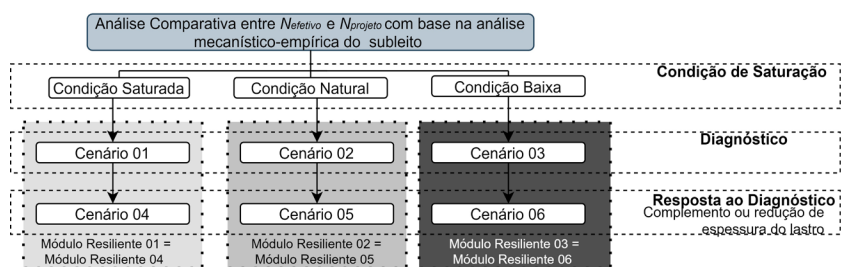


Figura 1: Premissas adotadas e estrutura dos principais critérios para elaboração dos cenários

Sobre a análise, definidas as premissas de projeto e espessuras de camadas iniciais, foram fixadas as 03 primeiras seções para o diagnóstico e, posteriormente, alteradas as demais conforme resposta aos resultados. A seguir, na Figura 2, é apresentado o fluxograma utilizado para elaboração do estudo. A etapa inicial consistiu no levantamento de dados e informações das premissas de projeto. Adiante, foi utilizado software de análise tensão-deformação para obtenção dos critérios para avaliação técnica. Definidas as espessuras

das camadas de pavimento no final de cada cenário, foram levantadas as quantidades de insumos por meio de base de dados pública de serviços de engenharia ferroviária. Em continuidade, com uso de inventário de ciclo de vida e as quantidades dos insumos consumidos, foram estimados os impactos. Por conseguinte, utilizando tabela de preços pública para custos de ferrovia, obteve-se a mensuração econômica para um quilômetro de cada seção de pavimento analisada. Por fim, foram comparadas as ecoeficiências obtidas, com base nas quantidades de eixo-padrão e no investimento financeiro.

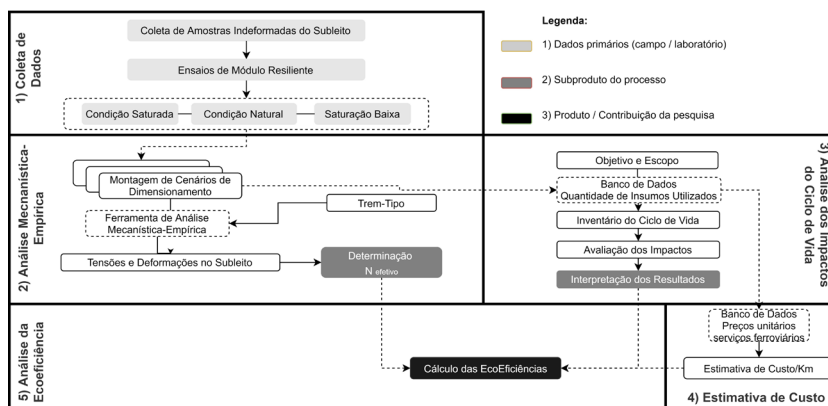


Figura 2: Fluxograma das etapas de metodologia de análise

### 3.2 Parâmetros Técnicos

Como critério para avaliação técnica foi utilizada a quantidade de eixos-padrão efetivo ( $N_{efetivo}$ ) aplicados sobre um subleito, em relação à quantidade de eixos-padrão de projeto ( $N_{projeto}$ ), até antes da realização da primeira intervenção. Vale ressaltar que a método utilizado para estimativa do  $N_{efetivo}$  está baseado no método para dimensionamento de camadas granulares proposta por Li et. al. (2016). Isto com foco na variação de rigidez do solo (Módulo de Resiliência, MR), o qual é diretamente influenciado pela de umidade (Peng et al., 2020). Por isso, foi utilizada uma amostra indeformada de solo em três diferentes condições de saturação: saturada, natural e seca (Campos, 2019). É preciso deixar claro que, a saturação natural se encontra próxima da condição de umidade ótima do solo. Além disso, para a saturação seca, o corpo de prova ensaiado foi submetido à perda de umidade por evaporação, sendo este recurso meramente aplicado para análise acadêmica. Logo, como referência, entende-se que quanto maior a quantidade de aplicações de carga em relação ao  $N_{projeto}$  sobre o pavimento ferroviário, maior será sua vida útil.

Como principal input para os cálculos de determinação de  $N_{efetivo}$ , tem-se a determinação da tensão-desvio efetiva aplicada no topo do subleito. Para isso, foi utilizado o software Sysrain, no qual foram inseridas as informações acerca das propriedades físicas

e mecânicas dos materiais (trilho, dormente, lastro, sublastro e subleito), características geométricas da via, assim como o carregamento e trem-tipo a que o pavimento estava sujeito. A construção dos cenários procedeu de acordo com a variação dos dois seguintes critérios de Módulo de Resiliência e espessura do lastro como apresentado previamente na Figura 1. Finalmente, o valor do ( $N_{\text{efetivo}}$ ) foi mensurado com base nos critérios de tensão e deformação do subleito segundo os princípios da Mecânica dos Pavimentos (Medina e Motta, 2015), cujos parâmetros foram obtidos pelos ensaios de cargas repetidas (Campos, 2019). Para definição do utilizando o modelo de Heukelom e Klomp (Eq. 1):

$$\sigma_{\text{adm}} = \frac{0,006 \text{ MR}}{1+0,7\log N} \quad (1)$$

em que  $\sigma_{\text{adm}}$ : Tensão admissível;  
 MR: Módulo de Resiliência;  
 N: quantidade de eixo-padrão.

Os valores de Módulo Resiliente foram fixados encontrando durante o ensaio de laboratório e a tensão-desvio efetiva (no topo do subleito) obtida como output do Systrain como exibido na Figura 3.

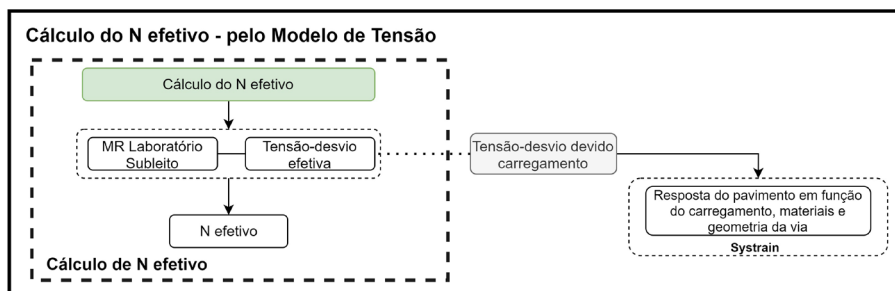


Figura 3: Metodologia de cálculo do Nefetivo pelo Modelo de Tensão

Já sobre o uso do modelo de deformação permanente (Figura 4), primeiramente foi utilizada um modelo existente na tese de Guimarães (2009), compatível com o solo em estudo (Eq. 2) Adiante, com base nas informações do  $N_{\text{projeto}}$ , tensão admissível (tensão-desvio) calculada pelo modelo de Heukelom e Klomp (Eq. 1) e a tensão de confinamento com base na norma DNIT 179/18-IE (2018), foi obtida a deformação específica intrínseca do material estudado. Adiante, mantendo o modelo de Guimarães (2009) (Eq. 2), mas alterando o valor da tensão-desvio pelo output do Systrain e, fixando a deformação específica, calculou-se o  $N_{\text{efetivo subleito}}$ .

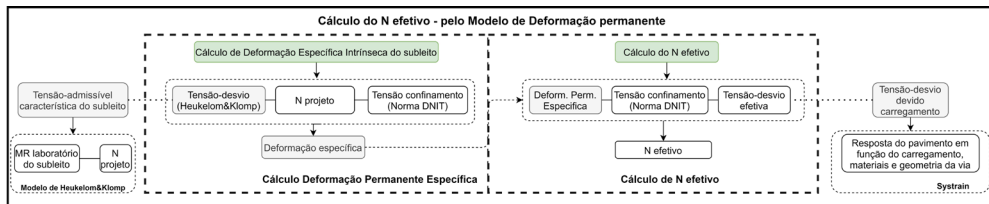


Figura 4: Metodologia de cálculo do N efetivo pelo Modelo de Deformação Permanente

O modelo de deformação permanente adotado (Areia-argilosa do ES) é apresentado na Equação 03, conforme Guimarães (2009):

$$\epsilon_p(\%) = 0,643(\sigma_3)^{0,093}(\sigma_d)^{1,579}N^{0,055} \quad (2)$$

- em que
- $\epsilon_p$ : Deformação permanente específica;
  - $\sigma_3$ : Tensão confinante;
  - $\sigma_d$ : Tensão desvio;
  - N: Número de ciclos de aplicação da carga (quantidade de eixo-padrão).

Quanto aos parâmetros iniciais de projeto e dados de input no Systrain, estes são apresentados na Tabela 1.

QUANTO À APLICAÇÃO DE CARGA E GEOMETRIA		QUANTO AOS MATERIAIS		QUANTO À QUANTIFICAÇÃO DOS INSUMOS, CUSTOS E IMPACTO	
N (número de aplicações do eixo-padrão)	2,2 x 10 <sup>6</sup>	Trilho	TR-68	Base dados mensuração de insumos e custos	SICRO 03
Carga por eixo (em toneladas)	25	Dormente	Concreto monobloco		
Tipo de vagão	Hooper – 2 truques	Lastro	Brita (Profillidid, 2006)		
Distância entre eixos (m)	1,70	Sublastro	Cascalho (Indraratna <i>et al.</i> , 2011)	Inventário de emissões	Ecolnvent®
Bitola (m)	1,60	Subleito	Areia (A-2-4) (Campos <i>et al.</i> , 2019)		
Espaçamento dormentes (cm)	60				
Ferramenta para análise tensão / deformação	Systrain				
QUANTO ÀS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICA DOS MATERIAIS					
Elemento da via	Material	Tipo	Massa específica (kg/m <sup>3</sup> )	Medida de Rigidez (Módulo de Resiliência)	Coef. Poisson

Trilho	Aço	Linear isotrópico	7850	210 (GPa)	0,3
Dormente	Concreto	Linear isotrópico	2400	32 (GPa)	0,3
Lastro	Brita	Resil. Elast. Linear	2500	130 (MPa)	0,2
Sublastro	Cascalho	Resil. Elast. Linear	1670	80 (MPa)	0,35
Subleito Saturado			2016	31 (MPa)	0,3
Subleito Natural	Areia	Resil. Elast. Linear	2012	38 (MPa)	0,3
Subleito Baixa Saturação			1865	143 (MPa)	0,3

Tabela 1: Parâmetros de Projeto para elaboração das análises

É importante mencionar que a análise ideal deveria considerar a variação de umidade dentro da sazonalidade que ocorre em campo. Entretanto, devido a limitações técnicas das ferramentas utilizadas, não foi possível considerar essa premissa tão relevante. Todavia, entende-se que as condições aqui propostas visam nortear as visões acerca do tema, possibilitando uma análise preliminar do que posteriormente poderá ser refinado.

### 3.3 Critérios Ambientais

Finalizada a análise dos parâmetros técnicos e de posse das geometrias definitivas das estruturas de pavimento para cada cenário, foram levantadas as quantidades de insumos a serem consumidos na construção de 1km de ferrovia utilizando-se a base de dados do Manual de Custos de Infraestrutura de Transportes - SICRO (DNIT, 2020), conforme Tabela 2. Dentre os insumos gerados, foram utilizados os seguintes para análise: brita, aço, areia, cimento, plastificante de concreto e óleo diesel.

A seguir, empregando o inventário de ciclo de vida do *EcoInvent® v.3.05*, foram estimados os valores de impacto de Aquecimento Global (*Global warming – GWP100a*), em função da quantidade de  $CO_2_{eq}$ . Tendo como referência o fluxograma de impacto gerado pelo *EcoInvent®*, é possível notar que as principais contribuições provêm do aço (trilho) e do cimento (dormente), elementos que não sofreram alteração durante este estudo. Logo, as análises finais foram feitas considerando o valor total do impacto gerado, entretanto, posteriormente o foco foi direcionado nas quantidades da brita e do óleo diesel. As composições usadas estão na Tabela 2.

BASE DE DADOS - SICRO		BASE DE DADOS - ECOINVENT®	
CÓDIGO	SERVIÇO	COMPOSIÇÃO	FONTE
3009248	Posicion. e assen. mec. TR 68, comp. 240 m, bitola métrica ou larga, dorm. concreto, 1.667 un/km, jun. elast	Gravel, crushed {RoW} production   Cut-off, U	KÜNNIGER; WERNER; RICHTER (2001); BYERS (2003); KELLENBERGER et al. (2007)
3009281	Posicionamento com pórtico de dormentes de concreto, bitola larga - 1.667 un/km	Steel, unalloyed {RoW} steel production, converter, unalloyed   Cut-off, U	BYERS (2003); CLASSEN et al. (2009)
3009133	Pré-alinhamento mecanizado da grade		
3009089	Assentamento manual de contratrilhas TR 68, barra de 12 m		KÜNNIGER; WERNER; RICHTER (2001); KELLENBERGER et al. (2007)
3009091	Lançamento de lastro, 10 cm de altura, primeiro levante, descarga de pedra britada de caminhões	Sand {RoW} gravel and quarry operation   Cut-off, U	
2909148	Regularização do lastro com reguladora de lastro		
2909149	Nivelamento contínuo com socadora automática de linha, segundo levante de 15 cm - duas passadas	Cement, Portland {RoW} production   Cut-off, U	KELLENBERGER et al. (2007); BOESCH; HELLWEG (2010); USGS (2010)
2909150	Nivelamento contínuo com socadora automática de linha, terceiro levante de 15 cm - duas passadas	Plasticiser, for concrete, based on sulfonated melamine formaldehyde {GLO} production   Cut-off, U	GENDORF (2000); KÜNNIGER; WERNER; RICHTER (2001)
5502978	Compactação de aterros a 100% do Proctor normal		
4016096	Escavação e carga de material de jazida com escavadeira hidráulica		
5914359	Transporte com caminhão basculante de 10 m³ - rodovia em leito natural	Diesel consumption	JUNGBLUTH (2007); EDWARDS et al. (2017)

Tabela 2: Insumos utilizados das bases de dados SICRO e ECOINVENT®

### 3.4 Parâmetros de custos

Utilizando ainda a base de dados do SICRO, ou seja, as quantidades e os preços unitários (referência Jan/20), e os serviços definidos na Tabela 2, foram estimados os custos para 01 km de ferrovia conforme as seções de projeto de cada cenário.

### 3.5 Cálculo das Ecoeficiências

Para o cálculo da Ecoeficiência, é possível adotar a recomendada pelo *World Business Council for Sustainable Development* (WBCSD) segundo Leal Junior (2010), o qual sugere que a ecoeficiência seja representada pelo quociente entre o valor do produto - ou serviço - e as influências ambientais de acordo com a Equação 3:

$$\text{Ecoeficiência} = \frac{\text{Número N (eixos-padrão)}}{\text{Quantidade de CO}_2 \text{ eq}} \quad (3) \quad \text{Eficiência de Custo} = \frac{\text{Número N (eixos-padrão)}}{\text{Custo de construção (R\$)}} \quad (4)$$

Como pode se notar, a análise de Ecoeficiência baseia-se na comparação entre os *inputs* (número de eixos-padrão N, neste estudo) e os *outputs* (a quantidade de CO<sub>2</sub> eq,



neste estudo), conforme Usón *et al.* (2011). Logo, diante desse conceito, e visando analisar o impacto do custo de construção das estruturas de pavimento ferroviário, foi realizado o cálculo de eficiência do custo considerando este critério como um output do processo e, conforme Equação 4. Como análise final, foram comparadas as relações percentuais entre as ecoeficiências de todos os elementos constituintes da estrutura do pavimento (trilho, dormente, lastro e sublastro), e das ecoeficiências apenas do lançamento de brita do lastro, uma vez que a alteração das estruturas se baseou na complementação ou supressão de espessuras dessa camada.

#### 4 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

Finalmente, são apresentados os resultados obtidos para os cenários propostos, tendo como base os critérios técnicos, ambientais e econômicos, conforme Tabela 3. Por fim, estes são analisados perante outras metodologias em trabalhos desenvolvidos cujo foco tem a ecoeficiência como ferramenta de estudo.

CENÁRIO	N <sub>efetivo</sub>			IMPACTO Global warming (GWP100a) (kg CO2 eq)			CUSTO (R\$ / km)		
	Tensão	Deformação	Valor Adotado	Brita (Lastro)	Diesel	Total (estrutura)	Brita (Lastro)	Diesel	Total (estrutura)
1	1,39E+06	1,03E+06	1,03E+06	24.523,62	30.916,13	468.688,17	143.398	32.175	1.799.658
2	3,13E+07	1,16E+08	3,13E+07	24.523,62	30.916,13	468.688,17	143.398	32.175	1.799.658
3	2,6827E+26	1,81E+22	1,81E+22	24.523,62	30.916,13	468.688,17	143.398	32.175	1.799.658
4	2,08E+06	2,00E+06	2,00E+06	28.207,29	32.707,45	474.163,15	167.201	34.039	1.823.461
5	1,25E+07	3,14E+07	1,25E+07	17.120,53	27.316,10	457.685,05	95.560	28.428	1.716.937
6	8,5286E+24	3,71E+21	3,71E+21	17.120,53	27.316,10	457.685,05	95.560	28.428	1.716.937

Tabela 3: Resultados consolidados das análises técnica, ambiental e econômica

De forma consolidada são apresentados os resultados dos processos demonstrados na metodologia. O primeiro trata do número de eixos-padrão N calculado utilizando os modelos de tensão e deformação. Para este estudo, foi considerado o menor valor encontrado entre os dois critérios, tornando a análise mais conservadora. Tendo como referência o  $N_{projeto} = 2,2 \times 10^6$ , os resultados encontrados para os Cenários 1, 2, 4 e 5 evidenciaram que a ordem de grandeza do obtida no trabalho mostra-se coerente com os valores de número de eixos-padrão utilizados em estudos de pavimentação (Campos, 2019; Rosa, 2020). Já os resultados apresentados pelos Cenários 3 e 6 permitiram inferir que o bom gerenciamento dos dispositivos de drenagem possibilitam um tempo maior de utilização da via, podendo ser considerados os conceitos de pavimento perpétuo, ou seja, o bom funcionamento da estrutura de pavimento, tendo com parâmetro neste estudo

o subleito, produz longa duração, conforme o estudo de dimensionamento mecanístico-empírico de Islam *et al.* (2020) e a avaliação do ciclo de vida de Sultan e Guo (2016) em pavimento perpétuo.

Ainda sobre o resultado do  $N_{\text{efetivo}}$  dos cenários de diagnóstico em relação ao  $N_{\text{projeto}}$  é preciso ressaltar que o objetivo desta análise é realizar alterações no pavimento que possibilitem a via permanente atingir pelo menos a quantidade de passagens de eixo-padrão definida em projeto. Entretanto, caso o valor encontrado excedesse de forma significativa o mínimo estabelecido, foi empreendido esforço para que houvesse o retorno à essa referência inicial, visando economia de recursos. Logo, utilizando a variação na espessura do lastro e manutenção nas demais condições da estrutura, tem-se a Tabela 4 com as espessuras finais para essa camada:

CENÁRIO	CRITÉRIO	LASTRO	CENÁRIO	CRITÉRIO	LASTRO
1	Subleito Saturado	30 cm	4	Aumento da espessura do lastro	35 cm
2	Subleito Sat. Natural	30 cm	5	Diminuição da espessura do lastro	20 cm
3	Subleito Sat. Baixa	30 cm	6	Diminuição da espessura do lastro	20 cm

Tabela 4: Espessuras finais do lastro dos cenários considerados

Adiante, tem-se os valores mensurados do impacto de Potencial de Aquecimento Global (*Global Warming*) tendo como referência a quantidade de  $\text{CO}_2_{\text{eq}}$ . Como dito na metodologia, além do total de emissão produzido para a construção da estrutura de pavimento ferroviário, também foram detalhados os valores desse critério referente à brita e diesel, visto que foram o foco das variações das estruturas propostas. É interessante observar a manutenção da coerência dos valores apresentados com os cenários propostos. Ou seja, os Cenários 01 a 03 apresentam valores similares, visto que tratam do diagnóstico da variação da umidade e, portanto, é caracterizado pela mesma estrutura; sobre o Cenário 04, o mesmo se diferencia pelo aumento da espessura da camada de lastro, ou seja, pelo complemento de brita cujo objetivo é possibilitar o aumento da quantidade de passagem de eixos-padrão mesmo com o subleito em condição saturada; e, finalmente, os Cenários 5 e 6 demonstram a redução na espessura do lastro, com o objetivo de otimizar o uso de recursos uma vez que excederam o  $N_{\text{projeto}}$ . Vale ressaltar que, o sublastro se manteve inalterado, visto que sua função não se trata apenas de reduzir os esforços sobre o topo do subleito, mas também evitar a cravação do lastro na fundação da via permanente e, com isso, os problemas advindos desse processo (Lazorenko *et al.*, 2019)

Nesse mesmo sentido, acerca dos custos estimados para a construção das estruturas de pavimento ferroviário utilizando as bases de dados do DNIT (SICRO), é possível notar o

mesmo comportamento mencionado para os impactos, cujas variações estão intimamente relacionadas com as respostas aos diagnósticos estabelecidos inicialmente. Considerando os custos de superestrutura - sem BDI - do projeto da Ferrovia Ferro-Grão (EF-170), no trecho Sinop-Miritituba + Ramal Santarenzinho + Ramal Itapacura, com o valor estimado de R\$ 1.792.931.197,54 com a extensão de 976,6 km, é possível obter um custo por quilômetro de R\$ 1.835.891,05 (Ministério de Infraestrutura, 2016). Comparativamente aos valores encontrados neste estudo, é possível concluir que a ordem de grandeza está coerente com os praticados atualmente. Na Tabela 5, são apresentados os valores de ecoeficiência calculados conforme os critérios de impacto e impacto com custo.

CENÁRIO	ECOEFIÊNCIA: N/Impacto (eixo-padrão / Kg CO2 eq)		EFICIÊNCIA DO CUSTO: N/ Custo (eixo-padrão / R\$)	
	Brita e Diesel	Total	Brita e Diesel	Total
1	18,62	2,20	5,88	0,57
2	564,01	66,72	178,09	17,37
3	3,27E+17	3,87E+16	1,03+17	1,01+16
4	32,85	4,22	9,94	1,10
5	281,99	27,38	101,07	7,30
6	8,34E+16	8,10E+15	2,99+16	2,16+15

Tabela 5: Resultado da Ecoeficiência e Eficiência do custo

Diante dos resultados obtidos, é possível notar que a variação da saturação do solo, gerada pelas diferentes estratégias de gestão dos dispositivos de drenagem, podem influenciar diretamente a eficiência no uso dos recursos ambientais, mesmo com a manutenção da relação do investimento financeiro entre as estruturas. É nítido que a conclusão acerca do impacto da variação da umidade se mostra desde a estimativa da quantidade de número de eixos-padrão, entretanto, o uso da ferramenta de ecoeficiência traz um ponto de vista além do trivial, que seria a relação técnica com o custo. Com isso, visando analisar a relação entre os cenários estabelecidos, e as medidas adotadas em cada situação, foi elaborada a Tabela 6, na qual é possível mensurar os ganhos e perdas entre o diagnóstico e as decisões de intervenção.

COMPARATIVO	ECOEFIÊNCIA: N/Impacto		EFICIÊNCIA CUSTO: N/Custo	
	Brita e Diesel	Total	Brita e Diesel	Total
Cenário 4 - Cenário 01	76%	92%	69%	91%
Cenário 5 - Cenário 02	-50%	-59%	-43%	-58%
Cenário 6 - Cenário 03	-74%	-79%	-71%	-79%

Tabela 6: Comparativo entre cenários iniciais e finais

Portanto, com base nos dados apresentados pode-se concluir que:

- A variação da umidade no subleito é um fator crítico no que tange à quantidade de eixo-padrão admissível pelo pavimento ferroviário. Mesmo a análise não considerando as flutuações de sazonalidade, devido às limitações técnicas das ferramentas utilizadas, fica claro que quanto melhor gerida a saturação do solo na fundação da via permanente, maior será o tempo de utilização da estrutura;
- Os cenários aqui apresentados, mesmo após as intervenções de complementação ou redução do lastro, consideraram a manutenção das condições iniciais da análise. Isto mostra que os ganhos possíveis na mitigação da grande amplitude na saturação podem trazer ganhos expressivos;
- Comparando os critérios de ecoeficiência e eficiência de custo, é possível notar que as variações de eficiência ambiental e econômica é mais expressivo quando se coloca a análise a estrutura como um todo, ou seja, o efeito em apenas um elemento é potencializado para toda a estrutura. Outro ponto é que, mesmo a ordem de grandeza entre os dois critérios se mostrando similar, a ecoeficiência apresenta maior sensibilidade às variações usadas;
- Considerando os Cenários 01 e 04, a intervenção no que se refere à complementação do lastro na estrutura do pavimento ferroviário, visando a diminuição das tensões-desvio atuantes sobre o topo do subleito, se mostra uma medida eficiente. O aumento de ecoeficiência utilizando a quantidade de eixos-padrão como referência demonstra forte correlação entre essas variáveis e, além disso, que a estratégia para aumentar a quantidade de passagens se mostra um bom investimento;
- Sobre as intervenções realizadas nos Cenários 02, 03, 05 e 06 é possível notar que, de forma contraintuitiva, a redução no uso de recursos não apresenta eficiência, pelo contrário, a perda na quantidade de passagens de eixo-padrão torna a ação desvantajosa. Ou seja, utilizar uma espessura menor de lastro não é interessante quando se analisa o *trade-off* em relação ao ganho na quantidade de passagens de eixo-padrão. Entende-se que isso ocorra porque a economia sugerida é pouco representativa em relação ao esforço de construção total da estrutura do pavimento ferroviário;

Finalmente, conclui-se que a ferramenta de ecoeficiência é possível ser aplicada para estudo de cenários em infraestrutura de transporte, dentro da análise de ciclo de vida (ACV). Assim como Cao *et al.* (2019) empregaram essa metodologia para comparação entre alternativas de reabilitação de pavimentos asfálticos, cuja expectativa era que o estudo servisse como referência para tomadores de decisão fazerem escolhas bem fundamentadas do ponto de vista de ecoeficiência. Nesse mesmo sentido, Fracchia *et al.*(2012) em seu estudo para aprimorar o desempenho ambiental da infraestrutura ferroviária, também se dedicaram com uso das ferramentas de Ações Coordenadas InfraGuidER a munir os tomadores de decisão com informações para suportar as opções

de renovação e planejamento.

## 5 | CONCLUSÕES

Por fim, após a análise das ecoeficiências, entende-se que o gerenciamento bem elaborado e executado dos fatores que afetam as variações de saturação, como a drenagem por exemplo, permite que a via permanente seja usada por muito mais tempo do que quando o funcionamento dessas estruturas apresenta um baixo desempenho. Dessa forma, mesmo que não analisado nesse estudo, é possível inferir que soluções corretivas tendem a ser opções interessantes de intervenção pelo retorno que oferecem. Portanto, entende-se que o presente estudo permitirá que melhores decisões sejam feitas no âmbito do investimento em infraestrutura de pavimento ferroviário.

## REFERÊNCIAS

ASTAE - Asia Sustainable and Alternative Energy Program. (2009) Greenhouse gas emission mitigation in road construction and rehabilitation. Obtido 15 de junho de 2020, de <https://www.astae.net/content/greenhouse-gas-emissionmitigation-road-construction-and-%0Arehabilitation>

Barrientos, F., Moral, A., Rodríguez, J., Martínez, C., Campo, F., Carnerero, R., Parra, M., Benítez, J. M., e Sainz, G. (2016) Knowledge-based Minimization of Railway Infrastructures Environmental Impact. *Transportation Research Procedia*, 14, 840–849. doi:10.1016/j.trpro.2016.05.032

Campos, P. C. de O. (2019) *Avaliação do efeito da variação da umidade no comportamento mecânico de um trecho da Estrada de Ferro Carajás*. Instituto Militar de Engenharia.

Campos, P. C. de O., Silva, B.-H. D. A. e, e Marques, M. E. S. (2019) Caracterização geotécnica dos solos de subleito ferroviário: investigações de campo e laboratoriais. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, 10(6), 178–193. doi:10.6008/CBPC2179-6858.2019.006.0016

Cao, R., Leng, Z., e Hsu, S. C. (2019) Comparative eco-efficiency analysis on asphalt pavement rehabilitation alternatives: Hot in-place recycling and milling-and-filling. *Journal of Cleaner Production*, 210, 1385–1395. doi:10.1016/j.jclepro.2018.11.122

Celauro, C., Corriere, F., Guerrieri, M., e Lo Casto, B. (2015) Environmentally appraising different pavement and construction scenarios: A comparative analysis for a typical local road. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 34, 41–51. doi:10.1016/j.trd.2014.10.001

DeSimone, L. D., e Popoff, F. (1997) *Eco-Efficiency – The Business Link to Sustainable Development*. (Mit Press, Ed) (1º ed). Mit Press.

DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. (2018) *Norma DNIT 179/2018 – IE - Pavimentação – Solos – Determinação da deformação permanente – Instrução de Ensaio*. Brasil.

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. (2020) *Manual de Custos de Infraestrutura de Transportes – Sistema de Custos Referenciais de Obras - SICRO. Jan. 2020*. Brasil.

EEA - European Environment Agency. (2016, junho 29) Transport in Europe: key facts and trends. Obtido de <https://www.eea.europa.eu/signals/signals-2016/articles/transport-in-europe-key-facts-trends>

European Commission. (2010) *Institute for Environment and Sustainability: International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook - General guide for Life Cycle Assessment - Detailed guidance*. (Publications Office of the European Union, Ed). Publications Office of the European Union, Luxemburgo. doi:10.2788/94987

European Union. (2016) *EU Transport in figures*. (Publications Office of the European Union, Ed). Publications Office of the European Union, Luxemburgo. doi:10.2832/861735

Fracchia, M., Carlson, R., Steckler, P., Oberhauser, A., e Leitao, N. (2012) Enhance the Environmental Performance of Railway Infrastructure. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 48, 1047–1057. doi:10.1016/j.sbspro.2012.06.1081

Giani, M. I., Dotelli, G., Brandini, N., e Zampori, L. (2015) Comparative life cycle assessment of asphalt pavements using reclaimed asphalt, warm mix technology and cold in-place recycling. *Resources, Conservation and Recycling*, 104, 224–238. doi:10.1016/j.resconrec.2015.08.006

Guimarães, A. C. . (2009) *Um método mecanístico empírico para a previsão da deformação permanente em solos tropicais constituintes de pavimentos*. Universidade Federal do Rio de Janeiro.

IHHA - International Heavy Haul Association. (2009) *Guidelines to Best Practices for Heavy Haul Railway Operations: Infrastructures Construction and Maintenance Issues*. IHHA.

Indraratna, B., Salim, W., e Rujikiatkamjorn, C. (2011) *Advanced rail geotechnology - Ballasted track*. *Advanced Rail Geotechnology - Ballasted Track*. doi:10.1201/b10861

Islam, S., Sufian, A., Hossain, M., Miller, R., e Leibrock, C. (2020) Mechanistic-Empirical design of perpetual pavement. *Road Materials and Pavement Design*, 21(5), 1224–1237. doi:10.1080/14680629.2018.1546218

Lazorenko, G., Kasprzhitskii, A., Khakiev, Z., e Yavna, V. (2019) Dynamic behavior and stability of soil foundation in heavy haul railway tracks: A review. *Construction and Building Materials*, 205, 111–136. doi:10.1016/j.conbuildmat.2019.01.184

Leal Junior, I. C. (2010) *Método de escolha modal para transporte de produtos perigosos com base em medidas de ecoeficiência*. UFRJ/COPPE.

Li, D.; Hyslip, J.; Sussmann, T.; Chrismer, S. *Railway Geotechnics*. CRC Press. 2016. EUA.

Medina, J., e Motta, L. M. G. (2015) *Mecânica dos Pavimentos*. (E. Interciência, Ed) (3º ed). Rio de Janeiro.

Merkert, R., e Nash, C. A. (2013) Investigating European railway managers' perception of transaction costs at the train operation/infrastructure interface. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 54, 14–25. doi:10.1016/j.tra.2013.07.014

Ministério de Infraestrutura. (2016) *EF-170 Trecho Sinop/MT – Itaituba/PA – Relatório IV: Estudos Definitivos de Engenharia. Volume 7 – Orçamento Parte 01*. Brasil.

Ministério de Infraestrutura. (2020) Síntese do setor ferroviário (2020). Obtido 16 de julho de 2020, de <https://www.infraestrutura.gov.br/component/content/article.html?id=5380>

Nascimento, F., Gouveia, B., Dias, F., Ribeiro, F., e Silva, M. A. (2020) A method to select a road pavement structure with life cycle assessment. *Journal of Cleaner Production*, 271, 122210. doi:10.1016/j.jclepro.2020.122210

Peng, J., Zhang, J., Li, J., Yao, Y., e Zhang, A. (2020) Modeling humidity and stress-dependent subgrade soils in flexible pavements. *Computers and Geotechnics*, 120(August 2019), 103413. doi:10.1016/j.compgeo.2019.103413

Pons, J. J., Villalba Sanchis, I., Insa Franco, R., e Yepes, V. (2020) Life cycle assessment of a railway tracks substructures: Comparison of ballast and ballastless rail tracks. *Environmental Impact Assessment Review*, 85(January), 106444. doi:10.1016/j.eiar.2020.106444

Profillidis, V. A. (2006) *Railway Management and Engineering*. (Ashgate Publishing, Ed) (3<sup>o</sup> ed). Ashgate Publishing.

Rosa, A. C. da. (2020) *Análise mecânica do pavimento ferroviário de um trecho da Ferrovia Centro-Atlântica*. Instituto Militar de Engenharia.

Sala, S., e Castellani, V. (2019) The consumer footprint: Monitoring sustainable development goal 12 with process-based life cycle assessment. *Journal of Cleaner Production*, 240, 118050. doi:https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118050

Santos, J., Ferreira, A., Flintsch, G., e Cerezo, V. (2018) A multi-objective optimisation approach for sustainable pavement management. *Structure and Infrastructure Engineering*, 14(7), 854–868. doi:10.1080/15732479.2018.1436571

Sasidharan, M., Burrow, M. P. N., e Ghataora, G. S. (2020) A whole life cycle approach under uncertainty for economically justifiable ballasted railway track maintenance. *Research in Transportation Economics*, 80(January). doi:10.1016/j.retrec.2020.100815

Selig, T., e Li, D. (1994) Track Modulus : Its Meaning and Factors Influencing It. *Transportation Research Record*, 1(9), 47–54.

Shinde, A. M., Dikshit, A. K., Singh, R. K., e Campana, P. E. (2018) Life cycle analysis based comprehensive environmental performance evaluation of Mumbai Suburban Railway, India. *Journal of Cleaner Production*, 188, 989–1003. doi:10.1016/j.jclepro.2018.04.022

Sultan, S. A., e Guo, Z. (2016) Evaluating life cycle costs of perpetual pavements in China using operational pavement management system. *International Journal of Transportation Science and Technology*, 5(2), 103–109. doi:10.1016/j.ijtst.2016.09.007

Umer, A., Hewage, K., Haider, H., e Sadiq, R. (2017) Sustainability evaluation framework for pavement technologies: An integrated life cycle economic and environmental trade-off analysis. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 53, 88–101. doi:10.1016/j.trd.2017.04.011

Usón, A. A., Capilla, A. V., Bribián, I. Z., Scarpellini, S., e Sastresa, E. L. (2011) Energy efficiency in transport and mobility from an eco-efficiency viewpoint. *Energy*, 36(4), 1916–1923. doi:10.1016/j.energy.2010.05.002

Van Bellen, H. M. (2004) Indicadores de sustentabilidade: um levantamento dos principais sistemas de avaliação. *Cadernos EBAPE.BR*, 2(1), 01–14. doi:10.1590/s1679-39512004000100002

## DETERMINAÇÃO DO TEMPO DE PASSAGEM EM JORNADA DE SERVIÇO DE MAQUINISTAS

Data de aceite: 03/05/2021

**Marina Donato**

<http://lattes.cnpq.br/3065688209469583>

**Caio Almeida Arêas Reis**

<http://lattes.cnpq.br/9412926613962693>

**Paulo Roberto Borges**

<http://lattes.cnpq.br/9271703907434433>

**Mayara Souza Gomes**

<http://lattes.cnpq.br/3105506268556273>

**Débora Dávila Cruz Santos**

<http://lattes.cnpq.br/1853504828726186>

**Ana Flávia Moraes de Souza**

<http://lattes.cnpq.br/2108483278176465>

**RESUMO:** Este trabalho teve como objetivo apresentar a aplicação do modelo de regressão linear para a determinação do tempo de passagem em jornada de maquinistas antes do serviço em trem dadas as variáveis *headcount* e volume de cargas a ser transportado. Foram realizadas tanto uma regressão linear simples quanto uma múltipla a fim de ser determinar qual modelo gera os melhores resultados. As análises foram feitas a partir de dados do transporte ferroviário de cargas no estado no Rio de Janeiro entre os períodos de 2012 e 2014.

**PALAVRA-CHAVE:** Logística Ferroviária, Passagem em Jornada, Headcount, Volume de Cargas.

### DETERMINATION OF THE PASSAGE TIME ON SERVICE DAYS FOR MACHINISTS

**ABSTRACT:** This study aims to present an application of linear regression in order to determine the passage time of train crew before they start their service in train. For that, both headcount and the amount of goods transported by train were used in a simple linear regression and a multivariate linear regression to test which one would generate the best results. The analysis was done with data of rail freight transport in the state of Rio de Janeiro between 2012 and 2014.

**KEYWORDS:** Railway Logistics, Passage Time, Headcount, Cargo Volume.

### 1 | INTRODUÇÃO

O transporte é entendido como o deslocamento de pessoas ou mercadorias entre dois pontos distintos. É um setor extremamente importante para a economia, uma vez que cria um alto nível de atividade, gerando trabalho, facilidades e recursos que movimentam todo o ramo de negócios (BALLOU, 1993).

O transporte ferroviário no Brasil apresenta problemas de infraestrutura e de falta de investimentos, que consequentemente fazem com que ele não seja amplamente utilizado no país (RIBEIRO et al., 2002), sendo ainda exclusivamente dependente do modal rodoviário (ELLER et al, 2021). A principal vantagem que esse modal oferece é à capacidade de carregamento de cargas de alta tonelage,



principalmente quando é necessário percorrer longas distâncias (CNT, 2021a).

Esse modo de transporte é peça fundamental para a logística de qualquer região produtora de mercadorias de grandes volumes que necessitam ser transportados por grandes distâncias. A infraestrutura logística tem se tornado cada vez mais importante para as economias nacionais e para o desenvolvimento das empresas (CULLINANE *et al.*, 2005).

No transporte ferroviário de cargas, esse modo de transporte é responsável pelo deslocamento de mercadorias provenientes das indústrias de base (minério de ferro, grãos, produtos siderúrgicos não acabados, containers, são alguns exemplos) o faz desempenhar um papel ainda mais importante na economia de um país (FALCÃO, 2013). A movimentação das cargas é considerada a principal componente dos sistemas logísticos das empresas. Sua importância pode ser medida por meio de, pelo menos, três indicadores financeiros: custo, faturamento e lucro. O transporte representa, em média, 64% dos custos logísticos, 4,3% do faturamento, e em alguns casos, mais que o dobro do lucro (FLEURY *et al.*, 2000). A existência de grandes volumes não gera qualquer tipo de empecilho para o transporte, visto que todos os recursos envolvidos como locomotivas, vagões, obras de arte, entre outros, são criados especificamente para esta característica (SILVA *et al.*, 2013). Por sua vez, a grande distância geográfica pode gerar algumas dificuldades para a logística de troca de tripulação, visto que quanto maior essa distância, mais tempo pode-se gastar para realização dessa troca.

A tripulação, mais conhecida como equipagem na ferrovia, apresenta uma participação significativa nos custos variáveis das companhias, o que exige que esta seja utilizada com a maior produtividade possível. A equipagem ferroviária é constituída pelos recursos humanos diretamente responsáveis pela condução de trens, capacitados tecnicamente para o exercício desta função (SANTOS, 2008).

Uma etapa do ciclo de trabalho da equipagem muito importante para ser medida e controlada é o tempo gasto pelo maquinista do momento em que é designado a um trem até o momento em que assume de fato a condução da composição. Esse tempo é chamado de passagem e pode variar muito em função do ponto onde a equipagem se apresenta e o ponto onde o trem está aguardando para receber a equipe (SILVA *et al.*, 2013). Existem pontos determinados para a apresentação desses maquinistas, mas de acordo com o tempo de viagem realizado pelo trem, este recurso pode ser necessário em pontos diferentes da malha ferroviária.

Quanto maior for esse tempo, mais improdutiva será a utilização da equipagem, o que pode acarretar, principalmente, no aumento de custos. É importante estudar e conhecer o comportamento desse indicador uma vez que este irá balizar decisões importantes tanto no curto quanto no longo prazo. No curto prazo, a variação desse tempo de passagem pode indicar a necessidade de contratação de mais carros para levar os maquinistas do ponto de apresentação ao ponto de troca ou até mesmo mudar o padrão de condução dos trens para

enquadrar melhor o tempo de percurso aos pontos de troca existentes. Já no longo prazo, decisões mais estratégicas como a contratação de mais pessoas ou a mudança de pontos de troca dependem em grande parte dos valores esperados para esse indicador.

Este trabalho determinou o tempo de passagem em jornada de maquinistas para o início do serviço em trem, utilizando o banco de dados de uma empresa do ramo ferroviário lotada em Minas Gerais. Este artigo está dividido em seis seções: introdução, em seguida no referencial teórico é descrita o transporte de carga ferroviário e jornada de trabalho de maquinistas; na seção três é apresentado objetivo deste estudo; na seção quatro é explicado sobre as variáveis utilizadas, na seção cinco a metodologia estatística, na seção seis resultados e por fim, as considerações finais, na seção sete.

## 2 | REFERENCIAL TEÓRICO

O transporte ferroviário é utilizado primordialmente para o transporte de insumos de produção e produtos agrícolas, necessitando de altos investimentos para construção da estrutura, linha férrea e equipamentos para o seu funcionamento, tem frequência baixa e é mais lento que o modo rodoviário, entretanto pode ser considerado mais seguro. Segundo Sousa et al. (2009), os grãos o principal produto transportado pelo modal ferroviário, principalmente nos corredores agrícolas.

Para Hara (2009), o modo ferroviário é mais eficiente no transporte de cargas únicas, que ocupem um vagão inteiro, quando cargas distintas são alocadas no mesmo vagão é necessário fazer o remanuseio, este processo traz lentidão e aumenta o preço do produto transportado.

Segundo pesquisa da Confederação Nacional dos Transportes (CNT, 2021), um dos principais problemas do modo ferroviário são as invasões de faixa de domínio da ferrovia, fazendo com que a velocidade do trem tenha que ser reduzida, em até 87,5%, 40 Km/h para 5 ou 10 Km/h. Além disso, o modo ferroviário no Brasil enfrenta, ainda, um outro problema, no que tange a possibilidade de integração dentro do próprio modo que é a diferença de bitolas e malhas e existentes no país (DRUMMOND, 2008). A CNT (2021b), afirma que aproximadamente 80% de toda a malha ferroviária brasileira usada para o transporte de carga é constituída em bitola estreita, tendo sua escolha sido realizada em virtude em virtude desta permitir o uso de curvas com pequenos raios, entretanto a bitola larga possibilita maior velocidade e maior capacidade de tráfego.

Segundo a CNT (2021b), de 1969 a 2009 a malha ferroviária apresentou uma série de reduções, chegando em 2009 a 14,5% do percentual que possuía em 1969, enquanto, no mesmo intervalo de tempo, a malha rodoviária aumentou 180%. Entretanto, de acordo com a CNT (2021b), a partir do repasse da malha ferroviária a iniciativa privada uma série de investimentos foram realizados, com o intuito de maximizar a sua utilização, seja por meio do aumento da disponibilidade operacional ou maximizar na logística de escoamento,

diminuindo os tempos de ciclo entre uma operação e outra. A Figura 1, apresenta os investimentos oriundos da iniciativa privada, no período de 1997 a 2010, em comparação com os investimentos realizados pelo governo federal.

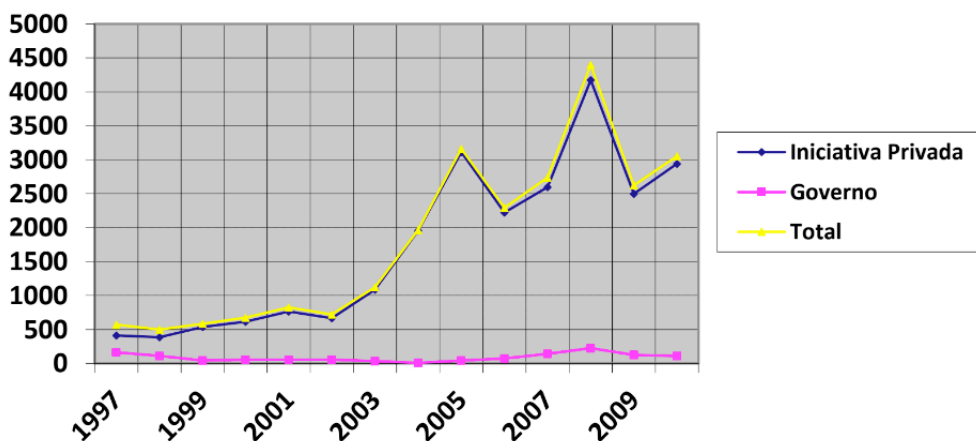


Figura 1 - Investimento em Ferrovias (em milhões).

Fonte: CNT, 2021b.

Em sua pesquisa, Ballou (2001) mostra que cerca de dois terços dos custos logísticos referem-se ao transporte. É notável a importância do transporte ferroviário para um país, pois é essencial que as empresas possam movimentar matérias primas e produtos acabados.

Para implementar estratégias logísticas que possam atender o cenário complexo da rede ferroviária é extremamente complicado devido aos fatores de controle eficaz do fluxo, no que diz respeito ao tráfego dos trens, é uma das ações que impacta de forma positiva o processo de escoamento da produção e a do fluxo dos trens, em qualquer ferrovia, deve ser dinâmico e apresentar o menor número possível de paradas não programadas reduzindo, consequentemente, o tempo em percurso dos mesmos (EPAMINONDAS *et al.*; 2010).

Dias (1987) comenta ainda que o serviço de transporte ferroviário possui opções restritas de percursos. Sendo assim, essa inflexibilidade pode vir a influenciar no fluxo de transporte, pois parte dos trens necessitam trafegar pelas mesmas linhas de circulação, trazendo como consequências atrasos na chegada para carga e descarga por causa de congestionamentos.

Segundo Chopra e Meindl (2003), as grandes preocupações operacionais do modo ferroviário referem-se ao cronograma do veículo e de pessoal, atrasos e desempenho on-time. O desempenho desse meio é prejudicado pela enorme quantidade de tempo gasta em cada transição. O tempo de viagem geralmente representa uma pequena parte do tempo

total da entrega. Os atrasos são exagerados porque as composições dos trens não são agendadas. Sendo que o trem só parte da estação quando há vagões suficientes para a sua composição e, assim, os vagões esperam o trem ser composto agravando a incerteza do tempo de entrega para o embarcador.

Para Larcher (1985), um dos principais fatores responsáveis pelo cumprimento eficiente, ou ineficiente, do objetivo definido para as ferrovias, e também por um elevado custo, é dado pela mão de obra humana, dentre os quais se destacam as equipagens ferroviárias, maquinistas, responsáveis pela operação dos trens.

Um conceito de grande importância é o conceito de jornada de trabalho, que contempla não apenas o tempo de trabalho em trem, mas também os tempos prontidão que são tempos de espera por trem, ou seja, tempo transcorrido entre a apresentação da equipagem e sua alocação em trem e o tempo de passagem que é comum em situações em que é necessário deslocamento desse recurso para alocação em trem, a qualquer ponto diferente do posto, sendo que entre duas jornadas deve haver um período de descanso (SANTOS, 2007).

De acordo com Trinchinato (2021) a duração da jornada de trabalho padrão é planejada com 12 horas, sendo consideradas 2 horas improdutivas antes do serviço (tempo em que a equipagem fica aguardando a chegada do trem na sede e/ou desloca-se até o mesmo), 8 horas de serviço (na efetiva condução de composições ferroviárias) e 2 horas improdutivas ao fim do serviço, para retorno à sede ou ao local de descanso.

### 3 | OBJETIVO

Como objetivo de atender tanto a necessidade de curto prazo quanto a de longo prazo, tornou-se necessário definir um modo de estimar os resultados que seja simples para não depender de complexos cenários e que seja assertiva ao ponto de balizar de maneira correta as tomadas de decisões. Para tal, optou-se pela aplicação do método de regressão linear para estimar os valores de horas de passagem de maquinistas antes de assumirem a condução efetiva do trem.

Duas informações podem ser consideradas como o pilar de todo o dimensionamento de transporte ferroviário: volume diário a ser transportado e *headcount*. Essas serão as variáveis independentes do modelo de regressão linear, que terá como variável dependente a quantidade de horas de passagem.

### 4 | INFORMAÇÕES INICIAIS

Este trabalho utilizou dados reais de janeiro de 2012 a agosto de 2014 referentes à utilização de equipagem na região do estado do Rio de Janeiro. A amostra contém 32 dados, um para cada mês de análise, para cada variável. Valores anteriores a esse período podem apresentar distorções na apuração que poderiam enviesar o trabalho.

Após uma inicial análise estatística dos dados, não foram encontrados *outliers*, o que gera uma maior segurança para a construção dos modelos de regressão. Segundo GUJARATI (2006), dependendo da amostra utilizada, é necessário tratar os *outliers* para que não distorçam os resultados encontrados pelo modelo de regressão.

#### 4.1 Horas de passagem

Esta será a variável dependente do modelo de regressão linear e terá como unidade de medida horas média diária para o total de colaboradores. Analisou-se tanto a forma como se dá a distribuição desses dados, por meio da aplicação do teste de Kolmogorov-Smirnov, quanto às principais medidas estatísticas da amostra de dados. Observa-se que o valor de significância obtido para a variável foi de 0,886, superior ao nível de significância adotado de 0,05, o que indica que os dados podem ser modelados por uma distribuição de Gauss, Figura 2.

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test			Descriptive Statistics						
			HR_PASSE	N	Range	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
N		32	HR_PASSE	32	1747	2294	4041	3113,19	451,352
Normal Parameters <sup>a,b</sup>	Mean	3113,19	Valid N (listwise)	32					
	Std. Deviation	451,352							
Most Extreme Differences	Absolute	,103							
	Positive	,103							
	Negative	-,062							
Kolmogorov-Smirnov Z		,583							
Asymp. Sig. (2-tailed)		,886							

a. Test distribution is Normal.  
b. Calculated from data.

Figura 2 - Análise estatística da variável hora de passagem

#### 4.2 Volume diário transportado

Esta é uma das variáveis elegíveis para compor o modelo de regressão linear como variável independente, visto que é passível de controle para qualquer horizonte de tempo em que se queira empregar o modelo proposto. A unidade de medida é a tonelada útil (TU) e os dados utilizados correspondem à média diária transportada em cada mês.

Analisando a distribuição desses dados, tem-se novamente uma distribuição de Gauss, visto que o nível de significância é superior a 0,05, conforme apresentado na Figura 3.

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test			Descriptive Statistics						
N		32	VOL	N	Range	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
Normal Parameters <sup>a,b</sup>	Mean	301884,56	VOL	32	109097	244158	353255	301884,56	25770,782
	Std. Deviation	25770,782	Valid N (listwise)	32					
Most Extreme Differences	Absolute	,123							
	Positive	,076							
	Negative	-,123							
Kolmogorov-Smirnov Z		,696							
Asymp. Sig. (2-tailed)		,718							
a. Test distribution is Normal.									
b. Calculated from data.									

Figura 3 -Análise estatística da variável volume transportado.

### 4.3 Headcount de maquinistas

Esta é a última variável a ser analisada e que também irá compor o modelo de regressão linear como variável independente. Sua unidade de medida é a quantidade de colaboradores vinculados ao centro de custo analisado em cada mês. Repetindo-se o teste de Kolmogorov-Smirnov, obtém-se novamente um comportamento referente à distribuição de Gauss para a amostra selecionada, uma vez que o nível de significância dos dados foi superior à 0,05, Figura 4.

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test			Descriptive Statistics						
N		32	HCOUNT	N	Range	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
Normal Parameters <sup>a,b</sup>	Mean	265,38	HCOUNT	32	62	233	295	265,38	20,144
	Std. Deviation	20,144	Valid N (listwise)	32					
Most Extreme Differences	Absolute	,144							
	Positive	,144							
	Negative	-,098							
Kolmogorov-Smirnov Z		,817							
Asymp. Sig. (2-tailed)		,517							
a. Test distribution is Normal.									
b. Calculated from data.									

Figura 4 - Análise estatística da variável *headcount* de maquinistas.

## 5 | METODOLOGIA

A análise de regressão linear é uma das técnicas estatísticas mais utilizadas para investigar e modelar o relacionamento existente entre as diversas variáveis de um processo. Sua utilização vem se ampliando a cada dia, principalmente devido ao fato de ser baseada na ideia relativamente simples de se empregar uma equação para expressar o relacionamento entre as variáveis de interesse (WERKEMA, 1996).

Conforme apresentado por CORRAR, PAULO e DIAS FILHO (2007), a técnica de regressão linear é amplamente empregada na área de negócios principalmente com o propósito de previsão. Essa técnica consiste em determinar uma função matemática para descrever o comportamento de determinado indicador, dado os valores de outros indicadores já conhecidos. O principal objetivo é alcançar valores previstos para o indicador alvo, ou seja a variável dependente, com maior precisão em relação à simples utilização

da média.

Segundo GUJARATI (2006), qualquer modelo de regressão linear pode ser expresso como:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n + \varepsilon \quad (1)$$

em que Y: variável dependente;

$X_1, X_2, \dots, X_n$ : variáveis independentes;

$\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_n$ : parâmetros da regressão;

$\varepsilon$ : resíduo ponderado entre todas as observações reais e as estimadas;

Caso exista apenas  $\beta_1$ , podendo ou não existir  $\beta_0$ , o modelo será uma regressão linear simples, com apenas um coeficiente angular. Caso exista mais de um coeficiente angular, esta será uma regressão linear múltipla.

Os modelos de regressão apresentam, porém, alguns pressupostos que precisam ser seguidos para garantir a qualidade do resultado encontrado. Esses pressupostos são apresentados por CORRAR, PAULO e DIAS FILHO (2007) e GUJARATI (2006), conforme exposto abaixo:

- A variável Y é aleatória;
- A esperança matemática dos resíduos é nula, ou seja, a média dos resíduos é nula;
- A variância de  $\varepsilon$  (termo de erro) é constante e igual a  $\sigma^2$  (condição de homocedasticidade dos resíduos);
- Os resíduos são independentes entre si;
- Os resíduos podem ser modelados pela distribuição de Gauss.

Para a estimação do modelo, utiliza-se o Método dos Mínimos Quadrados (MMQ), cujo objetivo é obter a menor soma de quadrados dos resíduos (SQR) possível (CORRAR, PAULO e DIAS FILHO, 2007). O objetivo de trabalhar com os quadrados dos resíduos é eliminar a contraposição de sinais, visto que, caso essa eliminação não ocorra, qualquer modelo proposto será, no máximo, tão bom quanto à utilização da média, porque, para esse caso, a soma dos resíduos será sempre igual à zero.

Além da análise de SQR, deve-se analisar R Square ( $R^2$ ) como medida de qualidade do modelo proposto. O  $R^2$  é denominado coeficiente de determinação ou poder explicativo da regressão (GUJARATI, 2006) e pode ser obtido elevando ao quadrado o coeficiente de correlação (R), que representa o grau de associação entre as variáveis dependentes e independentes (CORRAR *et al.*, 2007).

Outro ponto de análise é o erro-padrão da estimativa, que representa a variabilidade da curva de regressão. Quanto menor o erro-padrão da estimativa, melhor o modelo estimado (CORRAR *et al.*, 2007).

## 6 I RESULTADOS

Para a realização da análise proposta nesse trabalho, utilizou-se o software SPSS para gerar o modelo de regressão linear e todos os demais pontos a serem analisados. O nível de significância ( $\alpha$ ) adotado foi de 5%. Em relação às variáveis utilizadas, a variável dependente será tratada por HR\_PASSE e as variáveis independentes serão tratadas por VOL e HCOUNT, sendo essas, respectivamente, o volume transportado e o *headcount* de maquinistas.

A construção do modelo foi realizada em duas partes. Primeiro utilizou-se apenas uma variável independente e depois se inseriu a segunda variável. O modelo que apresentou o melhor desempenho foi o escolhido para determinar o comportamento da quantidade de horas de passe.

### 6.1 Modelo de Regressão Linear Simples

A primeira etapa do modelo consiste em analisar a matriz de correlação entre as variáveis, a fim de determinar qual o grau de influência que as variáveis independentes têm em relação à variável dependente. O resultado desta análise pode ser observado na Figura 5.

		HR_PASSE	VOL	HCOUNT
HR_PASSE	Pearson Correlation	1	,749**	,788**
	Sig. (2-tailed)		,000	,000
	N	32	32	32
VOL	Pearson Correlation	,749**	1	,562**
	Sig. (2-tailed)	,000		,001
	N	32	32	32
HCOUNT	Pearson Correlation	,788**	,562**	1
	Sig. (2-tailed)	,000	,001	
	N	32	32	32

\*\* . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

Figura 5 - Matriz de correlação entre as variáveis.

Nessa matriz, observa-se que todas as variáveis independentes selecionadas têm grande correlação com HR\_PASSE, uma vez que apresentam um nível de significância menor que  $\alpha$ , sendo que as variáveis HCOUNT e VOL são, nessa ordem, as mais correlacionadas com a variável HR\_PASSE.

Como a maior correlação ocorre com a variável HCOUNT,  $R = 0,788$ , essa foi selecionada para a construção da equação de regressão simples. O sumário do modelo de regressão, bem como a análise de variância são apresentados na Figura 6.



Model Summary					ANOVA <sup>b</sup>					
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Model	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	,788 <sup>a</sup>	,621	,608	282,446	1	Regression 3922009	1	3922008,821	49,163	,000 <sup>a</sup>
						Residual 2393271	30	79775,702		
						Total 6315280	31			

a. Predictors: (Constant), HCOUNT  
b. Dependent Variable: HR\_PASSE

Figura 6 - Resumo do modelo de regressão linear simples e da análise de variância.

O coeficiente de determinação,  $R^2$ , indicou que 62,1% da variação da variável dependente HR\_PASSE foi explicada pelas variações ocorridas na variável independente HCOUNT. Além disso, a soma total dos resíduos quadrados apresentou o valor de 6.315.280, isto é, esse é o resíduo ao quadrado que ocorreria caso fosse utilizada apenas a média da variável dependente HR\_PASSE para predição. Utilizando-se a variável independente HCOUNT, esse resíduo reduziu-se para 2.392.271, indicando que o modelo gerado foi superior do que aquele com a utilização apenas da média dos dados.

Como o Sig. do Teste F - ANOVA apresentou o valor de 0,000, inferior ao  $\alpha$  de 0,05, rejeita-se a hipótese de que  $R^2$  é igual a zero. Desse modo, pode-se dizer que a variável estatística exerce influência sobre a variável dependente, ou seja, o modelo obtido é estatisticamente significativo.

Os valores referentes aos coeficientes da equação da reta do modelo de regressão linear simples foram obtidos e estão apresentados na Figura 7.

Coefficients <sup>a</sup>						
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	-1572,599	670,151		-2,347	,026
	HCOUNT	17,657	2,518	,788	7,012	,000

a. Dependent Variable: HR\_PASSE

Figura 7 - Coeficientes da reta do modelo de regressão linear simples.

Como foi utilizada uma constante na geração desse modelo, tem-se que o valor previsto para cada observação foi o valor do intercepto -1.572,599 mais o coeficiente de regressão 17,657 multiplicado pelo valor da variável independente. Dessa maneira, a equação de regressão pode ser escrita como:

$$HR\_PASSE = -1.572,599 + 17,657 \cdot HCOUNT \quad (2)$$

Por meio dessa equação, a cada 1% de aumento na quantidade de maquinistas, a quantidade de horas de passe aumenta, em média, 17,657%.

Outra observação é que o Teste t mostrou que o Sig. do intercepto é maior que

$\alpha$ , o que pode significar que o mesmo não deveria ser utilizado para fins preditivos. Em termos práticos, porém, não é necessário testar o termo constante (CORRAR, PAULO e DIAS FILHO, 2007). Entretanto, o coeficiente de regressão da variável independente difere significativamente de zero (Sig. menor que  $\alpha$ ).

## 6.2 Modelo de Regressão Linear Múltipla

A próxima etapa foi à inserção da variável independente volume no novo modelo de regressão, cujo resumo e análise da variância são apresentados na Figura 8.

Model Summary					ANOVA <sup>b</sup>						
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Model	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	
1	,870 <sup>a</sup>	,758	,741	229,692	1	Regression	4785284	2	2392642,072	45,351	,000 <sup>a</sup>
						Residual	1529996	29	52758,474		
						Total	6315280	31			

a. Predictors: (Constant), VOL, HCOUNT

a. Predictors: (Constant), VOL, HCOUNT

b. Dependent Variable: HR\_PASSE

Figura 8 - Resumo do modelo de regressão linear múltipla e da análise de variância.

O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) com a inclusão da variável VOL aumentou 13,7%, caracterizando um poder de explicação adicional ao modelo. O conjunto de variáveis independentes passou a explicar, portanto, 75,8% da variação na variável dependente HR\_PASSE.

Por sua vez, o coeficiente de determinação ajustado ( $R^2$  ajustado) é uma medida modificada do coeficiente de determinação, que considera o número de variáveis independentes incluídas no modelo e o tamanho da amostra. Quando o objetivo é a comparação entre equações, é uma medida mais útil que o  $R^2$  (CORRAR *et al.*, 2007). O primeiro modelo apresentou um  $R^2$  ajustado de 0,608, contra 0,741 do modelo múltiplo, demonstrando que o modelo de regressão linear múltipla foi superior em relação modelo de regressão simples.

O erro padrão da estimativa (Std. Error of the Estimate) também é considerado uma medida de precisão das previsões (CORRAR *et al.*, 2007) e, sua redução de 282,466 para 229,692 corroborou com a afirmação de melhor ajustamento do modelo de regressão linear múltipla.

Em relação aos resíduos ao quadrado, o modelo com duas variáveis apresentou valores menores quando comparado com o modelo de regressão simples. Sendo assim, o modelo estimado com duas variáveis independentes é, portanto, mais preciso que a equação com uma única variável independente.

Além disso, o teste F da análise da variância apresentou um nível de significância menor que  $\alpha$ , rejeitando-se, portanto, a hipótese de que o  $R^2$  é igual à zero. Dessa maneira, tem-se que pelo menos uma das variáveis independentes exerce influência sobre a HR\_

PASSE, conclui-se que o modelo é significativo como um todo.

Os valores referentes aos coeficientes da equação da reta do modelo de regressão linear múltiplo foram obtidos e estão apresentados na Figura 9.

**Coefficients<sup>a</sup>**

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	-2442,960	585,920		-4,169	,000
	HCOUNT	12,034	2,475	,537	4,862	,000
	VOL	,008	,002	,447	4,045	,000

a. Dependent Variable: HR\_PASSE

Figura 9 - Coeficientes da reta do modelo de regressão linear múltipla.

A equação de regressão do novo modelo pode ser expressa do seguinte modo:

$$HR\_PASSE = -2.442,960 + 12,034 \cdot HCOUNT + 0,008 \cdot VOL \quad (3)$$

A variação de 1% em HCOUNT provoca um acréscimo de 12,034%, em média, na variável dependente e, a variação de 1% em VOL resulta em um acréscimo de 0,008%, em média, em HR\_PASSE.

As variáveis independentes foram expressas em unidades diferentes, o que tornou difícil a comparação do peso de cada coeficiente no modelo de regressão. A padronização dos coeficientes é a ferramenta estatística que permite comparar esses valores e nada mais é do que a divisão do coeficiente pelo seu desvio padrão (CORRAR *et al.*, 2007). Desse modo, percebeu-se que os pesos dos coeficientes são muito próximos, sendo que o HCOUNT é aproximadamente 20% maior que VOL.

Considerando a significância estatística dos estimadores, esses poderiam ser usados para prever a quantidade de horas de passagem, dado o *headcount* de maquinistas e o volume diário transportado. É importante apenas lembrar que há 24,2% de variação de HR\_PASSE que não foram explicadas por esse modelo, sendo este um percentual aceitável para a proposta deste estudo.

## 7 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os argumentos apresentados garantiram ferramentas para análise dos resultados desse trabalho quanto aos objetivos propostos. Dois modelos de regressão linear, sendo um simples e outro múltiplo, foram testados para explicar o comportamento da quantidade de horas de passagem entre a apresentação na sede e o início da jornada em trem da tripulação dos trens da malha sudeste na região do Rio de Janeiro.

O modelo de regressão linear múltiplo obteve o melhor desempenho, visto que apresentou o valor de apenas 1.529.996 resíduos quadrados, frente os 2.392.271 pelo

modelo de regressão linear simples, utilizando-se a variável dependente HCOUNT e 6.315.280 pelo cálculo a partir da média.

Quando se analisa o erro padrão da estimativa, obtêm-se uma redução de 282,466 para 229,692 quando se troca a regressão simples pela múltipla, resultado que corrobora com a afirmação de maior ajustamento desse último modelo.

Partindo para o poder explicativo dessas funções matemáticas, percebe-se que quando se utiliza duas variáveis independentes, 75,8% das variações no tempo de passagem estão sendo explicadas pela função gerada, enquanto quando se utiliza apenas uma variável independente, apenas 62,1% dessas variações estão sendo explicadas.

Tem-se, portanto, que a equação obtida pelo modelo de regressão múltipla pode ser utilizada para explicar o comportamento da variável HR\_PASSE, com  $R^2$  igual a 75,8%, tanto para a tomada de decisões no curto prazo quanto no longo prazo, sendo necessário apenas obter os valores de *headcount* de maquinistas e a estimativa de volume diário a ser transportado.

## REFERÊNCIAS

BALLOU, Ronald H. **Logística Empresarial**. São Paulo: Atlas, 1993.

BALLOU, Ronald H. **Gerenciamento da cadeia de suprimentos: planejamento, organização e logística empresarial**. 4. ed. Bookman Editora, 2001.

CHOPRA, S; MEINDL, P. **Gerenciamento da cadeia de suprimentos: estratégia, planejamento e operação**. São Paulo: Prentice Hall, 2003.

CORRAR, Luiz J.; PAULO, Edilson; DIAS FILHO, José Maria; **Análise Multivariada para os Cursos de Administração, Ciências Contábeis e Economia**. São Paulo: Editora Atlas. 2007.

CNT - Confederação Nacional do Transporte. **Boletim Econômico 2013**. Disponível em: <http://www.cnt.org.br/Paginas/boletimeconomico.aspx>. Acesso em 5 fevereiro de 2021a.

CNT - Confederação Nacional do Transporte (2011). **Pesquisa CNT de Ferrovias – Brasília, CNT 2011**. Disponível em: < [http://www.cnt.org.br/Paginas/Pesquisas\\_Detalhes.aspx?p=7](http://www.cnt.org.br/Paginas/Pesquisas_Detalhes.aspx?p=7)>. Acesso em 12 de janeiro de 2021b.

CULLINANE, Kevin; SONG, Dong-Wook; WANG, Tengfei; The application of **mathematical programming approaches to estimating container port** production efficiency. *Journal of Productivity Analysis*, v. 24, p. 73-92. 2005.

DIAS, M. A. **Transportes e distribuição física**. São Paulo: Atlas, 1987.

DRUMMOND, M. A. B. **Uma contribuição ao estudo dos custos de transporte doméstico de carga no Brasil**. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Transportes, Instituto de Pós-Graduação e Pesquisa em Administração da Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2008.

ELLER, Rogéria A. G.; SOUSA, W. C. J.; CURTI, M. L. C. **Custos do transporte de carga no Brasil: rodoviário versus ferroviário.** Disponível em: [www.pesquisaemtransportes.net.br/relit/index.php/relit/article/download/jv5n1p3/79+&cd=1&hl=ptBR&ct=clnk&gl=br](http://www.pesquisaemtransportes.net.br/relit/index.php/relit/article/download/jv5n1p3/79+&cd=1&hl=ptBR&ct=clnk&gl=br). Acesso em 25 de janeiro. 2021.

EPAMINONDAS, Luiz Antônio Rezende; NASCIMENTO, Bruno Oliveira; **Análise das características dos atrasos dos trens da estrada de ferro Vitória-Minas.** XXX Encontro Nacional de Engenharia de Produção (ENEGEP), São Carlos -SP: ABEPRO. 2010.

FALCÃO, Viviane Adriano; A Importância do Transporte Ferroviário de Carga **para a Economia Brasileira e suas Reais Perspectivas de Crescimento.** Revista de Engenharia Civil. Ed. 45, p. 51 – 63. 2013.

FLEURY, P. F.; WANKE, P.; FIGUEIREDO, K. F. **Logística Empresarial: A Perspectivas Brasileira.** Coleção COPPEAD de Administração. São Paulo: Atlas, 2000.

GUJARATI, Damodar N.; **Econometria Básica.** Tradução Maria José Cyhlar Monteiro. Rio de Janeiro: Editora Elsevier – 3ª reimpressão. 2006.

HARA, C. M. **Logística: armazenagem, distribuição e trade/marketing.** Campinas: Alínea, 2009.

LARCHER, Ronaldo. **Alocação e Controle de Equipagens Ferroviárias.** Dissertação de Mestrado em Ciências de Transportes – Instituto Militar de Engenharia, 1985.

SANTOS, Marcus Vinicius da Silva dos; **Estudo da Alocação de Postos de Equipagens – O Caso da MRS Logística S/A.** Minas Gerais: Monografia Instituto Militar de Engenharia. 2008.

SILVA, Adriano Candido da; RODRIGUES, Ricardo Saar; **Indicadores de tempo de passagem entre apresentação na sede e início da jornada em trem da tripulação dos trens da malha sudeste na região do Rio de Janeiro.** Trabalho de conclusão do curso de Especialização em Métodos Estatísticos Computacionais. Universidade Federal de Juiz de Fora. Juiz de Fora – MG. 2013.

SOUSA, P.; OLIVEIRA, M.; RESENDE, P. **Análise do modelo de concessão no transporte ferroviário brasileiro: a visão dos usuários.** In: SIMPOI, 12. 2009, São Paulo. Anais. São Paulo: FGV, 2009

RIBEIRO, Priscilla Cristina Cabral; FERREIRA, Karine Ferreira; **Logística e Transportes: uma discussão sobre os modais de transporte e o panorama brasileiro.** XXII Encontro Nacional de Engenharia de Produção (ENEGEP), Curitiba: ABEPRO. 2002.

Trinchinato, Luiz Felipe. **Planejamento operacional de trens de carga geral no interior de SP em busca da excelência.** Disponível em: <http://transportes.ime.eb.br/etfc/monografias/MON080.pdf>. Acesso em 22 de janeiro. 2021.

WERKEMA, Maria Cristina Catarino; AGUIAR, Sílvio; **Análise de Regressão: Como entender o relacionamento entre as variáveis de um processo.** Belo Horizonte, MG. Fundação Christiano Ottoni, Escola de Engenharia da UFMG. 1996.

## PROJETO DE UM SISTEMA AUTÔNOMO PURO CC DE BAIXO CUSTO UTILIZANDO ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

*Data de aceite: 03/05/2021*

### **Eliamare Alves da Silva**

Universidade Federal de Campina Grande  
Campina Grande, Paraíba

### **Danilo Medeiros de Almeida Cardins**

Universidade Federal de Campina Grande  
Campina Grande, Paraíba

### **Lizandra Vitória Gonçalves dos Santos**

Universidade Federal de Campina Grande  
Campina Grande, Paraíba

### **Kelvonn Henrique Matos de Oliveira Xavier**

Universidade Federal de Campina Grande  
Campina Grande, Paraíba

### **Jalberth Fernandes de Araújo**

Universidade Federal de Campina Grande  
Campina Grande, Paraíba

**RESUMO:** Neste trabalho apresentam-se as etapas do desenvolvimento de um produto que objetiva ser uma solução para a falta de iluminação interna em residências que não possuem energia elétrica ou que possuem, porém de forma inadequada. O produto consiste no desenvolvimento de um sistema de iluminação de baixo custo, como uma alternativa mais ecológica e financeiramente viável para substituição dos candeeiros, velas, ligações elétricas clandestinas, entre outros meios não seguros de se iluminar o interior das casas. Sendo uma alternativa para evitar a exposição diária à fumaça tóxica proveniente dos candeeiros, aos acidentes

com velas e outros dispositivos que utilizam fogo com o objetivo de iluminação, e à própria utilização de ligações elétricas clandestinas que também podem provocar incêndios e choques elétricos. Para o desenvolvimento do sistema, foi utilizada uma tecnologia econômica utilizando energias renováveis. O sistema permite que os usuários executem suas atividades cotidianas que necessitam de luz de forma mais segura e saudável.

**PALAVRAS-CHAVE:** Energia Solar Fotovoltaica. Sistemas Autônomos Puros CC. LED.

### DESING OF AN AUTONOMOUS PURE CC SYSTEM USING SOLAR PHOTOVOLTAIC SOLAR ENERGY

**ABSTRACT:** This report presents the steps for the development of a device that presents itself as a solution to the lack of internal lighting in homes that do not have electricity or which have, however, inadequately. The product consists of the development of a low cost lighting system, being a more ecological and financially viable alternative in the replacement of petroleum lamps, candles, clandestine electrical connections, among other unsafe means of interior lighting. Therefore, the present alternative was developed to avoid direct human contact with the toxic smoke from the petroleum lamps, the accidents with candles and other devices that use fire for the purpose of lighting, and the very use of clandestine electrical connections that can cause fires and shocks. Furthermore, the device is a cheap technology consisting of plastic bottles, batteries, solar panels and LED lamps. The system allows users to perform their day-to-day

activities, which mostly require light, in a safe and healthy way.

**KEYWORDS:** Photovoltaic Solar Energy. Pure Autonomous CC Systems. LED

## 1 | INTRODUÇÃO

O acesso à energia elétrica está intimamente ligado ao desenvolvimento e bem-estar da população, pois por meio dela é possível determinar um novo ritmo de vida para a sociedade, permitindo a realização de atividades durante a noite, além de trazer diversos avanços sociais. No Brasil, no entanto, ainda existe um número considerável de pessoas que vivem sem o devido acesso à energia elétrica, um déficit de 555 mil domicílios, segundo o Relatório Luz da Agenda 2030 (2018). O que expõe que apesar dos avanços vistos no país nesse sentido, ainda existe uma acentuada exclusão energética.

Segundo a Organização Mundial da Saúde - OMS (2018), a utilização de lâmpadas a querosene para iluminar os ambientes por pessoas sem acesso adequado a energia ainda é comum, expondo as residências a níveis muito altos de partículas finas criando riscos para a saúde e bem-estar dos membros da residência, pois pequenas partículas e outros poluentes da fumaça inflamam as vias aéreas e os pulmões, impedem a resposta imunológica e reduzem a capacidade de oxigenação do sangue.

Outro problema grave, é o grande número de casas com instalações clandestinas, caso muito presente em comunidades urbanas. Em 2005 as perdas de energia elétrica no Brasil, reconhecidas pelas 64 concessionárias de energia elétrica, foram da ordem de 15% do total de energia que circulou no país, sendo 32% desse percentual correspondente a perdas geradas por fraude (FOIATTO, 2009).

Diante dos sérios problemas observados pela necessidade simples de ter iluminação dentro de casa e visando contribuir ao alcance dos objetivos propostos pela Agenda 2030 e os princípios da Carta das Nações Unidas, se baseando nos 17 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável – ODS, visando contribuir com o acesso confiável, sustentável, moderno e a preço acessível à energia elétrica para todos, esse trabalho foi desenvolvido.

Logo, o produto final deste trabalho é um sistema de iluminação utilizando energia solar fotovoltaica que consiga ser de baixo custo e de baixa complexidade, porém apresente um funcionamento adequado e seguro.

## 2 | FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A energia elétrica obtida por fonte solar é resultado da conversão direta da luz solar em eletricidade por meio do efeito fotovoltaico: os sistemas fotovoltaicos captam diretamente a radiação solar, produzindo corrente elétrica. Na Figura 1 é apresentado um diagrama de blocos do sistema proposto pelo autor, composto por quatro componentes básicos: painel solar fotovoltaico, controlador de carga e, por fim, o banco de baterias. Compondo

um sistema isolado puro de tensão contínua segundo a classificação determinada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT na NBR 11704:2018 como representado na Quadro 1.

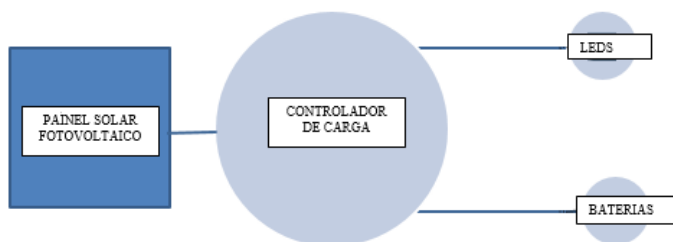


Figura 1 – Representação de Sistema Isolado Puro CC.

Fonte: Autor, 2018.

Tipos de Sistemas		Alimentação dos Consumidores	Acumulação de Energia Elétrica	Componentes Básicos	Aplicações Típicas
Sistemas Isolados	Puros	Tensão Contínua	Não	Seguidor de Potência Máxima (Desejável)	Bombeamento, Produção de Hidrogênio, etc.
			Sim	Controlador de Carga e Acumulador	Iluminação, Telecomunicações, sinalização náutica, cerca elétrica, proteção catódica, etc.

Quadro 1 – Classificação dos Sistemas Fotovoltaicos.

Fonte: NBR 11704, 2018.

A determinação da quantidade de LED que deve ser empregada é de grande importância no dimensionamento do sistema de iluminação proposto. O dimensionamento tanto dos painéis solares fotovoltaicos, quanto do banco de baterias, depende deste fator. Como base para o projeto foi escolhida uma residência localizada no bairro do Mutirão, em Campina Grande-PB. A escolha da casa foi motivada pela indicação do Projeto Litro de Luz. No Quadro 2 estão as dimensões aproximadas de cada cômodo da residência.



<b>Cômodos</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>
Sala	10
Cozinha	10
Quarto 1	10
Quarto 2	10
Banheiro	5
<b>Total</b>	<b>45</b>

Quadro 2 – Dimensões dos Cômodos da Residência Proposta.

Fonte: Autor, 2018.

### 3 | MATERIAIS E MÉTODOS

A forma mais comum de se especificar uma carga para o projeto de um Sistema Fotovoltaico é através do seu consumo diário de energia elétrica. A primeira tarefa consiste em identificar a quantidade, a potência e o tempo de funcionamento do conjunto de equipamentos que é necessário para alimentar a residência. Como o trabalho se destina a solucionar o problema de falta de iluminação, foram utilizadas para tal, lâmpadas do tipo LED. E para a determinação da quantidade de LED necessários para iluminar a residência de forma satisfatória, foi utilizado como base a norma NBR 5413, responsável por determinar os níveis de iluminância ideal para interiores. No Quadro 3 estão destacados os níveis ideais indicados pela norma para os cômodos da residência proposta.

<b>Ambiente</b>	<b>Iluminância (Lux)</b>
Sala de Estar	100-150-200
Cozinha	100-150-200
Quarto 1	100-150-200
Quarto 2	100-150-200
Banheiro	100-150-200

Quadro 3 - Iluminância Ideal Dos Cômodos.

Fonte: NBR 5413, 2018.

De posse dos valores necessários de iluminância, pode-se fazer uma relação com a área a ser iluminada, especificada no Quadro 2. Utilizando o cálculo simplificado para determinação da iluminância dos ambientes, pode-se encontrar a quantidade de LED que devem ser utilizados para cada cômodo utilizando a Equação (1).

$$Lux = \frac{\text{Fluxo Luminoso (lm)}}{\text{Área (m}^2\text{)}} \quad (1)$$

Sabendo dos valores de iluminância em lux que se deseja atingir, a área dos

ambientes e os lúmens fornecidos por cada luminária, foi possível construir o Quadro 4.

Cômodos	Área (m <sup>2</sup> )	Iluminância (Lux)	Lúmens	Lúmens por Luminária	Quantidade de Luminárias
Sala	10	100	1000	100	10
Cozinha	10	100	1000	100	10
Quarto 1	10	100	1000	100	10
Quarto 2	10	100	1000	100	10
Banheiro	5	100	500	100	5
<b>Total</b>	<b>45</b>	<b>500</b>	<b>4500</b>	<b>450</b>	<b>45</b>

Quadro 4 - Iluminância Ideal Dos Cômodos.

Fonte: Autor, 2018.

Pela quantidade de LED a ser empregada utilizando esse método, inviabilizaria o trabalho. Devido a isso, foi estipulado um valor de uma luminária a cada 5 m<sup>2</sup>, que apesar de não ser o ideal, consegue possibilitar uma iluminância razoável de 20 a 30 lux, que do ponto de vista de utilização, para o fim que se destina o trabalho, é suficiente. Sendo assim, no Quadro 5 está mostrada a quantidade de luminárias que de fato serão empregadas no projeto.

Cômodos	Área (m <sup>2</sup> )	Área por Luminária	Quantidade de Luminárias
Sala	10	5	2
Cozinha	10	5	2
Quarto 1	10	5	2
Quarto 2	10	5	2
Banheiro	5	5	1
<b>Total</b>	<b>45</b>	<b>5</b>	<b>9</b>

Quadro 5 – Quantidade de Luminárias por Área,

Fonte: Autor, 2018.

Para o tempo de funcionamento das luminárias foi determinada uma estimativa média de tempo de funcionamento, tendo em vista que dificilmente as luminárias estarão ligadas simultaneamente e por longos períodos de tempo. Logo, considerou-se 6h/dia como um tempo de utilização coerente para cada luminária.

Com a quantidade de luminárias determinada e o tempo diário de utilização, pode-se determinar a carga diária que o sistema demanda, o qual será chamado a partir de agora de Ps. Como pode-se ver na Equação (2).

$$P_s = Qtd * t * P_{LED} \quad (2)$$

- $P_s$  - Potência Demandada pelo sistema (Wh)
- $Qtd$  - Quantidade de LED
- $t$  - Tempo de utilização (h)
- $P_{LED}$  - Potência do LED (W)

No Quadro 6, determinou-se o valor de .

Quantidade de Luminárias	Tempo (h)	Potência (W)	Tensão (V)	Corrente (A)	Demanda diária do Sistema (Wh)
9	6	1,00	12,00	0,08	54

Quadro 6- Carga Demandada Pelo Sistema

Fonte: Autor, 2018.

Para o projeto, foram utilizados módulos LED com potência de 1,0 W, 100 lm/mod e temperatura de 6000 K.

### 3.1 Dimensionamento do Pannel Fotovoltaico

Para o dimensionamento de um sistema fotovoltaico é necessário obter a irradiação solar na localidade onde será instalado o sistema. Neste trabalho foi considerada a irradiação solar da cidade de Campina Grande– PB. Utilizando o Método no Mínimo Mês, pode-se garantir que o sistema irá funcionar de forma adequada durante todos os meses do ano, pois todos os outros meses possuem maior valor de irradiação solar que o mês que se obteve o menor valor de irradiação.

Por meio do SunData v 3.0, ferramenta online que se destina ao cálculo da irradiação solar diária média mensal em qualquer ponto do território nacional, oferecida pelo Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito - CRESESB, como um apoio ao dimensionamento de sistemas fotovoltaicos, pôde-se obter os valores do Quadro 7 que representam a irradiação em um plano horizontal. Pode-se perceber que o menor valor médio de irradiação acontece no mês de junho como mostrado na Figura 2, e possui valor igual a 4,06 kWh/m<sup>2</sup>. Considerando o recurso solar, é necessário realizar uma relação com o valor constante de 1 kW/m<sup>2</sup>, pois assim, pode-se obter em horas o valor médio do mínimo mês que se obteve valor constante e igual a 1 kW/m<sup>2</sup>, que a partir de agora será chamado de  $I_s$ , que representam as horas de sol pleno que ocorrem durante um dia.

Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
5,55	5,67	5,77	5,23	4,63	<b>4,06</b>	4,16	4,9	5,49	5,75	5,99	5,76

Quadro 7 - Irradiação Solar na Cidade de Campina Grande- PB.

Fonte: SUNDATA V 3.0, 2018.

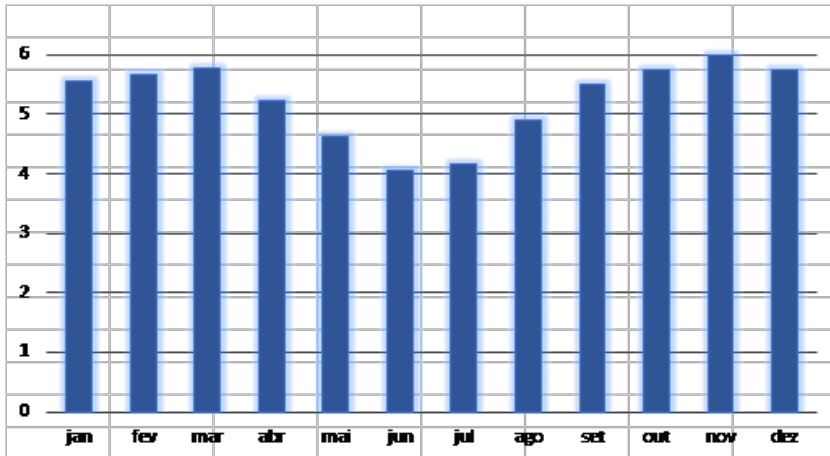


Figura 2 – Representação de Sistema Isolado Puro CC.

Fonte: SUNDATA V 3.0, 2018.

Com a determinação dos valores de irradiação para a localidade desejada, pode-se determinar a potência gerada pelo gerador fotovoltaico. Bem como, determinar a quantidade de placas necessárias para suprir a demanda de energia diária da residência. O painel fotovoltaico que será empregado no projeto tem suas características apresentadas no Quadro 8. A partir das especificações mostradas, pode-se calcular a capacidade de geração do painel, determinada pela Equação (3):

$$P_G = P_{Max} * I_S * F_C \quad (3)$$

- $P_G$  – Potência máxima de geração do gerador
- $P_{Max}$  – Potência Máxima do Painel
- $I_S$  – Irradiação Solar do Mínimo Mês
- $F_C$  – Fator de correção de eficiência do sistema

<b>Potência Máxima</b>	20 W
<b>Tensão Máxima</b>	17,56 Vcc
<b>Corrente Máxima</b>	1,14 A
<b>Vida Útil Aproximada</b>	25 Anos
<b>Dimensões LxCxE (mm)</b>	350 x 500 x 28

Quadro 8- Especificações do Painel Solar

Fonte: DataSheet Komaes, 2018.

O Fator de Correção será determinado de acordo como as perdas inerentes aos fios, ao controlador e outras perdas do sistema como um todo. Que para este trabalho será considerando uma perda de 10%, ou seja, configurando um  $F_c$  de 90%. Com a determinação da Potência do gerador, pode-se verificar a quantidade de painéis que o sistema necessita para suprir a demanda diária de energia. Por meio da equação a baixo pode-se determinar esse número. Pois, relaciona a demanda de energia diária, com a potência que o gerador fotovoltaico fornece, dado pela Equação (4).

$$N = \frac{P_s}{P_G} \quad (4)$$

- $P_s$  – Potência Demandada pelo sistema (Wh)
- $P_G$  – Potência máxima de geração do gerador (Wh)

No Quadro 9 podemos ver a quantidade de painéis necessários para o sistema de acordo com as Equações (3) e (4).

<b>Fator de Correção (Fc)</b>	<b>Irradiação Solar (Is)</b>	<b>Potência do Gerador (Pg)</b>	<b>Demanda Diária do Sistema (Ps)</b>	<b>Quantidade de Painéis (N)</b>
0,90	4,09	73,62	54,00	<b>1</b>

Quadro 4 - Quantidade de Paineis.

Fonte: Autor, 2018.

Como o valor encontrado é menor que um, será utilizado apenas um painel. Ele será suficiente para suprir o sistema.

### 3.2 Dimensionamento do Banco de Baterias

As baterias podem ser classificadas como o componente mais sensível de um sistema fotovoltaico autônomo, uma vez que se não for utilizada de forma correta, podem apresentar uma vida útil reduzida. Para determinação da quantidade de baterias necessárias para atender o sistema é necessário relacionar a demanda do sistema com a

disponibilidade de carga da bateria. Sendo assim, como a bateria utilizada no sistema têm as seguintes especificações: 9 Ah e 12 V e deseja-se ter uma profundidade de descarga de no máximo 40%, considerando a eficiência da bateria de pelo menos 36 h de garantia de suprimento do sistema utilizando apenas a bateria, pode-se determinar a capacidade de carga que o sistema necessita utilizando a Equação (5):

$$C = \frac{P_s * ND}{V * K_{bat} * K_d} \quad (5)$$

- $C$  – Capacidade da Bateria (Ah)
- $P_s$  – Potência Demandada pelo sistema (Wh)
- $ND$  – Número de dias que o sistema consegue suprir apenas com a bateria (Unidade)
- $V$  – Tensão da bateria (V)
- $K_{bat}$  – Eficiência da Bateria (%)
- $K_d$  – Profundidade de descarga (%)

Com a determinação da capacidade que o sistema demanda, foi possível determinar a quantidade de baterias necessárias para alimentar o sistema, como pode-se ver na Quadro 9.

$P_s$ (Wh)	Tensão (V)	( $K_d$ ) (%)	( $K_{bat}$ ) (%)	(n)	Capacidade Exigida (Ah)	Capacidade Unitária (Ah)	Quantidade de Baterias (Unid)
54,00	12,00	40	95	1,5	17,76	9	2

Quadro 5 - Quantidade de Baterias

Fonte: Autor, 2018.

Logo, são necessárias duas baterias ligadas em paralelo para suprir o sistema.

### 3.3 Controlador de Carga

O controlador de carga e descarga de baterias funciona como uma central elétrica do sistema solar fotovoltaico. Controla carga/flutuação e possui a função corte por mínima tensão, que desliga a saída automaticamente quando a bateria está com pouca carga (11,1 Vcc), religando-a novamente quando a bateria atinge 12,6 Vcc. Essa função evita danos que podem reduzir drasticamente a vida útil da bateria. O controlador utilizado utiliza a tecnologia Modulação por Largura de Pulso - PWM possui como referência tensão de 12 V e corrente máxima de carga de 5 A. O que atende com folga os requisitos do projeto.

## 4 | RESULTADOS

Com base no dimensionamento realizado até essa seção, foi determinado o diagrama elétrico do sistema a ser implantado. Na Figura 3, está o esquemático do sistema. Com isso, pôde-se determinar a posição dos equipamentos do sistema, como será sua instalação determinar a quantidade de material necessário para instalação. Para as luminárias do sistema, determinou-se uma altura de instalação ideal de 2,10 m de altura, o que propicia um melhor Aproveitamento da iluminância dos LED. O material necessário para execução do projeto e orçamento está determinado no Quadro 10.

O valor final do projeto ficou em torno de R\$ 450,00, comparando com o valor do salário mínimo em 2018 no Brasil (R\$ 954,00) é possível perceber que o sistema completo custa aproximadamente 47% desse valor. Considerando a baixa manutenção e duração prolongada, o sistema mostra-se bastante acessível do ponto de vista financeiro. Cumprindo com os objetivos geral e específicos propostos.

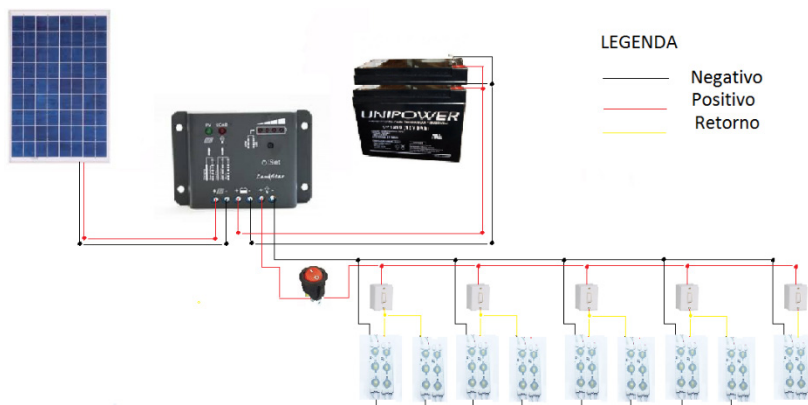


Figura 3 - Esquemático Elétrico.

Fonte: Autor, 2018.

Quantidade	Material	Preço Unitário (R\$)	Preço Final (R\$)
2	Bateria Chumbo-Ácido Unipower 9Ah – 12 V	80,50	161,00
1	Botão Liga/Desliga de 2T	1,60	1,60
20	Cabo Branco 1mm <sup>2</sup>	0,45	9,00
35	Cabo Preto 1mm <sup>2</sup>	0,45	15,75
40	Cabo Vermelho 1mm <sup>2</sup>	0,45	18,00
1	Caixa Hermética	17,50	17,50
20	Conector tipo torção para cabos	0,34	6,80

1	Controlador LS052R 12 V 5 A EPSOLAR	83,79	83,79
	Elementos de Fixação	53,95	53,95
2	Garrafa PET	-	-
5	Interruptor Externo Simples Luster	3,00	15,00
9	LED- 3 Diodos com Lente Branco 1 W Starlux	2,60	23,40
1	Painel Solar Komaes 20 W – 12 V	50,00	50,00
	<b>Total</b>		<b>448,99</b>

Quadro 6 – Orçamento.

Fonte: Autor, 2018.

## 5 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Um sistema de iluminação interna para uma residência utilizando energias renováveis e componentes reciclados foi desenvolvido e apresentado no decorrer deste trabalho. O sistema foi desenvolvido com base em um dimensionamento que garante um funcionamento ideal durante todo o dia, bem como, confiabilidade para sua utilização durante todos os meses do ano. Buscou-se que o sistema tivesse poucos componentes e uma fácil compreensão para o público geral, para facilitar sua instalação e aceitação

Da mesma maneira que o sistema foi desenvolvido para a residência proposta, utilizando a mesma metodologia, pode-se expandir o dimensionamento para sistemas de maior ou menor necessidade de LED, considerando esse mesmo dimensionamento e verificando a corrente máxima do controlador de carga.

A partir desse ponto, o projeto pode expandir de várias formas, agregando mais funcionalidades, como uma tomada USB ou mesmo um inversor que alimente outros equipamentos, como uma TV ou rádio. Permitindo que o sistema se expanda e consiga agregar mais funcionalidades e mais qualidade para os usuários. Como próximos passos, é relevante fazer uma análise aprofundada sobre o funcionamento do sistema com relação a suas grandezas elétricas.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Organização Litro de Luz Brasil e a Universidade Federal de Campina Grande por contribuir e apoiar esse trabalho.

## REFERÊNCIAS

DALLA COSTA, M. A. et al. Autonomous street lighting system based on solar energy and LEDs. In: **2010 IEEE International Conference on Industrial Technology**. IEEE, 2010. p. 1143-1148.



DE ALMEIDA, Agnaldo Mariano; RIOS, Erika Carolina dos Santos Vieira; DE OLIVEIRA, Patricia Gonçalves. SAÚDE HUMANA E A POLUIÇÃO DO AR. **Conhecimento em Destaque**, v. 4, n. 10, 2018.

DIAS, Daniela Sofia Oliveira. Avaliação de risco para a saúde humana associado a partículas inaláveis. **Departamento de Ambiente e Ordenamento, Universidade de Aveiro, Aveiro**, 2008.

FOIATTO, N. **Sistematização do reconhecimento de irregulares que caracterizam fraude em medidores de energia elétrica**. 2009. f. Dissertação de Mestrado - Programa de Pós Graduação em Engenharia da Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS, 2009.

DA SOCIEDADE CIVIL, Grupo de Trabalho et al. Relatório luz da Agenda 2030 de desenvolvimento sustentável: síntese III. In: **Relatório luz da Agenda 2030 de desenvolvimento sustentável: síntese III**. 2019. p. 58-58.

GTES, CEPEL-CRESESB. Grupo de Trabalho de Energia Solar. **Edição Especial PCRPRODEEM**, 2004.

PEREIRA, E. B. et al. 2ª Edição Atlas Brasileiro de Energia Solar, **INPE**, São José dos Campos, Brazil. 2017.

LITRO DE LUZ BRASIL. Disponível em: <https://www.litrodeluz.com>. Acesso em: 21 de ago. 2018.

MACHADO, E. S. **Programa Luz para Todos: uma política pública inovadora para o meio rural de Cachoeira do Sul**. 2013. 41f. Trabalho de conclusão de curso - Departamento de Ciências Econômicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Cachoeira do Sul, 2013.

FRANCO, M. **Energia para mover a roda da justiça social**. Disponível em: <http://www.udop.com.br/index.php/index.php?item=noticias&cod=1167704> . Acesso em: 21 de ago. de 2018.

PINHO, João Tavares; GALDINO, Marco Antonio. Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos. **Rio de Janeiro**, v. 1, p. 47-499, 2014.

SCHUCH, Luciano et al. Sistema autônomo de iluminação pública de alta eficiência baseado em energia solar e LEDs. **Eletrônica de Potência**, v. 16, n. 1, p. 17-27, 2011.

SILVA, M. **Prevenção de acidentes nas instalações elétricas**. 2016. 110f . Trabalho de Conclusão de curso - Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, RJ, 2016.

V MODELO INTERCOLEGIAL DA ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS - OMS – Organização Mundial da Saúde. Os Impactos da Poluição do Ar na Saúde Humana, 2000.

Data de aceite: 03/05/2021

Data de submissão: 05/02/2021

### Marcus Gabriel Souza Delfino

Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro  
Rio de Janeiro – RJ  
<http://lattes.cnpq.br/0090980459730136>

### Juliângelo Kayo Sangi de Oliveira

Universidade Federal de Minas Gerais  
Belo Horizonte – MG  
<http://lattes.cnpq.br/2178901097590174>

### Gabriela Callegario Santolin

<http://lattes.cnpq.br/8078419535691848>

**RESUMO:** A utilização de materiais geossintéticos tem sido cada vez mais constante em obras de geotecnia, tanto por sua versatilidade, quanto pelas vantagens estruturais e econômicas que trazem consigo. Os geossintéticos são amplamente utilizados na execução de obras de terra, sistemas de drenagem e filtragem e em obras de pavimentação. Cada tipo de aplicação exige um geossintético específico que atenda aos requisitos necessários para a execução segura das obras. Sendo assim, é possível concluir que esses materiais são extremamente úteis, e que sua correta aplicação possibilita a agilidade de conclusão de obras comuns e também uma maior segurança na construção de obras mais complexas.

**PALAVRAS-CHAVE:** Geotecnia; Geossintéticos;

Melhoramento de Solos

### APPLICABILITY OF GEOSYNTHETICS IN CIVIL ENGINEERING

**ABSTRACT:** The use of geosynthetic materials has been more common in Geotechnical Engineering due to its versatility and the structural and economical advantages that provide. Geosynthetics are widely used in the execution of Earth Works, draining and filtration systems and paving works. Each type of application demands a different type of geosynthetic that must meet the correct requirements to the safe execution of the works. At the end of this research, it was confirmed that these materials are extremely useful and its correct utilization provides more agility in common works and a greater degree of safety for the construction of more complex works.

**KEYWORDS:** Geotechnics; Geosynthetics; Soil Improvement.

## 1 | INTRODUÇÃO

O conceito de solo reforçado vem sendo usado desde os primórdios. Desde então, diversos materiais têm sido utilizados como forma de melhorar o desempenho dos solos em obras de geotecnia. Construções como a Grande Muralha da China e diversas obras do Império Romano, que datam de milhares de anos atrás, já apresentavam materiais vegetais e fibrosos em suas estruturas. Ingold (1994) relata que a Torre de Babel fora construída com

um estilo de solo reforçado. John (1987) menciona que a primeira aplicação de geotêxtil nos Estados Unidos (EUA) aconteceu por volta de 1926 ao reforçar um pavimento, porém, esse método de reforço só obteve força e reconhecimento em 1966 com a invenção do sistema de “terra armada” (*Terre Armée*) pelo arquiteto francês Henry Vidal. O sistema consistia no reforço de solos preferencialmente granulares através da inserção de tiras de metal, fazendo assim com que o atrito entre o solo granular e a textura das tiras dessem ao solo uma maior resistência (Shukla *et al.*, 2009)

Com o advento da indústria petroquímica e o surgimento dos materiais sintéticos, principalmente após a 2ª Guerra Mundial, houve uma notável evolução desses materiais, dos produtos dos quais são matéria-prima e de suas aplicações. Diversos estudos têm sido realizados desde então com o intuito de se conhecer as propriedades e comportamentos desses materiais. Nesse contexto, o progresso dos geossintéticos afeta substancialmente os aspectos de projeto e construção de obras de geotecnia.

As primeiras conferências internacionais sobre o assunto aconteceram por volta de 1977 (ABINT, 2001), mas somente em 1983, durante o Congresso de Singapura, a Sociedade Internacional de Geotêxteis e Produtos Afins (IGS), definiu os conceitos de geossintético. No Brasil, a primeira grande obra em que foi utilizado geotêxtil como reforço foi a rodovia que liga Taubaté à Campos do Jordão no início da década de 1980 (CARVALHO *et al.*, 1986).

Além disso, nessa mesma década, a Associação Brasileira de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica (ABMS) criou uma comissão com o intuito de divulgar a aplicabilidade dos geossintéticos no país. Foi durante a década de 1990 que aconteceram os primeiros Simpósios sobre Aplicação de Geossintéticos em Geotecnia. Tanto os eventos quanto o assunto ganharam um grande destaque pela sociedade científica e, em 1997, surgiu a ramificação brasileira do IGS.

## 2 | SOBRE OS GEOSSINTÉTICOS

Os materiais geossintéticos têm sido amplamente utilizados em obras de engenharia geotécnica devido sua versatilidade. Esses materiais, produzidos a partir de matéria-prima de base polimérica, nas suas mais variadas formas, podem ter diversas funções.

A Norma Brasileira (NBR 12.553/2003) referente aos geossintéticos apresenta 07 funções principais para os mais de 10 tipos de geossintéticos: (1) reforço, (2) filtração, (3) drenagem, (4) proteção, (5) separação, (6) impermeabilização e (7) controle de erosão. De acordo com essa norma, geossintéticos são produtos poliméricos de origem sintética ou natural. Koerner (1998) complementa dizendo que os geossintéticos atuam em conjunto com solo, rocha ou outro material para melhorar certas propriedades do mesmo.

Os geossintéticos podem ser fabricados com uma grande variedade de materiais poliméricos, dentre os quais destacam-se: poliéster, polietileno e polipropileno

(VERTEMATTI, 2004). Quanto à forma, eles se apresentam como: geobarra (GB), geocélula (GL), geocomposto (GC), geoespaçador (GS), geoexpandido (GE), geoforma (GF), geogrelha (GG), geomanta (GA), geomembrana (GM), georrede (GN), geotêxtil (GT), geotira (GI) e geotubo (GP). Bueno (2003) salienta que cada tipo de geossintético possui uma aplicação específica, porém há casos em que um produto desempenha várias funções. A tabela 1 mostra os tipos de geossintéticos e suas respectivas funcionalidades.

	1	2	3	4	5	6	7
<b>GG</b>	x						
<b>GM</b>					x	x	
<b>GC</b>	x		x				
<b>GB</b>	x						
<b>GS</b>			x				
<b>GI</b>	x						
<b>GN</b>			x				
<b>GP</b>			x				
<b>GA</b>						x	x
<b>GL</b>	x						
<b>GT</b>	x	x	x	x	x		x

Legenda da Tabela: 1. Reforço, 2. Filtração, 3. Drenagem, 4. Proteção, 5. Separação, 6. Impermeabilização, 7. Controle de Erosão.

Tabela 1 – Tipos de Geossintéticos e suas Principais Aplicações (Vertematti, 2004)

A Associação Brasileira de Geossintéticos ressalta que além das vantagens técnicas, os geossintéticos se destacam pela sua fácil instalação, o que acaba diminuindo o tempo de execução das obras e os custos, bem como um maior controle de qualidade desses materiais, permitindo que sejam executadas obras com mais segurança, além de possuírem valores arquitetônicos. Sieira (2003) ressalta que há gastos por volta de R\$ 20 milhões de reais anualmente apenas em contenção de encostas. Com a utilização mais eficiente dos geossintéticos, estando a par de suas funções, esse montante total poderia ser diminuído. Ao mostrar os avanços feitos com o uso dos geossintéticos no Brasil, espera-se que haja mais interesse ao usá-los em larga escala.

## 2.1 Geossintéticos Utilizados em Obras de Terra

Geossintéticos que tem aplicação de reforço podem ser utilizados em muros de arrimo, estabilização de taludes, aterros sanitários e outras grandes obras de terra (AGUIAR, 2003). Uma das grandes vantagens do solo é a grande resistência à compressão, porém, quando se trata de resistência à tração, o valor é quase nulo. Segundo Dantas (2004), uma estrutura de solo reforçado é a junção do solo, reforços e face. Como dito, a resistência à tração é quase nula e, ao ser aplicada carga nesta estrutura, a mesma é redistribuída, sendo aplicada, então, no geossintético, material este que possui alta resistência à tração. Koerner (1998) mostrou através do gráfico, na figura 1, a mudança de comportamento de uma areia densa ao aplicar de 2 a 4 camadas de reforço.

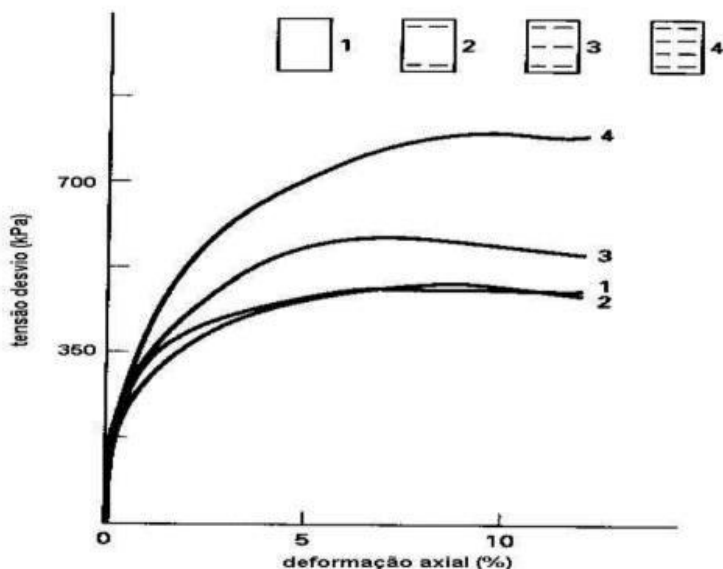


Figura 1. Mudança no comportamento do solo com reforços (Koerner, 1998).

A utilização de solos bem graduados e granulares são os mais utilizados quando se entra em questão o solo reforçado. Elias et al. (2001) mostra que solos com até 60% passante na peneira #40 e Índice de Plasticidade menor igual à 6 podem ser usados em paredes verticais de até 70° de inclinação. A estabilidade interna desta estrutura, segundo Presto (2008), acontece pela verificação do escorregamento, tombamento, o arrancamento dos reforços e a ruptura das inclusões. A figura 2, adaptada de Presto (2008) citado por Avesani Neto (2009), mostra a esquematização dessas verificações.

Ao que se refere a arrancamento, Sieira et al. (2009) apresentou um modelo analítico

para reproduzir a transferência de carga ao longo do comprimento do material submetido à essa ação. O mesmo modelo fora testado e validado através de um programa de ensaios, e obteve-se a concordância com os dados do projeto.

Segundo Dantas (2004), a coesão do solo exerce uma grande influência sobre a mobilização do reforço. Ehrlich e Mitchell (1994) citados por Peralta (2008) mostraram que os muros com elementos de reforços mais flexíveis reduzem as solicitações de carga nos mesmos. Sieira (2009) mostra o quão potentes são os geossintéticos ao permitir a construção de elementos de solo mais íngremes, e um menor volume de solo compactado. Sieira (2003) mostra que quanto maior a densidade relativa do solo, menor o deslocamento da geogrelha.

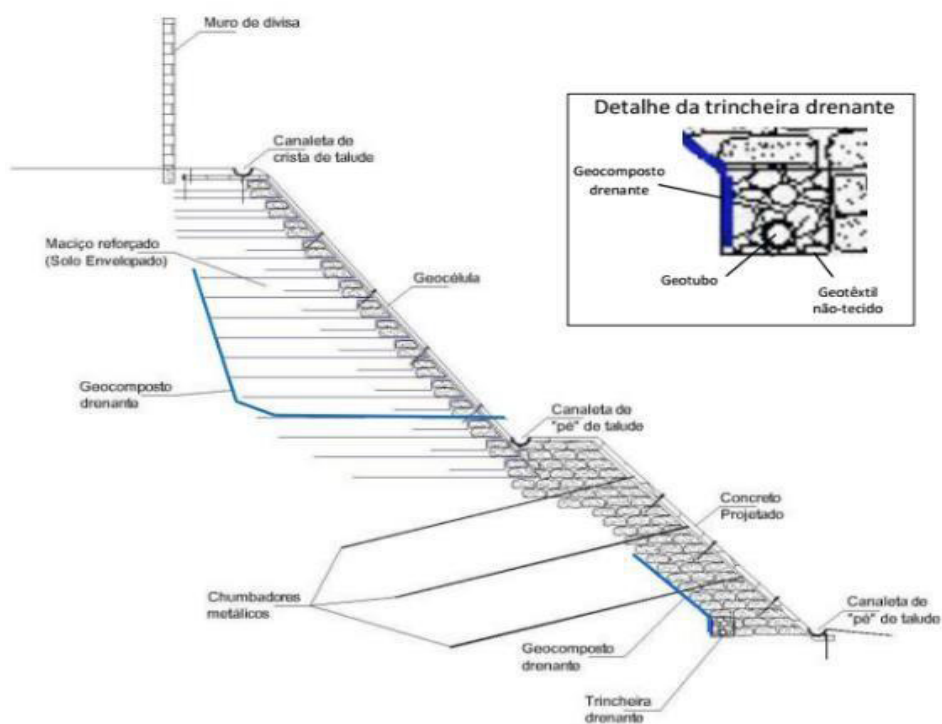


Figura 2. Verificação da estabilidade interna de estrutura de solo (Presto, 2008).

Franca e Pereira (2012) estudaram um caso de obra no qual era necessário a recomposição de um talude após a sua ruptura e, para o mesmo, optaram pelo uso de geossintéticos. Perto deste talude, estava um reservatório de água e as costas de uma escola municipal, logo, a recomposição da obra não poderia mobilizar um grande volume de solo retirado. A opção escolhida foi a utilização de geotêxteis, geocomposto, geocélula

e geotubo devido à complexidade da obra. Na figura 3 é mostrada uma seção transversal da solução adotada, com o uso de geocélulas e face de concreto projetado para sua recomposição.

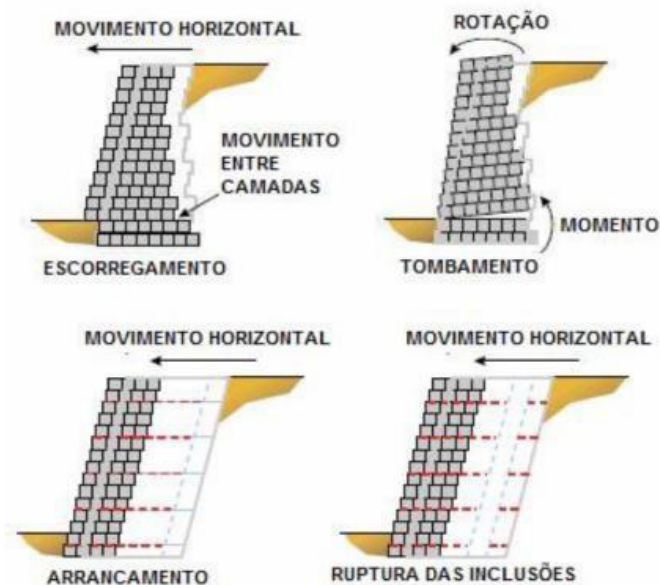


Figura 3. Esquemática de recomposição do talude (Franca e Pereira, 2012).

Hadlich et al. (2015) mostrou, na prática, que as geogrelhas são mais eficientes em solos arenosos do que em argilas após a construção de muros de arrimo e taludes com o solo reforçado.

## 2.2 Geossintéticos Utilizados em Obras de Pavimentação

De acordo com Keller e Berry (2017), o uso de geossintéticos em estradas do serviço florestal nos Estados Unidos teve início na década de 1920. Nos anos seguintes, estudos e avaliações foram realizados com o objetivo de desenvolver sua aplicação. Em 1966 foi feito o primeiro uso de um geotêxtil não-tecido para recapeamento asfáltico. Em 1977 foram publicadas diretrizes para a utilização de geossintéticos na construção e manutenção de estradas de baixo tráfego.

Em 1980 sua utilização em estradas começou a ser mais difundida e pesquisas e aplicações foram documentadas no FHWA (*Federal Highway Administration*). No Brasil, segundo Bastos (2010), os primeiros empregos de geossintéticos aconteceram em 1971 e também foi realizada, neste mesmo ano, a aplicação em pavimentos da BR-101, em Angra dos Reis, e na Rodovia Transamasônica. De acordo com Antunes (2008), no Brasil, o uso dos produtos geossintéticos tem aumentado principalmente nos últimos 20 anos devido à

necessidade de melhoria da infraestrutura rodoviária no país.

Recentemente, tem-se utilizado geossintéticos entre camadas do pavimento para promover a impermeabilização e melhorar a absorção de tensões, bem como retardar o aparecimento de fissuras nos pavimentos. Diversos estudos foram e estão sendo desenvolvidos com o objetivo de avaliar essa influência provocada.

Carmo e Huesker (2014) estudaram o emprego da geogrelha de poliéster na pista do aeroporto de Congonhas, onde foi observada a diminuição da necessidade de manutenção e o obstáculo da propagação de trincas. Hosseine *et al.* (2009) observaram o comportamento de pavimentos com e sem a presença de geotêxteis e geogrelhas, e constataram que a utilização desses materiais elevou a integridade e estabilidade reduzindo a taxa de propagação de trincas no trecho analisado.

Bastos (2010) analisou como a utilização de geogrelhas afeta o comportamento de misturas asfálticas em pavimentos flexíveis, obtendo parâmetros de resistência mais elevados. Carmo e Montestruque (2015) analisaram o uso de geogrelha de poliéster na restauração do pavimento da rodovia MG-424, sendo construída original com Cimento Portland (pavimento rígido), observou-se que os deslocamentos encontrados pelo “*Crack Activity Meter*” reduziram.

Segundo Kelsey (2017), em 2016, uma estrada na Índia, afetada por fortes chuvas, foi reconstruída através da utilização de geossintéticos em poucos dias e sem a necessidade de equipamentos pesados, o que contribuiu com a redução dos custos da obra. Gurara *et al.* (2017) compararam, através de ensaios, pavimentos na Índia, com e sem a presença de geossintéticos e obtiveram maiores valores de grau de compactação, de estabilidade e de economia nos testes que consideraram os geossintéticos como reforço.

A aplicação de geossintéticos em pavimentos apresenta como objetivo a diminuição de tensões e o controle de trincas formadas. Em obras de pavimentação, os tipos mais comuns de geossintéticos utilizados são os geotêxteis, as geogrelhas e os geocompostos.

De acordo com Fonseca (2015), os geossintéticos são utilizados em obras de pavimentação a fim de atuarem como reforço da estrutura, de participarem da impermeabilização e de protegerem e separarem camadas geotecnicamente diferentes. Bernucci *et al.* (2006) ressalta que os geossintéticos podem ser utilizados na restauração de pavimentos a fim de corrigir problemas de origem estrutural através do desvio de trincas ou da transformação das trincas em microfissuras. Na figura 4, é observado o uso de geotêxteis e geogrelhas em pavimentos.





Figura 4. Aplicação de geossintéticos em pavimentos: a) geotêxteis; b) geogrelhas (Bernucci et al., 2006).

### 2.3 Geossintéticos Utilizados em Sistemas de Drenagem e Filtração

No que se refere à utilização de geossintéticos em sistemas drenantes e filtrantes, esses materiais podem substituir eficientemente materiais granulares em obras de geotecnia. Não somente pela sua fácil instalação, mas também devido seu custo competitivo e restrições que possam afetar a utilização de alguns materiais granulares em determinada obra.

Uma grande quantidade de estudos sobre a utilização de geossintéticos em drenos e filtros pode ser encontrada na literatura, principalmente a partir da década de 1970. Todavia, Almeida (2000) ressalta que ainda existem lacunas sobre esse assunto, sendo muitos trabalhos bastante teóricos e superficiais. Segundo Vertematti (2004), uma das primeiras especificações de geossintéticos como material drenante data de 1987, na Grã-Bretanha. No Brasil, a utilização de geossintéticos para a drenagem de líquidos e gases teve início na década de 1980. A primeira aplicação foi realizada na quadra de atletismo de um clube paulista, onde utilizou-se geossintético como forma de diminuir o peso da estrutura drenante.

De acordo com a Associação Brasileira das Indústrias de Não-tecidos e Tecidos Técnicos (ABINT) (2001), os geossintéticos atuando como material filtrante tem a função de prevenir erosão e a conseqüente fuga de partículas de solo através de sua estrutura física, retendo, dessa forma, as partículas sólidas e permitindo a passagem dos fluidos. Sob esse aspecto, os geossintéticos, principalmente os geotêxteis, são amplamente utilizados em obras nas margens de rios, proteções costeiras, barragens, em estruturas rododiferroviárias, etc. (VERTEMATTI, 2004).

No que se refere aos sistemas de drenagem, os geossintéticos coletam e conduzem fluidos, facilitando a movimentação destes no interior dos maciços, além de serem uma solução para o rebaixamento de níveis de água em obras viárias e como forma de acelerar

o processo de consolidação de terrenos (GOMES, 2001). Diante dessa funcionalidade, os geossintéticos são utilizados em estruturas de contenção, aterros, controle de erosão, área de colocação de resíduos, entre outros.



Figura 5. Geossintético utilizado na drenagem do Estádio Arena

Fonte Nova (Bidim, 2013)

### 3 | CONCLUSÃO

Com o advento e desenvolvimento dos materiais sintéticos, em suas mais diversas composições e formas, ao longo das últimas décadas, muito evoluiu-se quanto à aplicabilidade desses materiais em obras de engenharia geotécnica. Percebe-se, através das diversas estruturas construídas com geossintéticos, que o uso desses materiais traz consigo ganhos significativos às obras em que são aplicados. Além da facilidade de instalação, o que influencia diretamente na velocidade da obra, há também uma diminuição na poluição ambiental, os custos finais das obras são menores e, como os geossintéticos são fabricados com maior controle de qualidade, as obras que possuem produtos geossintéticos em sua estrutura apresentam melhores desempenhos e segurança.

Em relação à aplicação de materiais geossintéticos em obras de terra, estes apresentam a função de reforço, melhorando a capacidade de carga dos terrenos, permitindo que as obras possam ter geometrias mais ousadas. No que diz respeito à utilização desses materiais em obras de pavimentação, eles contribuem com a redução de tensões e atuam como um obstáculo à propagação de trincas. Já em sistemas de drenagem e filtração, esses materiais facilitam a prevenção da erosão, conduzindo os fluidos de forma mais eficaz pelas estruturas consideradas, e também como material filtrante, podendo substituir

materiais granulares alcançando padrões de desempenho tão bons ou até melhores.

Por fim, o uso de materiais geossintéticos em obras de engenharia geotécnica tem um grande campo a ser explorado e estudado. Ainda existem lacunas que limitam a utilização desses produtos. Todavia, a vasta bibliografia que disserta acerca desse tema nos mostra uma grande potencialidade desses produtos, o que se traduz em economia e segurança para as obras.

## REFERÊNCIAS

ABINT, Associação Brasileira das Indústrias Tecidos Técnicos – Comitê Técnico Geotêxtil (CTG) (2001) - **Curso Básico de Geotêxteis**.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas (2003) **NBR 12553– Geotêxteis – Terminologia**, Rio de Janeiro.

Aguiar, V.R. (2003) **Resistência de Interfaces solo- geossintético- desenvolvimento de equipamentos e ensaios**. Tese de Doutorado, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Civil, 372p.

Almeida, M. G. G. (2000) **Estudo do Comportamento Dreno- Filtrante de Geossintéticos sob Compressão**. Tese de Doutorado, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, DF.

Antunes, L. G. S. (2008) **Reforço de Pavimentos Rodoviários com Geossintéticos**. Dissertação de Mestrado, Publicação G.DM- 166/08, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasília, DF. 158p.

Avesani Neto, J.O.; Bueno, B.S. (2009) **Estabilização de Encostas com Muros de Gravidade de Geocélula**. 8p.

Bastos, G.A. (2010) **Comportamento Mecânico de Misturas Asfálticas Reforçadas com Geogrelhas para Pavimentos Flexíveis**. 247 p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

Bernucci, L. B.; Motta, L. M. G. Ceratti, J. A. P.; Soares, J. B. (2006) **Pavimentação Asfáltica – Formação Básica para Engenheiros**. Rio de Janeiro: Petrobras & ABEDA.

Bidim. (2013) **Separação e filtração em sistema de drenagem no gramado da arena fonte nova (Salvador– BA)**. São José dos Campos, São Paulo. 7p.

Bueno, B.S. (2003) **Propriedades, Especificações e Ensaios**. Departamento de Geotecnia, Escola de Engenharia de São Carlos – USP. 15p.

Carmo, C. A. T.; Huesker, E. F. R. (2014) **Restauração do pavimento da pista auxiliar do aeroporto de Congonhas com geogrelha de poliéster**. CCO.

Carmo, C. A. T.; Montestruque, G. (2015) **Restauração do pavimento da rodovia MG-424 com geogrelha de poliéster**. 44ª RAPv – Reunião Anual de Pavimentação e 18º ENACOR – Encontro Nacional de Conservação Rodoviária, Foz do Iguaçu, PR, 2015.

- Carvalho, P. A. S. Wolle, C.M. Pedrosa, J. A. B. A. (1986) **Aterro reforçado com geotêxteis** – uma opção alternativa para a engenharia geotécnica. In: COBRAMSEG, 8, 1986, Porto Alegre, v.4, pp. 169-178.
- Dantas, B.T. (2004) **Análise do comportamento de estruturas de solo reforçado sob condições de trabalho**. Tese de Doutorado. COPPE/UFRJ, 209p.
- Elias, V.; Christopher, B. R.; Berg, R. R. (2001) **Mechanically Stabilized Earth Walls and Reinforced Soil Slopes Design & Construction Guidelines**. Department of Transportation, Federal Highway Administration, 394p.
- Fonseca, L. L. (2015) **Avaliação em laboratório do comportamento de camadas asfálticas reforçadas com geossintéticos**. Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, UFMG, Belo Horizonte - MG.
- Franca, F.A.N. e Pereira, V.R.G. (2012) **Emprego de geossintéticos para recomposição de talude com recuperação da geometria original e uso de solo local**, CCO.
- Gomes, L. M. F. (2001) **Geotêxteis e suas aplicações**. Seminário: A indústria têxtil nos caminhos da inovação. Universidade da Beira Interior - UBITEX, Cobilhã.
- Gurara, M. J.; Getachew K.; Quzon E. (2017) **Effectiveness of using Geosynthetic Material for Improvement of Road Construction and Performance - Case Study on Adis Ababa**. International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT).
- Hadlich, C.A.O., Tavano, F.M., Kaimoto, L.H.D., De Camargo, M.T.S.C., Lavoie, F.L., Avesani Neto, J.O. (2015) **Estudo das Aplicações de Geossintéticos em Obras Civas: Análise**.
- Ingold, T.S. (1983) **Geotextiles: Specification and Testing**. Ground Engineering. Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, v.6, n.109, pp. 45-51.
- John, N.W.M. (1987) **Geotextiles**. 1. Ed. New York: Chapman and Hall, 1987.
- Keller, G, R. Berry, J. (2017) **History of geosynthetics use on national forest roads. Geosynthetics Magazine**. Geosynthetics. IFAI Publication. Disponível em: <https://geosyntheticsmagazine.com/2017/06/01/history-of-geosynthetics-use-on-national-forest-roads/>. Acesso em 31/01/2021.
- Kelsey, C. (2017) **Geocell-Supported Design Restores Indian Highway**. Geosynthetica. Disponível em: <https://www.geosynthetica.com/geocell-supported-nh44-highway-india/>. Acesso em 31/01/2021.
- Koerner, R.M. (1998) **Designing with Geosynthetics**. Pretince Hall Inc., 4th Ed., New Jersey, 761 pp.
- Peralta, F.N.G. (2008) **Comparação de métodos de Projeto para Muros de Solos Reforçado com Geossintéticos**. Dissertação de Mestrado, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Civil, 162p.
- Presto (2008). **Geoweb Load Support System** - Technical Overview. Technical Literature on the GEOWEB Cellular Confinement System. Presto Products Company. 19p.

Shukla, S.K., Sivakugan, N., Das, B.M. (2009) **Fundamental Concepts of Soil Reinforcement - An Overview**. International Journal of Geotechnical Engineering, 3(3):329-342, 13p.

Sieira, A.C.C.F, Sayão, A.S.F.J, Gersovich, D.M.S., Ferreira, L.H.T. (2009) **Estabilização de Taludes com Geossintéticos: Mecanismo de Transferência de Deslocamentos ao Longo do Reforço**, 9p.

Sieira, A.C.C.F. (2003) **Estudo Experimental dos Mecanismos de Interação Solo-Geogrelha**. Tese de Doutorado, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Civil, 360p.

Sieira, A.C.C.F. (2009) **Geossintéticos e pneus: alternativas de estabilização de taludes**. ENGEVISTA, V. 11, n. 1. p. 50-59.

Vertematti, J. C. (2004) **Manual Brasileiro de Geossintéticos**. ABINT – Associação Brasileira das Indústrias de Não-tecidos e Tecidos Técnicos. Editora Blucher, São Paulo, 2004.

## ESTABILIZAÇÃO DE UM SOLO PLÁSTICO COM O USO DO RESÍDUO DE GESSO ACARTONADO DA INDÚSTRIA DE DRYWALL PARA APLICAÇÃO EM PAVIMENTAÇÃO

Data de aceite: 03/05/2021

Data de submissão: 05/02/2021

**Lourena Ferreira Uchôa**

Universidade Federal do Cariri  
Juazeiro do Norte, CE  
<http://lattes.cnpq.br/2865542271947835>

**Lilian Medeiros Gondim**

Universidade Federal do Cariri  
Juazeiro do Norte, CE  
<http://lattes.cnpq.br/8069981606259391>

**RESUMO:** A utilização do sistema Drywall em vedações e forros teve uma rápida difusão no setor da construção civil nos últimos anos. Tal crescimento, contudo, carrega consigo a problemática de geração de resíduos do sistema produtivo e sua consequente destinação, preocupação agravada pelo fato de o gesso ser um composto de sulfato de cálcio, cuja deposição irregular na natureza pode contaminar solos e águas. Diante do exposto, o presente trabalho teve o objetivo de avaliar a viabilidade da estabilização de um solo plástico da Região Metropolitana do Cariri com o uso do resíduo das placas de gesso acartonado para o emprego em camadas de base e sub-base de rodovias. A metodologia consistiu na realização de ensaios de caracterização do solo e do resíduo de gesso e caracterização mecânica das misturas de solo/gesso, variando o teor do resíduo (5%, 10% e 15% em peso) e o tempo de cura (0 e 14 dias). As misturas foram submetidas a ensaios

de limite de consistência, Índice de Suporte Califórnia e módulo de resiliência. Foi observado que a estabilização com gesso não promoveu incremento de resistência, pois reduziu os valores de ISC enquanto manteve inalterado o comportamento resiliente da amostra de solo. Por outro lado, o gesso reduziu a plasticidade do solo, chegando a quase 0% com a adição de 15% de resíduo de gesso. Conclui-se que a estabilização de solo com gesso não calcinado não foi satisfatória do ponto de vista da resistência mecânica, sendo recomendada um estudo mais aprofundado com esse material sendo previamente tratado por meio da calcinação. Vale ressaltar que esse artigo corresponde a uma versão apresentada na 34<sup>o</sup> ANPET (Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes).

**PALAVRAS-CHAVE:** Gesso, drywall, resíduos, solos, plasticidade, estabilização.

### STABILIZATION OF A PLASTIC SOIL WITH THE DRYWALL INDUSTRY WASTE FOR PAVING APPLICATION

**ABSTRACT:** The use of the Drywall system in fences and ceilings has spread rapidly in the civil construction sector in recent years. Such growth, however, carries the problem of generating waste from the production system and its consequent destination, a concern that is due to the fact that an item is composed of calcium sulfate, whose irregular exposure in nature can contaminate soils and water bodies. In view of the above, the present study aimed to assess the feasibility of stabilizing a plastic soil from the Metropolitan Region of Cariri with the use of gypsum board

residues for use in base and sub-base layers of highways. The applied methodology consisted on characterizing the soil sample and the gypsum residue and performing the mechanical characterization of gypsum/soil mixtures, varying the residue content (5%, 10% and 15%) and curing time (0 and 14 days). The mixtures were submitted to consistency limit tests, California Bearing Ratio and Resilient Modulus test. It was observed that the stabilization with gypsum did not promote an increase in resistance, as it reduced the CBR values while keeping the resilient behavior of the soil sample unchanged. On the other hand, gypsum reduced the plasticity of the soil, reaching almost 0% with the addition of 15% gypsum residue. It is concluded that the stabilization of soil with non-calcined gypsum was not satisfactory from the point of view of mechanical resistance, being recommended a further study with this material being previously treated by means of calcination. It is worth mentioning that this article corresponds to a version presented at the 34th ANPET (Congress of Research and Teaching in Transportation).

**KEYWORDS:** Gypsum, drywall, residues, soils, plasticity, stabilization.

## 1 | INTRODUÇÃO

O solo é a camada mais superficial da crosta terrestre, constituída por minerais, possuindo inúmeras variações devido aos seus fatores de formação, como origem, relevo, clima e tempo. Dessa forma, essa variabilidade pode gerar um material com características que não se enquadram nas especificações técnicas tradicionais para uso em engenharia. A plasticidade e a presença de matéria orgânica são os fatores mais prejudiciais do ponto de vista do emprego em pavimentação, assim como a baixa capacidade de suporte de carga, alta compressibilidade e baixa resistência ao cisalhamento do material (SARTORI, 2015).

Para reduzir custos operacionais, pode-se optar por usar o solo local estabilizado, gerando economia em transporte e/ou compra de agregados, confeccionando assim camadas de base que atendam as características geotécnicas determinadas nas normas, com metodologia descrita tanto pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) quanto pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT).

A estabilização consiste no tratamento do solo por um processo mecânico ou químico, dando condições de resistir às tensões e deformações durante sua vida de serviço, permanecendo assim, mesmo sob a ação de cargas exteriores e ações climáticas (BATISTA, 1976).

A estabilização química visa a melhoria das propriedades físicas e mecânicas do solo por meio de alteração da estrutura química do material com o uso de aditivos, que podem ser dos mais variados tipos. Como aditivos para estabilização química, podem-se citar: cimento, cal e resíduos industriais (como o gesso e o fosfogesso), entre outros.

A geração de resíduos, como o fosfogesso e o gesso acartonado, está diretamente relacionada com o processo de industrialização e o crescimento dos centros urbanos. Com a crescente preocupação ambiental, busca-se cada vez mais minimizar os impactos ambientais com o uso de técnicas de reuso ou reciclagem desses resíduos (SILVA, 2009).

Bauer (2001) afirma que o gesso é um termo genérico que se refere a uma série de aglomerantes obtidos a partir da calcinação do minério de gipsita natural, a qual é composta por sulfato de cálcio diidratado ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) e impurezas. Segundo Bardella (2011), o principal constituinte do gesso é o hemidrato ( $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ ) que, ao entrar em contato com a água, se hidrata, formando novamente a gipsita ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) sendo essa reação a responsável pelo endurecimento e pela resistência mecânica da pasta.

Segundo a Sindusgesso (2011), a produção de gesso no Brasil está localizada basicamente no polo gesseiro do Araripe, no estado do Pernambuco, responsável por cerca de 95% da produção brasileira. Sua utilização é frequente na confecção de placas pré-moldadas de componentes de forros e acabamentos, na aplicação como revestimento de paredes e na fabricação de painéis de gesso acartonado.

As chapas de gesso acartonado são constituídas por 92% de gesso, 7% de papel cartão e 1% de aditivos e impurezas. O processo de dosagem é feito com gesso e água até que a mistura adquira consistência ideal para ser lançado sobre o papel cartão, sendo assim o gesso presente no processo final da produção das chapas é um material inerte (MARCONDES, 2007).

A indústria de drywall, que produz placas de gesso acartonado, tem se propagado pelo Brasil desde a década de 90 passando a ter um crescimento anualmente de 15% de acordo com a Associação Brasileira de Drywall (2017). Paralelo ao crescimento da produção, ocorre o aumento da quantidade de resíduos gerados pelo processo, que segundo John e Cincotto (2007), quando depositados de forma inadequada, acarretam alteração na alcalinidade do solo e na contaminação dos lençóis freáticos, além de gerar gás sulfídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ) quando decomposto em aterros sem controle.

As perdas na produção do gesso acartonado estão ligadas diretamente com os processos de corte. Estima-se que as perdas ficam entre 10 a 15% da produção total, segundo afirma Marcondes (2007). Na região do Cariri existe uma indústria de drywall, com produção anual de 4.000.000  $\text{m}^2$ , segundo dados coletados na unidade fabril, e seus resíduos são descartados de forma inadequada.

Diante dessa perspectiva, acredita-se que o resíduo de gesso pode ser utilizado como estabilizante químico, melhorando a plasticidade e resistência dos solos de forma semelhante ao uso da cal e do fosfogesso. Logo, esse trabalho tem por finalidade analisar a possibilidade da aplicação do resíduo do gesso da indústria de drywall como aditivo estabilizador de solos plásticos, corrigindo a plasticidade excessiva e a resistência desses solos da região metropolitana do cariri para a aplicação em camadas granulares de pavimentos.



## 2 | MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Solo

Na pesquisa foram analisadas amostras naturais de solos extraídos em uma jazida localizada na Região Metropolitana do Cariri (RMC), na zona rural do município de Barbalha no Ceará, no Distrito Malhada, cuja classe pedológica era Neossolo Litólico. As amostras de solo foram preparadas segundo a norma DNER ME 014/94 e posteriormente submetidas aos ensaios de caracterização descritos na Tabela 01.

Ensaio	Norma
Solos – Análise Granulométrica	DNER – ME 051/94
Solos – Determinação da Densidade Real	DNER – ME 093/94
Solos – Determinação do Limite de Liquidez	DNER – ME 122/94
Solos – Determinação do Limite de Plasticidade	DNER – ME 082/94
Solos – Ensaio de Compactação Utilizando Amostras Trabalhadas	DNER-MR 162/94

Tabela 1: Ensaios e Normas utilizadas na amostra de solo estudada

### 2.2 Gesso

O resíduo de gesso acartonado foi coletado na unidade fabril que fica localizada no município de Juazeiro do Norte no Ceará. O local de descarte das placas de gesso acartonado é realizado em um local específico na fábrica, assim como mostra a Figura 01.



Figura 1: Local de descarte do resíduo de gesso acartonado.

Para realizar a separação dos elementos da placa de gesso (papel cartão e gesso), foi seguida a metodologia de Carvalho (2018), por meio de golpes sucessivos à superfície

da placa com um compactador manual. O gesso resultante desse processo foi moído em um moinho de bolas e em seguida foi quarteado e armazenado em local seco. Cabe ressaltar que o resíduo de gesso usado na realização desta pesquisa não passou pela etapa de calcinação.

Após a preparação, a amostra foi submetida aos ensaios descritos na ABNT NBR 12127 - Gesso para construção civil — Determinação das propriedades físicas do pó, no qual foram realizados ensaios de análise granulométrica, módulo de finura e massa unitária.

## 2.3 Métodos

Na pesquisa foram analisadas amostras naturais de solos e amostras estabilizadas com 5%, 10% e 15% de resíduo de gesso não-calcinado em relação ao peso seco destes. Os tempos de cura para cada teor foram de 0 e 14 dias, em que foram realizados ensaios de Limites de Consistência, Índice de Suporte Califórnia e Módulo de Resiliência. Ressalta-se que todos os corpos-de-prova submetidos a um período de cura, antes da realização dos ensaios, foram previamente enrolados por papel filme, a fim de evitar a perda de umidade para o ambiente. A energia de compactação aplicada nos ensaios foi a intermediária (energia recomendada pelo DNIT para uso em camadas de base e sub-base de pavimentos), usando amostras não-trabalhadas na umidade ótima.

## 3 | RESULTADOS E ANÁLISES

### 3.1 Caracterização do Solo

A caracterização geotécnica consistiu na realização dos ensaios de densidade real, granulometria conjunta, limite de liquidez e limite de plasticidade, mini-MCV e perda de massa por imersão. Os solos foram também classificados segundo os métodos AASHTO e MCT. A Tabela 2 mostra um resumo dos resultados obtidos nos ensaios de granulometria, limites de consistência e densidade real

Composição Granulométrica Com Defloculante (%)					Compactação		Limites de consistência (%)			Densidade real (g/cm³)
Pedregulho	Areia			Silte	Argila	Umidade Ótima (%)	LL	LP	IP	
	Grossa	Média	Fina							
1,22	2,33	23,45	28,38	6,82	37,8	14,5	32	15	17	2,663

Tabela 2: Tabela resumo com os resultados dos ensaios de caracterização do solo

A partir dos valores obtidos no ensaio de granulometria, observa-se que o Coeficiente de Não-Uniformidade e o Coeficiente de Curvatura deram iguais a zero, mostrando, portanto, que o solo estudado tem granulometria mal graduada e descontínua. Este fato

se justifica pela grande quantidade de finos argilosos presentes na amostra, acarretando a baixa capacidade de suporte desse solo.

O valor obtido no ensaio de densidade real foi 2,663. Esse valor assemelha-se aos valores característicos de argilo-minerais (como montmorilonitas, moscovitas e cloritas) e do feldspato-Na-Ca.

Com base nos valores obtidos no ensaio de limites de consistência, verificou-se que o solo possui alta plasticidade, não se enquadrando nos parâmetros de consistência exigidos para execução de bases e sub-bases de pavimentos rodoviários, pois segundo o Manual do DNIT (2006) o solo deve apresentar LL menor que 25% e IP menor que 6%.

Para efeitos de classificação, com base nos valores encontrados nos ensaios, conforme a classificação da AASHTO o solo estudado é classificado como A-6, cujo comportamento para uso em subleito é considerado regular a mau, sendo ainda considerado um solo argiloso. No entanto na classificação SUCS, o solo é classificado como SC (Areia Argilosa).

### 3.2 Limites de Consistência das misturas solo/gesso:

Os resultados dos ensaios de limite de liquidez e limite de plasticidade das misturas de solo e resíduo de gesso, assim como o índice de plasticidade estão apresentados na Figura 2.

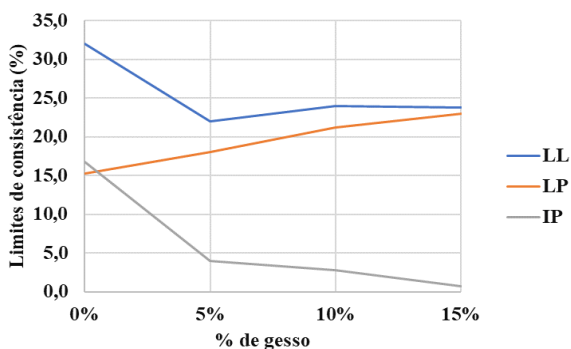


Figura 2: Variação dos limites de consistência das misturas solo-gesso

Percebe-se que inicialmente o solo tinha índice de plasticidade muito alto, porém à medida que se aumentou o teor de resíduo de gesso o índice de plasticidade diminuiu drasticamente, chegando a quase zero com a adição de 15% de gesso. O limite de plasticidade teve um acréscimo, no entanto o limite de liquidez reduziu à medida que se aumentou o teor de gesso. Seguindo as especificações do Manual do DNIT (2006) o solo precisa apresentar LL menor que 25% e IP menor que 6% para ser usado em camadas

granulares de pavimentos, assim ambas as misturas de solo com resíduo de gesso se enquadram nessas especificações.

A redução dos limites de consistência das misturas de solo com resíduo de gesso acontece, segundo Kamei et al. (2011), porque ao adicionar gesso no solo leva a uma substituição de sódio monovalente do solo por íons de cálcio do gesso, que levam a uma redução acentuada no limite de liquidez e índice de plasticidade da amostra. Resultados parecidos foram encontrados por Murthy et al. (2016) e Yilmaz e Civelekoglu (2009).

### 3.3 Caracterização física do resíduo de gesso em pó

Para se conhecer as potencialidades do material que se quer introduzir no solo como estabilizante são necessários ensaios que o caracterizem tais como análise granulométrica, massa unitária e módulo de finura.

O ensaio de análise granulométrica foi realizado com o material passante na peneira número 10 (2 mm) e foi repetido duas vezes (amo-01 e amo-02), com amostras de 100 gramas cada. Foram obtidas as seguintes curvas granulométricas expressas na Figura 3.

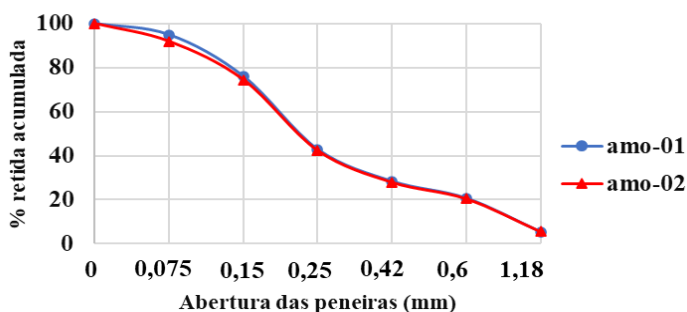


Figura 3: Curva granulométrica das amostras de gesso em estudo.

Percebe-se grande similaridade entre as curvas granulométricas, concluindo que o método usado para a moagem resultou em um material uniforme. Pequenas diferenças podem ser observadas, isso pode ter acontecido devido à presença de fibras que pode gerar aglomerados e dificultar a passagem nas peneiras. Vale ressaltar ainda que o eixo das ordenadas no gráfico corresponde à porcentagem retida acumulada, diferente do gráfico usado para solos, que usa a porcentagem passante.

A determinação do módulo de finura (MF) ocorreu paralela à determinação da composição granulométrica das amostras. O ensaio foi feito em duplicata e a média foi retirada para obter um valor que caracterizasse a amostra. A Tabela 3 apresenta os referidos valores, assim como os resultados do ensaio de massa unitária (MU).

Amostra	MF	MU (kg/m <sup>3</sup> )
AMO - 01	2,679	560,00
AMO - 02	2,629	554,61
Média	2,654	557,31

Tabela 3: Módulo de finura das amostras de gesso.

Diferentemente dos valores encontrados por Carvalho (2018), que realizou a calcinação do gesso, os módulos de finura das amostras em estudo nesse trabalho deram valores relativamente altos, enquanto Carvalho (2018) obteve valores próximos de 0,9. Isso pode ser explicado devido à presença de água no gesso, no qual não passou por processo de calcinação e pela forma de moagem do material.

Com relação a massa unitária a NBR 13207 afirma que para o gesso ser utilizado na construção civil precisa ter massa unitária superior a 600 kg/m<sup>3</sup>, assim percebe-se que o resíduo de gesso não-calcinado das placas de gesso acartonado não se adequa a utilização no setor da construção civil, no entanto não é descartado o seu uso em pavimentação.

### 3.4 Índice de Suporte Califórnia (ISC)

Os ensaios de Índice de Suporte Califórnia (ISC) foram realizados com o objetivo de avaliar como as misturas solo-gesso se comportariam sob condições saturadas. Os resultados dos ensaios realizados com cada mistura são apresentados na Figura 4.

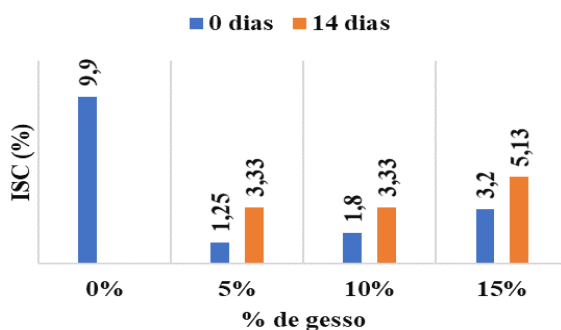


Figura 4: Variação do ISC do solo com adição de gesso

Observa-se que o solo puro apresenta valor de ISC baixo, no entanto esse valor pode ser justificado pela grande quantidade de finos presentes na amostra, sendo necessário passar por algum tipo de estabilização para poder ser utilizado em camadas de base e sub-base de pavimentos. Verifica-se que as misturas do solo com resíduo de gesso obtiveram valores de ISC inferiores ao valor alcançado pelo solo puro. Vê-se ainda que mesmo após

o período de cura de 14 dias as capacidades de suporte das misturas continuam menores que a capacidade do solo natural.

Esses dados mostram que o resíduo de gesso não trouxe melhorias e nem manteve as características de suporte do solo. Isso pode ser explicado pelo fato do resíduo de gesso em estudo não ter passado pelo processo de calcinação e suas moléculas não estarem reagindo com as moléculas do solo. Além disso, os ensaios de ISC foram realizados em corpos de prova saturados, este fato leva a crer que as misturas do solo com resíduo de gesso são susceptíveis à ação da água, sendo desaconselhável a utilização dessas misturas em rodovias que serão sujeitas as condições de saturação.

A Figura 5 mostra os resultados obtidos nos ensaios de expansão obtidos por meio da saturação dos corpos de prova por 96h.

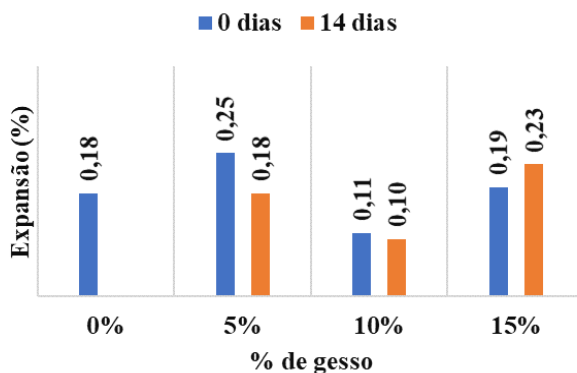


Figura 5: Variação da expansão do solo com a adição de gesso.

Com relação à expansão, percebe-se que todos os resultados encontrados estão abaixo do valor limite estabelecido pelo Manual do DNIT (2006), que recomenda uma expansão menor que 0,5%. De forma geral esses resultados são todos muito pequenos, de modo que não há variação considerável de valores.

### 3.5 Módulo de Resiliência (MR)

Os ensaios de módulo de resiliência são usados no novo método de dimensionamento de pavimentos do DNIT. Os corpos de prova do solo e das misturas foram submetidos ao ensaio após a moldagem e após a cura de 14 dias.

Primeiramente vale ressaltar que nem todos os corpos de prova passaram pela etapa do condicionamento. Alguns corpos de prova sofreram deformação excessiva, de tal forma que os corpos de prova não toleraram nem mesmo a fase de condicionamento do ensaio triaxial dinâmico. Essas amostras se deformaram de tal forma que os LVDT's não foram mais capazes de realizar as medições dos deslocamentos, tornando impraticável a

realização do ensaio de módulo de resiliência. Assim sendo, a Tabela 4 mostra a condição de cada corpo de prova com relação a etapa de condicionamento do ensaio.

CURA	0%	5%	10%	15%
0	NÃO PASSOU	NÃO PASSOU	PASSOU	NÃO PASSOU
14	PASSOU	NÃO PASSOU	NÃO PASSOU	PASSOU

Tabela 4: Condição de cada corpo de prova na fase de condicionamento.

Após a conclusão do ensaio, iniciou-se a etapa de escolha de um modelo que descrevesse com a maior fidelidade possível o comportamento resiliente do solo, que é de fundamental importância para a avaliação correta da deformabilidade deste material. Para a avaliação dos efeitos de um processo de estabilização de solos a escolha se torna ainda mais complexa.

Os modelos inicialmente testados nesta pesquisa foram os clássicos, relacionam o MR com a tensão desvio ( $\sigma_d$ ), com a tensão de confinamento ( $\sigma_3$ ) e com o invariante de tensões ( $\theta = \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3$ ), de maneira isolada, conforme mostrado nas Equações 1, 2 e 3:

$$MR = k1. \sigma_d^{k2} \quad (1)$$

$$MR = k1. \sigma_3^{k2} \quad (2)$$

$$MR = k1. \theta^{k2} \quad (3)$$

Os parâmetros de modelagem (valores de k) e os coeficientes de correlação ( $R^2$ ) dos modelos clássicos para o solo e suas misturas são apresentados na Tabela 5.

Amostra	Cura (dias)	MR = k1. $\sigma_d^{k2}$			MR = k1. $\sigma_3^{k2}$			MR = k1. $\theta^{k2}$		
		k1	k2	$R^2$	k1	k2	$R^2$	k1	k2	$R^2$
Solo + 0%	14	216,48	-0,489	0,7889	233,93	-0,351	0,3034	361,66	-0,459	0,521
Solo + 10%	0	432,58	-0,305	0,2477	239	-0,467	0,3994	437,23	-0,591	0,6419
Solo + 15%	14	451,98	-0,171	0,3893	603,42	-0,034	0,0102	580,9	-0,107	0,1084

Tabela 5: Parâmetros dos modelos Clássicos de Resiliência

Percebe-se, por meio dos valores de  $R^2$  da Tabela 10, que nenhum dos modelos relacionados a uma única variável representaram de forma precisa os comportamentos resilientes de todas as amostras testadas. Assim resolveu-se investigar a aplicação do modelo composto às misturas estudadas. Esse modelo, representado pela Equação 4, é função das tensões de confinamento e desvio, simultaneamente.

$$MR = k1. \sigma_3^{k2} \sigma_d^{k3} \quad (4)$$

Para a obtenção dos parâmetros referentes a esse modelo, os dados obtidos nos

ensaios foram submetidos ao processamento pelo programa LabFit Ajuste de Curvas, desenvolvido para tratamento e análise de dados experimentais. Os parâmetros dos modelos compostos referentes aos solos A, B e C são apresentados na Tabela 6.

Amostra	Cura (dias)	MR = k1 . σ3 <sup>k2</sup> σd <sup>k3</sup>			
		k1	k2	k3	R <sup>2</sup>
Solo Natural	14	281,26	0,2593	-0,6988	0,9216
Solo + 10%	0	254,7	0,1877	-0,8071	0,9465
Solo + 15%	14	782,708	0,4	-0,4296	0,9178

Tabela 6: Parâmetros do modelo composto.

Diferente dos valores de R<sup>2</sup> encontrado nos modelos clássicos, o modelo composto apresentou resultados excelentes. Por esse motivo, o modelo composto foi eleito para a avaliação das variações de MR dos solos decorrentes da estabilização com resíduo de gesso. O modelo composto tem se mostrado bastante aplicável aos solos ocorrentes no estado do Ceará, conforme observado no trabalho de Souza Junior (2005).

Gondim (2008), em sua dissertação sobre estabilização betuminosa de solos para uso em camadas granulares, apresentou o modelo composto de forma qualitativa, por meio da avaliação visual comparativa entre superfícies descritas pelas diferentes misturas solo-emulsão. Para isto foi elaborado um algoritmo executado pelo programa Matlab, que tornou possível a visualização de várias superfícies em um mesmo gráfico. Assim sendo, optou-se por usar essa mesma metodologia no presente trabalho.

A superfície determinada pela equação do modelo composto que descreve o comportamento resiliente do solo natural com 14 dias de cura é apresentada na Figura 6.

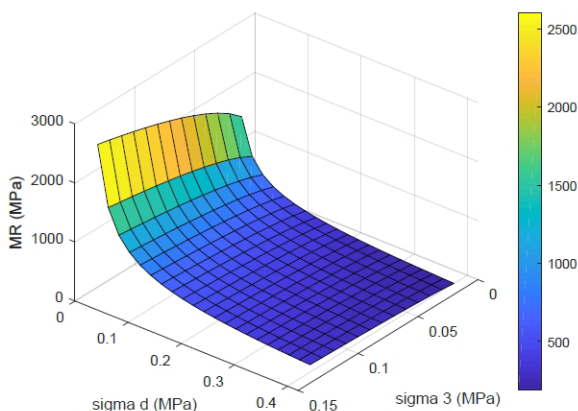


Figura 6: Modelo composto para o módulo resiliente do solo natural com 14 dias de cura.



Ao avaliar a Figura 6, se observa que o módulo de resiliência do solo é bastante susceptível às variações da tensão desvio ( $\sigma_d$ ) e sofre uma menor influência da tensão de confinamento ( $\sigma_3$ ). Esse resultado está de acordo com o comportamento coesivo do solo estudado. À medida que as tensões aumentam o módulo resiliente do solo tende a cair consideravelmente. Vale ressaltar que o ensaio realizado logo após a moldagem do corpo de prova do solo natural não passou da etapa de condicionamento e mesmo após um período de cura de 14 dias de cura o solo apresentou um péssimo comportamento resiliente.

Com relação as misturas de solo e resíduo de gesso, as Figuras 7 e 8 apresentam o modelo composto para o solo com 10% de gesso (0 dias de cura) e com 15% de gesso (14 dias de cura), respectivamente.

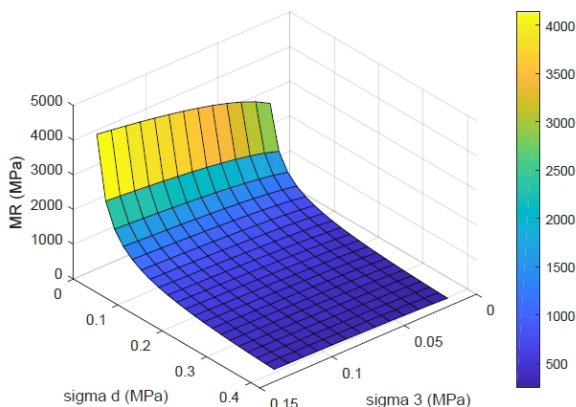


Figura 7: Modelo composto para o módulo resiliente do solo + 10% de gesso com 0 dias de cura.

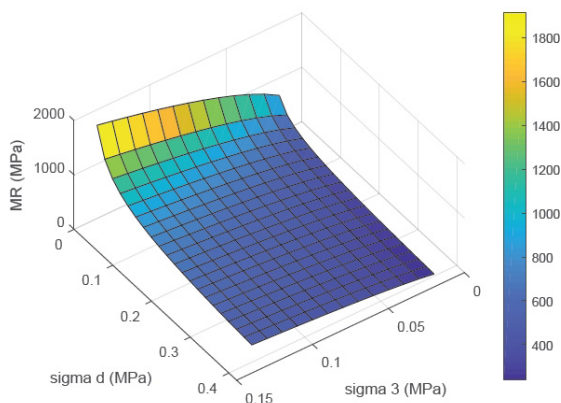


Figura 8: Modelo composto para o módulo resiliente do solo + 15% de gesso com 14 dias de cura.

Percebe-se que as amostras estabilizadas com resíduo de gesso mantiveram o padrão de comportamento do solo natural, com uma tendência de grande variação do módulo de resiliência com a tensão desvio, tendendo a diminuir à medida que as tensões aumentam. Além disso, as superfícies das Figuras 6, 7 e 8 são muito semelhantes, indicando que o solo não passa por grandes modificações à medida que se adiciona resíduo de gesso. A Figura 9 corrobora com essa informação, mostrando os modelos compostos, de forma agrupada, das misturas com 0% e 15% de gesso com 14 dias de cura.

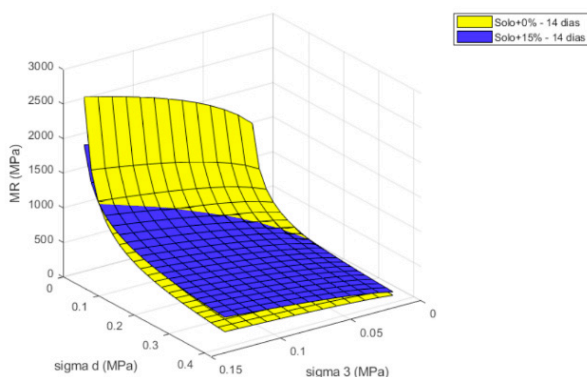


Figura 9: Gráficos Comparativos de MR para diferentes misturas de solo-gesso após 14 dias de cura.

Nota-se na Figura 9 que as superfícies do solo puro e do solo com 15% de gesso, ensaiadas após um período de cura de 14 dias apresentam-se praticamente superpostas, o que indica que a adição de resíduo de gesso quase não exerce influência sobre o MR, sendo um indicativo que o resíduo de gesso mantém as características do solo natural.

## 4 | CONCLUSÕES

A caracterização do solo, classificado como A-6, apresentou uma curva granulométrica mal graduada e descontínua, com predominância da fração de argila, compatível com o comportamento plástico deste solo. Os resultados desses ensaios de caracterização indicaram que a aplicação do solo puro não é recomendada para pavimentação.

A caracterização do resíduo de gesso apresentou curva granulométrica inferior ao estabelecido pela NBR 13207, assim como a massa unitária não atingiu o valor mínimo estipulado por essa norma. Resultados semelhantes foram obtidos por Carvalho (2018), no entanto sua pesquisa se deu usando o resíduo de gesso calcinado como recomendado na NBR 13207, diferente da metodologia usada no presente trabalho.

Na caracterização das misturas de solo com resíduo de gesso, houve uma redução gradual da plasticidade à medida que foi aumentando o teor de resíduo de gesso no solo,

sendo a porcentagem de 15% um teor ótimo com relação à plasticidade do solo.

Ao comparar os valores obtidos após análise da capacidade de suporte, por meio do ISC, percebe-se que o solo natural possui uma baixa capacidade de suporte, não sendo aceitável nem para uso em sub-base de pavimentos. Assim, à medida que foi sendo adicionado resíduo de gesso ao solo a capacidade de suporte foi reduzindo. Isso pode ser explicado pela baixa resistência do gesso à água, além da possível falta de reação química entre o solo e o resíduo gesso. Desta forma, acredita-se que a misturas do solo com gesso não deva ser utilizada em camadas de pavimentos propícias à saturação.

Os resultados dos ensaios de módulo de resiliência mostraram que a adição de resíduo de gesso ao solo não provoca melhorias no solo. Isso pode ser verificado inicialmente por meio da etapa de condicionamento, no qual apenas 3 dos 8 corpos de prova ensaiados passaram nessa fase, sendo que desses 3 corpos de prova, dois passaram pelo processo de cura. Observando as superfícies geradas pelo modelo composto dos 3 corpos de prova não se verifica grandes variações, concluindo que o resíduo de gesso não gerou alterações no módulo resiliente do solo.

De forma geral não se recomenda que a estabilização de solo com resíduo de gesso seja feita com material não-calcinado. Pesquisas devem se dedicar ao estudo dessa estabilização realizando a calcinação desse resíduo. Cabe ressaltar ainda que a heterogeneidade dos materiais pode ter influenciado nos resultados das misturas, principalmente o resíduo de gesso acartonado.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE FABRICANTES DE CHAPAS PARA DRYWALL. Números do segmento. Disponível em: <<http://www.drywall.org.br/index.php/6/numeros-do-segmento>> Acesso em 28 de abril de 2018.

ABNT (2017a) NBR 13207: Gesso para construção civil – Especificação. Rio de Janeiro.

ABNT (2017b) NBR 12127: Gesso para construção - Determinação das propriedades físicas do pó - Método de ensaio. Rio de Janeiro.

BARDELLA, P. S. Análise das propriedades de pastas de gesso de construção reciclado. 2011. 235 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, 2011.

BATISTA, C. F. N. Ensaios Fundamentais para a Pavimentação e Dimensionamentos dos Pavimentos Flexíveis. Vol. 1, 2ª Edição, Editora Globo, Porto Alegre, RS, 1976.

BAUER, L. A. F. Materiais de Construção. Vol. 1, 5. ed. revisada. LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 2001.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DOS TRANSPORTES (DNIT). Manual de Pavimentação. 3. ed. Rio de Janeiro, 2006.

DNER-ME 041: Solos – Preparação de Amostras para Caracterização. Rio de Janeiro, 1994.

DNER-ME 051: Solos –Análise Granulométrica. Rio de Janeiro, 1994.

DNER-ME 082: Solos – Determinação do Limite de Plasticidade. Rio de Janeiro, 1994.

DNER-ME 093: Solos – Determinação da Densidade Real. Rio de Janeiro, 1994.

DNER-ME 122: Solos – Determinação do Limite de Liquidez – Método de Referência e Método Expedido. Rio de Janeiro, 1994.

DNER-ME 162: Solos – Ensaio de Compactação Utilizando Amostras Trabalhadas. Rio de Janeiro, 1994.

JOHN, V. M.; CINCOTTO, M. A. Gesso de construção civil. In: ISAIA, G. C. Materiais de construção civil. São Paulo: Ibracon, 2007. p. 727-760.

KAMEI, T.; AHMED, A.; UGAI, K; (2011) The performance of soft clay soil stabilized with recycled gypsum in wet environment. Pan-Am CGS Geotechnical Conference, Japão, 2011.

MARCONDES, F. C. S. Sistemas logísticos reversos na indústria da construção civil - estudo da cadeia produtiva de chapas de gesso acartonado. 2007. 365 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil e Urbana) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

MURTHY, G.V.L.N.; SIVA KAVYA, K.B.V.; VENKATA KRISHNA, A.; GANESH, B.; (2016) Chemical stabilization of sub-grande soil with gypsum and NaCl. International Journal of Advances in Engineering & Technology, Sri Vasavi Engineering College, TP Gudem, AP, India.

SARTORI, G. Estudo de estabilização de solos para fins de pavimentação na região de Campo Mourão. Trabalho de Conclusão de curso. Departamento Acadêmico de Construção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, PR, 2015.

SILVA, B. T. A. (2009) Utilização de Materiais Alternativos para a Construção de Pavimentos Urbanos na Região Metropolitana de Fortaleza. Dissertação de Mestrado, Programa de Mestrado em Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, 213 fl.

SINDICATO DA INDÚSTRIA DO GESSO DO ESTADO DE PERNAMBUCO – SINDUSGESSO (Brasil). Consumo de gesso no Brasil. Disponível em: < <http://www.sindusgesso.org.br/> >. Acesso em: 27 out. 2018.

YILMAZ, I.; CIVELEKOGLU, B.; (2009). Gypsum: An additive for stabilization of swelling clay soils. Cumhuriyet University, Faculty of Engineering, Department of Geological Engineering, Sivas, Peru, 2009.

# CAPÍTULO 9

## POTENCIAL DA APLICAÇÃO DE RESÍDUOS PLÁSTICOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL: ALTERNATIVAS E SUSTENTABILIDADE

*Data de aceite: 03/05/2021*

*Data da submissão: 17/03/2021*

### **Aline Viancelli**

Universidade do Contestado – UnC  
Concórdia, Santa Catarina  
<http://lattes.cnpq.br/1177756678285550>

### **Antônio Cristiano Lara Sampaio**

Universidade do Contestado – UnC  
Concórdia, Santa Catarina  
<http://lattes.cnpq.br/7467041187521117>

### **Christian Antônio dos Santos**

Universidade do Contestado – UnC  
Concórdia, Santa Catarina  
<http://lattes.cnpq.br/1017408976683536>

### **Daniel Celestino Fornari Bocchese**

Universidade do Contestado – UnC  
Concórdia, Santa Catarina  
<http://lattes.cnpq.br/6506864014446589>

### **Denilson Lorenzatto**

Universidade do Contestado – UnC  
Concórdia, Santa Catarina  
<http://lattes.cnpq.br/3741011810065791>

### **Helton Araujo Couto Carneiro**

Universidade do Contestado – UnC  
Concórdia, Santa Catarina  
<http://lattes.cnpq.br/7023400895052458>

### **Luiz Fernando Broetto**

Universidade do Contestado – UnC  
Concórdia, Santa Catarina  
<http://lattes.cnpq.br/3946217759181834>

### **Patrícia Aparecida Zini**

Universidade do Contestado – UnC  
Concórdia, Santa Catarina  
<http://lattes.cnpq.br/9814140273033249>

### **Paula Roberta Silveira Málaga**

Universidade do Contestado – UnC  
Concórdia, Santa Catarina  
<http://lattes.cnpq.br/4646385227640920>

### **Robison Ranieri Martins**

Universidade do Contestado – UnC  
Concórdia, Santa Catarina  
<http://lattes.cnpq.br/6654595535152401>

### **Thiago Demczuk**

Universidade do Contestado – UnC  
Concórdia, Santa Catarina  
<http://lattes.cnpq.br/4703178054675722>

### **William Michelin**

Universidade do Contestado – UnC  
Concórdia, Santa Catarina  
<http://lattes.cnpq.br/1915524637784633>

**RESUMO:** A problemática relacionada ao crescente volume de resíduos plásticos é uma preocupação mundial, e pesquisadores de diversas áreas têm se debruçado sobre a investigação de possibilidades para minimizar este problema. Neste sentido, uma das alternativas de destaque tem sido a incorporação destes resíduos em materiais de construção como pasta de cimento, asfalto e outros. A presente revisão tem por objetivo trazer alguns estudos de sucesso nesta linha de pesquisa. Além disso, visa despertar a positividade relacionada ao

tema, de modo a incentivar outros pesquisadores a desenvolver novos produtos, haja vista a crescente incorporação das questões ambientais na construção civil.

**PALAVRAS-CHAVE:** Construção sustentável, resíduos plásticos, gestão.

## POTENTIAL APPLICATION OF PLASTIC WASTE IN CONSTRUCTION: ALTERNATIVES AND SUSTAINABILITY

**ABSTRACT:** The problem related to the increasing volume of plastic waste is a worldwide concern, and researchers from different areas have been looking for alternatives to minimize this problem. In this sense, one of highlighted alternatives has been the incorporation of these residues in construction materials such as cement paste, asphalt and others. This review aims to show some successful studies in this research field. In addition, it aims to highlight the positivity related to the issue, in order to encourage other researchers to develop new products, in view of the increasing incorporation of environmental issues in civil construction.

**KEYWORDS:** Sustainable construction, plastic waste, management.

### 1 | INTRODUÇÃO

Atualmente a produção de plástico destaca-se comparada a de outros materiais, uma vez que estes são de baixo custo de produção, e apresentam características físicas que os tornam fortes e leves (GIACOVELLI *et al.*, 2018). Mundialmente a demanda por plásticos aumentou de mais de 320 milhões de toneladas em 2015, para 330 milhões em 2016 (KEHINDE *et al.*, 2020). Considera-se que 50% dos produtos plásticos produzidos são descartáveis, por terem uso único ou tratarem-se de embalagens (DUTTA E CHOUDHURY, 2018).

Grande parte dos materiais plásticos produzidos atualmente são originários de matérias-primas não biodegradáveis, sendo reportado que para a degradação de algumas embalagens plásticas poderiam ser necessários até 450 anos (GALL E THOMPSON, 2015). Durante o processo de degradação, substâncias nocivas como bisfenol A, ftalatos, retardadores de chama bromados e outros podem chegar a diferentes ambientes colocando em risco a saúde dos seres vivos (SILVA *et al.*, 2014; VERMA *et al.*, 2016). Este mesmo perfil de degradação é um agravante quando tais materiais são dispostos em aterros sanitários, pelo grande volume ocupado e conseqüente redução da vida útil do aterro (SILVA *et al.*, 2014). A reciclagem destes materiais tem sido uma alternativa empregada em diversas regiões, no entanto, em países em desenvolvimento, a má gestão associada com a ineficiente coleta e segregação, fazem com que a taxa de reciclagem seja baixa (KAMARUDDIN *et al.*, 2017).

Estima-se que o descarte anual de plástico seja maior que sete milhões de toneladas (KEHINDE *et al.*, 2020). O acúmulo contínuo de resíduos plástico ameaça diversos ecossistemas tornando-se um sério desafio global (DUTTA E CHOUDHURY, 2018). A alta produção associada com a baixa taxa de reciclagem, transforma os plásticos em

representantes expressivos da geração de resíduos, sendo em torno de 10% do peso dos resíduos sólidos gerados nas cidades (DUTTA E CHOUDHURY, 2018). Parte dos resíduos plásticos gerados chegam aos rios e por consequência aos mares, onde mais de 100.000 animais morrem anualmente por asfixia, emaranhamento, ou ingestão desses materiais (MEKONNEN *et al.*, 2019).

Visando a minimização dos impactos causados pelos plásticos, pesquisadores têm buscado alternativas sustentáveis para seu descarte, sendo a reciclagem umas das melhores opções. Para a realização do processo de reciclagem é necessário o cumprimento das etapas de classificação por componentes, limpeza, fracionamento e derretimento. Neste processo de reciclagem, a contaminação entre diferentes tipos de plásticos e o grande consumo de energia, dificultam o processo tradicional. Neste cenário, a reciclagem simplificada tem se tornado mais atrativa, pois ocorre somente a limpeza e o corte dos materiais (MATOS *et al.*, 2020).

Um dos setores que tem sido explorado para destinação de resíduos plásticos é a construção civil, por meio da incorporação de plásticos em materiais de construção, reduzindo assim a demanda por recursos naturais. No entanto, para que esta prática seja eficaz, é necessário conhecer as propriedades dos diferentes materiais, e assim melhorar o processo de reuso.

## **2 | TIPOS DE PLÁSTICOS, CARACTERÍSTICAS E REUSO NA CONSTRUÇÃO**

Os tipos mais comuns de resíduos de plásticos são o polietileno de baixa e alta densidades (PEBD, PEAD), polipropileno (PP), tetraftalato de polietileno (PET), poliestireno (PS) e cloreto de polivinila (PVC) (LAHTELA *et al.*, 2019). Estes materiais quando aplicados na indústria da construção, melhoraram o reaproveitamento de matérias-primas, podendo ser utilizados em misturas de cimento e asfalto, isolamento acústico ou térmico, entre outros (AWOYERA E ADESINA, 2020).

Resíduos de polímeros termoplásticos são materiais versáteis, podendo ser aplicados na substituição de peças pré-moldadas de sistemas construtivos de fundações superficiais, ou de materiais como madeira, cerâmica, concreto e cimento-amianto (FRIGIONE, 2010). O mesmo autor ainda destaca que, embora o uso de polímeros seja recente, é uma boa escolha, pois ajuda a melhorar a racionalidade, economia e versatilidade nas obras de construção civil, quando agregado com outros materiais ou individualmente (FRIGIONE, 2010).

No entanto, é recomendável testar os materiais para determinar as propriedades físicas e químicas após a fusão e moldagem, e em seguida, selecionar as propriedades do elemento para a finalidade adequada. A Tabela 1 reúne algumas características de materiais plásticos e seu possível emprego na construção civil.

<b>Composição do plástico</b>	<b>Propriedades físicas</b>	<b>Possível aplicação de construção</b>
Polietileno de alta densidade (PEAD)	Rígido	Mesa, cadeiras
Polietileno de baixa densidade (LDPE)	Flexível	Tijolos e blocos
Polipropileno (PP)	Duro e Flexível	Agregados na mistura de asfalto
Poliestireno (PS)	Duro e quebradiço	Material isolante
Tereftalato de polietileno (PET)	Duro e flexível	Fibras em compostos cimentícios
Cloreto de polivinila (PVC)	Duro e Rígido	Agregado em compostos cimentícios

Tabela 1. Principais tipos de plásticos e possíveis aplicações na construção civil.

Fonte: AWOYERA E ADESINA (2020)

Agregados de fibras plásticas são comumente utilizados em materiais de construção para substituir o agregado grosso e o agregado fino (GU E OZBAKKALOGLU, 2016). A densidade aparente dos agregados plásticos é menor do que a do granito, calcário ou basalto, portanto, eles são usados preferencialmente para concreto leve. Já as fibras plásticas são usadas como materiais de reforço e podem substituir as fibras de aço, melhorando a resistência mecânica (YIN *et al.*, 2015). Essa substituição apresenta-se vantajosa uma vez que as fibras de aço são suscetíveis à corrosão, especialmente quando expostas à água salgada sem uma proteção adequada (YIN *et al.*, 2015).

A incorporação de fibras plásticas recicladas em compostos de cimento, tem mostrado uma melhoria significativa nas propriedades térmicas dos materiais, o que pode ser atribuído à baixa condutividade térmica dos resíduos de plástico (YESILATA *et al.*, 2009). Outra aplicabilidade de sucesso tem sido o reforço de gesso, onde a utilização de 1 a 2% de fibras plásticas e 5 a 10% de fibra de vidro na preparação da pasta, melhorou a resistência à flexão e o comportamento frágil das vigas de gesso (SALIM *et al.*, 2019).

A incorporação de resíduos plásticos também aprimorou as propriedades mecânicas e a durabilidade de concretos poliméricos, devido à alta resistência destes aos ambientes ácidos ou alcalinos (MARZOUK *et al.*, 2007). O emprego de resíduos plásticos como substitutos de agregados na construção de base e sub-base de pavimentos, mostrou-se promissora, uma vez que houve melhora nas características como cisalhamento, rigidez e capacidade de carga do pavimento (CHOUDHARY *et al.*, 2014). Nesta mesma linha de aplicação, resíduos plásticos tem sido incorporados em misturas asfálticas, onde melhorou a resistência à derrapagem e rachaduras do pavimento (AWOYERA *et al.*, 2019). Bansal *et al.* (2017) também observaram que a adição de 8% de plástico à mistura betuminosa asfáltica aumentou em 16% a resistência e a durabilidade do asfalto. Por outro lado, Hassani *et al.* (2005) reportaram que a adição de até 20% de resíduos PET em misturas



asfálticas não se mostrou diferente dos controles sem adição. A adição de resíduos para construção de rodovias está alinhada aos conceitos de *green roads* ou rodovias carbono neutro (ATTAHIRU *et al.*, 2019).

Outro fator importante a ser observado, é o tamanho das partículas de plástico, como reportado por Thorneycroft *et al.* (2018), onde foi possível produzir concreto estrutural com substituição de até 10% de areia quando utilizados resíduos de granulometria inferior à 0,1 mm. Isso deve-se ao aumento da superfície de contato, e conseqüentemente aumento da interação entre os compostos.

Embora a aplicação de resíduos plásticos em larga escala ainda não seja uma realidade na indústria da construção, os protótipos de materiais produzidos têm sido utilizados em construções demonstrativas. O salto necessário para transpor essa barreira está na mudança de conceitos e nas políticas públicas, para apoiar essas ideias. Além disso, nos últimos tempos a pressão da opinião pública sobre as questões ambientais envolvendo resíduos plásticos, tem se tornado cada vez mais fortes devido ao engajamento da indústria e da sociedade para um mundo sustentável.

### 3 I CONSIDERAÇÕES E LIMITAÇÕES DE USO

O setor da construção é um dos maiores consumidores de matérias-primas, fazendo dele um setor promissor para a aplicação destes resíduos. Apesar de possuírem uma grande possibilidade de utilização, o emprego desses resíduos é limitado. Uma das dificuldades observadas quanto aos resíduos plásticos, refere-se a fraca ligação entre o plástico e a matriz cimentícia que o circunda. Neste sentido, estudos tem destacado a importância do pré-tratamento (ácidos ou alcalinos) destes resíduos de modo a melhorar as características físico-químicas antes da adição no concreto (THORNEYCROFT *et al.*, 2018).

Awoyera e Adesina (2020) reportaram algumas limitações associadas ao uso em larga escala de resíduos plásticos na construção civil, sendo eles: a mistura de diferentes tipos de plásticos, a baixa densidade que os torna inadequados para locais de alta tenacidade e elasticidade. No entanto, a principal limitação é a falta de protocolos padrões sobre as melhores condições de uso e proporções de substituição de cada tipo de plástico nos materiais de construção. Essa última limitação só poderá ser ultrapassada com estudos científicos que busquem compreender a performance destes diferentes resíduos a curto e longo prazo.

No entanto, estas limitações não devem ser um impedimento para o uso, e sim um estímulo para novas pesquisas, uma vez que a utilização destes materiais ajudará a minimizar o problema de gerenciamento de resíduos sólidos, e também será uma alternativa para o esgotamento de algumas fontes de matérias-primas usadas na construção civil. Além disso, trará benefícios econômicos com a redução da utilização de materiais convencionais, e principalmente por agregar o conceito de sustentabilidade às construções.

## REFERÊNCIAS

ATTAHIRU, Y. B. et al. A review on green economy and development of green roads and highways using carbon neutral materials. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 101, p. 600-613, 2019.

AWOYERA, P.; ADESINA, A. Plastic wastes to construction products: Status, limitations and future perspective. **Case Studies in Construction Materials**, v. 12, p. e00330, 2020.

AWOYERA, P.; ONOJA, E.; ADESINA, A. Fire resistance and thermal insulation properties of foamed concrete incorporating pulverized ceramics and mineral admixtures. **Asian Journal of Civil Engineering**, v. 21, n. 1, p. 147-156, 2020.

BANSAL, S.; MISRA, A. K.; BAJPAI, P. Evaluation of modified bituminous concrete mix developed using rubber and plastic waste materials. **International Journal of Sustainable Built Environment**, v. 6, n. 2, p. 442-448, 2017.

CHOUHARY, A. K. et al. Utilization of fly ash and waste recycled product reinforced with plastic wastes as construction materials in flexible pavement. In: **Geo-Congress 2014: Geo-characterization and Modeling for Sustainability**. 2014. p. 3890-3902.

DUTTA, J.; CHOUDHURY, M.. Plastic pollution: a global problem from a local perspective. **J Waste Manage Xenobio**, v. 1, n. 1, p. 000102, 2018.

FRIGIONE, M. Recycling of PET bottles as fine aggregate in concrete. **Waste management**, v. 30, n. 6, p. 1101-1106, 2010.

GALL, S. C.; THOMPSON, R.C. The impact of debris on marine life. **Marine pollution bulletin**, v. 92, n. 1-2, p. 170-179, 2015.

GIACOVELLI, C. et al. Single-Use Plastics: A Roadmap for Sustainability (rev. 2). 2018.

GU, L.; OZBAKKALOGLU, T. Use of recycled plastics in concrete: A critical review. **Waste Management**, v. 51, p. 19-42, 2016.

HASSANI, A.; GANJIDOUST, H.; MAGHANAKI, A. A. Use of plastic waste (poly-ethylene terephthalate) in asphalt concrete mixture as aggregate replacement. **Waste Management & Research**, v. 23, n. 4, p. 322-327, 2005.

KAMARUDDIN, M. A. et al. Potential use of plastic waste as construction materials: recent progress and future prospect. In: **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**. IOP Publishing, 2017. p. 012011.

KEHINDE, O. et al. Plastic wastes: environmental hazard and instrument for wealth creation in Nigeria. **Heliyon**, v. 6, n. 10, p. e05131, 2020.

LAHTELA, V.; HYVÄRINEN, M.; KÄRKI, T. Composition of plastic fractions in waste streams: Toward more efficient recycling and utilization. **Polymers**, v. 11, n. 1, p. 69, 2019.

MARZOUK, O. Y.; DHEILLY, R. M.; QUENEUDEC, M. Valorization of post-consumer waste plastic in cementitious concrete composites. **Waste management**, v. 27, n. 2, p. 310-318, 2007.

MATOS, M. C. C.; DA COSTA PEREIRA, P. S.; SANTOS, S. F. Um olhar tecnológico sobre pet, sua reciclagem e o processo bottle-to-bottle. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 6, p. 41669-41688, 2020.

MEKONNEN, Y.; AGON, E. C.; OUMER, B. **Experimental Investigation of Waste Plastic Bottles As Partial Replacement of Aggregates in Flexible Pavements**. 2019. Tese de Doutorado.

SALIM, K. et al. Reinforcement of building plaster by waste plastic and glass. **Procedia Structural Integrity**, v. 17, p. 170-176, 2019.

SILVA, R. V. F.; DE BRITO, J.; DHIR, R. K. Properties and composition of recycled aggregates from construction and demolition waste suitable for concrete production. **Construction and Building Materials**, v. 65, p. 201-217, 2014.

THORNEYCROFT, J. et al. Performance of structural concrete with recycled plastic waste as a partial replacement for sand. **Construction and Building Materials**, v. 161, p. 63-69, 2018.

VERMA, R. et al. Toxic pollutants from plastic waste-a review. **Procedia Environmental Sciences**, v. 35, p. 701-708, 2016.

YESILATA, B.; ISIKER, Y.; TURGUT, P. Thermal insulation enhancement in concretes by adding waste PET and rubber pieces. **Construction and Building Materials**, v. 23, n. 5, p. 1878-1882, 2009.

YIN, S. et al. Use of macro plastic fibres in concrete: A review. **Construction and Building Materials**, v. 93, p. 180-188, 2015.

## THE PILOTIS AS SOCIOESPATIAL INTEGRATOR: THE URBAN CAMPUS OF THE CATHOLIC UNIVERSITY OF PERNAMBUCO

*Data de aceite: 03/05/2021*

*Data de submissão: 04/02/2021*

### **Andreyra Raphaella Sena Cordeiro de Lima**

Universidade Católica de Pernambuco  
Recife – PE  
<http://lattes.cnpq.br/3531321025278622>

### **Maria de Lourdes da Cunha Nóbrega**

Universidade Católica de Pernambuco  
Recife - PE  
<http://lattes.cnpq.br/7085859535655335>

### **Robson Canuto da Silva**

Recife – PE  
<http://lattes.cnpq.br/8028035792350677>

**ABSTRACT:** This study aims to investigate space configuration factors that promote patterns of pedestrian movement and social interactions on the campus of the Catholic University of Pernambuco, located in Recife, in the Brazilian State of Pernambuco. The campus consists of four large urban blocks and a number of modern buildings with pilotis, whose configuration facilitates not only pedestrian movement through the urban blocks, but also various other types of activity. The methodology is based on the Social Logic of Space Theory, better known as Space Syntax. The study is structured in three parts: (1) The Urban Campus, which presents an overview of the evolution of universities and relations between campus and city; (2) Paths of an Urban Campus, which presents a spatial

analysis on two scales (global and local); and (3) The Role of pilotis as a Social Integrator, which discusses the socio-spatial role of pilotis. Space Syntax techniques (axial maps of global and local integration) was used to shed light on the nature of pedestrian movement and its social performance. The pilotis were found to play a fundamental role in integrating the city and the campus and are responsible for attracting urban rather than educational activities.

**KEYWORDS:** Public space, urban campus, space syntax, urban morphology.

### O PILOTIS COMO INTEGRAÇÃO SOCIOESPACIAL: O CAMPUS URBANO DA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE PERNAMBUCO

**RESUMO:** Este estudo tem como objetivo investigar fatores da configuração espacial que promovem padrões de movimentação de pedestres e interações sociais no campus da Universidade Católica de Pernambuco, localizado na cidade de Recife, Estado de Pernambuco. O campus é constituído por quatro grandes blocos urbanos e diversos edifícios modernos com pilotis, cuja configuração facilita não só a circulação dos pedestres na malha urbana, mas também vários outros tipos de atividades. A metodologia é baseada na Teoria da Lógica Social do Espaço, mais conhecida como Sintaxe Espacial. O estudo está estruturado em três partes: (1) O Campus Urbano, que apresenta uma visão geral da evolução das universidades e das relações entre o campus e a cidade; (2) Percursos de um Campus Urbano, que apresenta uma análise espacial em duas escalas (global e

local); e (3) O papel dos pilotis como integradores sociais, que discute o papel socioespacial dos pilotis. Técnicas de sintaxe espacial (mapas axiais de integração global e local) foram usadas para lançar luz sobre a natureza do movimento de pedestres e seu desempenho social. Constatou-se que os pilotis desempenham um papel fundamental na integração da cidade e do campus e são responsáveis por atrair atividades urbanas e não educacionais.

**PALAVRAS-CHAVE:** Espaços públicos, campus urbano, sintaxe espacial, morfologia urbana.

## 1 | INTRODUÇÃO

Founded in the 1950s, the campus of the Catholic University of Pernambuco (UNICAP) is located in the city center of Recife, a city in the Brazilian State of Pernambuco (Figure 1). The campus acts as an attractor of people, especially during working days. The intense flow includes students, members of the staff and, particularly, vendors, who provide support services such as photocopying, restaurants and stationery in the surrounding area. The campus thus serves to promote commerce and services. The area in which the urban campus is located is well served by public transportation (especially buses) as well as historic buildings dating back to the first centuries of the settlement of the city. However, its drawbacks include issues related to urban walkability, mainly because it is difficult to take enjoyable, safe, comfortable and interesting walks, which according to Speck (2016) are essential factors in a walkable city. In view of this, it has been argued that the presence of the campus certainly contributes to the promotion of good patterns of walkability, in particular because of its functional and morphological attributes. It is an open and permeable campus, providing pedestrian short cuts in this part of the city. In fact, the campus helps to provide a more walkable urban fabric by integrating the local street network through an open ground floor, thereby helping to foster urban life and various types of social and commercial interaction.



Fig. 1. Aerial view of the campus of the Catholic University of Pernambuco integrated to the urban fabric of Boa Vista district in the city center of Recife. The campus is composed of four urban blocks. Photography: Olavo Rosa, 2018.

As a way of helping to establish a more walkable urban fabric, the present article thus investigates space configuration factors that restrict or promote patterns of pedestrian movement through the local urban fabric. Methods for observing pedestrian movement and techniques for describing space were applied to understand the relationship between spatial configuration and patterns of movement. The methodology is based on the Social Logic of Space Theory (HILLIER et al, 1984), so-called Space Syntax. This theory presupposes that “a primary property of the form of the urban grid is to privilege certain spaces over others for through movement”, which Hillier et al (1993, p.9) call “natural movement”. According to Hillier et al (1993, p.29), “retail land uses are then located to take advantage of the opportunities offered by the passing trade and may well act as multipliers on the basic pattern of ‘natural movement’ generated by the grid configuration.” Urban grids are thus structured to create a kind of probabilistic field of interpersonal encounters - a “virtual community” that potentially exists, even though it has not actually been realized (HILLIER, 1989, p.16).

Space Syntax thus enables us to understand the spatial configuration of the campus, as well as patterns of natural movement through its space. The article is structured in three parts: (1) **The Urban Campus**, which presents an overview of the evolution of universities and the emergence of the urban campus; (2) **Paths of an Urban Campus**, which presents spatial analyses of the campus of the Catholic University of Pernambuco; and (3) **The Role of Pilotis as an Integrator of Space**, which discusses pilotis as integrators of social and commercial practices.

## 2 | THE URBAN CAMPUS

### 2.1 From college to urban campus and the types of university spaces in Brazil

Etymologically, the word university comes from the Latin *universitas*, which refers to the association of students. Over the centuries, this expression came to refer to both students and teachers. According to Kohlsdorf:

the earliest document in which the word appears with the same meaning is the *Studium Generale* signed by Pope Innocent III, in 1208, in Paris. Later, the word university became commonly used to refer to educational institutions for higher education in the highest sphere.(KOHLDORF, 2005, p.04 apud RODRIGUEZ, 2007, p.8).

According to Rodrigues (2007), the first universities emerged in the 12th century and, undoubtedly, Bologna (1158) and Oxford (1167) were the pioneers. Between the thirteenth and fourteenth centuries, twenty-nine European universities were founded: Paris (1200), Valencia (1208), Cambridge (1209), Salamanca (1219), Toulouse (1229), Lisbon (1288), Coimbra (1308), Rome (1303) and Cologne (1389). Most of these universities merged into the urban fabric of their cities. In this period, one of the most predominant archetypal forms of university spaces was the college, a court building composed of a cloister and a church

built into the urban fabric. In the 19th century, in the context of the Industrial Revolution and the development of science, the college archetype was rejected in favour of isolated palatial buildings, which were better able to accommodate the various sciences. This new structure is better known as a campus. The University of Virginia, in the United States of America, designed by Thomas Jefferson, is considered a pioneer of this new model of spatial organization of university institutions (RODRIGUEZ, 2007, p.8). In the twentieth century, with the emergence of Modern Architecture, a new type of university space (the modern campus) emerged. It is clearly inspired by Garden Cities and basically characterized by enclaves of modern buildings (under pilotis) dispersed into large open green areas set apart from the city. In fact, the modern campus was strongly influenced by the principles of modern urbanism advocated in the Charter of Athens (1933) and gained particular ground in South American cities. All three models of university spaces (college, campus and modern campus) are frequently identified in the literature. For instance, Canella (1968, p.19 apud RODRIGUEZ, 2007, p.8) also recognized three main types of organization according to the countries where it emerged:

(1) English universities, built under the quadrangular pattern which expands itself and influences the life of academic community; (2) American universities, that established the concept of an anti-urban campus with a self-sufficient structure, a clear definition of public and private spaces, and a sectorization of activities in specialized areas; (3) Latin American universities, which constructed the university space within the scope of a socially segregated system and a mentality of isolation of the university population, by locating their activities in areas of expansion of the city (CANELLA 1968, p.19 apud RODRIGUEZ, 2007, p.8).

In Brazil, the first institution dedicated to higher education was the Royal Military Academy, founded in 1810 by D. João VI. Thereafter, various higher education institutions were established in existing buildings located in central areas, along important roads and public spaces of the city. As Segawa (2002, p.174-175) notes, Brazilian universities were born “from the aggregation of isolated units, each with functions usually adapted within buildings that were not properly designed to host higher educational institutions.” However, between 1910 and 1930, Brazilian higher education experienced successive reforms, which significantly contributed to the foundation, in the 1920s, of the first university, the University of Rio de Janeiro, whose campus was designed on the basis of modernist principles. According to Segawa (2002, p. 175), “with the foundation of the University of Rio de Janeiro other Brazilian universities emerged, such as the universities of Minas Gerais (1927), São Paulo (1934), Pernambuco, Bahia (1940s), Rio Grande do Sul, Paraná, Pará and Paraíba (1950s)”. Likewise, “private universities of religious origin also emerged in various Brazilian capitals between 1940 and 1950” (SEGAWA, 2002, p.175). In fact, the spatial configuration of most Brazilian universities was heavily influenced by the principles of the Garden City, especially those designed and built between 1940 and 1960. According to Macêdo (1996,

apud Rodriguez, 2007, p.11-12) the modern campus in Brazil is fundamentally based on three types of organization:

the nuclear type, inspired by the Garden City scheme, such as Lúcio Costa's proposal for the University of Brasília (UNB); (2) the grid type, in which a cartesian network is a fundamental reference for the territorial organization of the campus as a whole, as is the case with the University of Amazonas; and (3) the linear type based on the linear city model, which provides a central axis for circulation and support infrastructure, as proposed for the Federal University of Rondônia. (MACÊDO, 1996, apud RODRIGUEZ, 2007, p.11- 12).

## **2.2 The Catholic University of Pernambuco as an urban campus**

The Catholic University of Pernambuco is a private university, whose campus was established in Recife in the 1950s, as a result of the policy of creating colleges and universities introduced by the Catholic Church between 1940 and 1950. Initially, the university campus occupied buildings belonging to the Nóbrega Lyceum and, then, urban blocks in the surrounding area. In the 1960s, UNICAP received the Lyceum of Arts and Crafts and the Archdiocesan College, which guided the direction of its expansion. Over the 1960s, 1970s and 1980s, the university structure was constantly expanding and a number of improvements were introduced, such as the construction of a central library, a parking lot, and a sports facilities and the restoration of a colonial building that houses a cultural centre known as Casarão Rosado. (CABRAL, 2013, p.83-86). Like the first European campuses, UNICAP was thus integrated into the urban fabric of the city centre. For this reason, it adopted the slogan "our campus is the city". (CABRAL, 2013, p.86). The campus currently occupies an area which corresponds to precisely 94,498m<sup>2</sup> and houses a number of different types of buildings, which coexist within its urban structure. These include modern pavilions with pilotis, colonial buildings and churches. The campus has in fact grown according to its functional demands, by occupying preexisting building or by adding new facilities to support academic, administrative and infrastructure needs. This has resulted in a complex structure that occupies four large urban blocks, composed of buildings, patios, gardens, parking lots, leisure spaces and passages and pathways. These pathways connect different spaces of the campus and establish shortcuts through the urban fabric. There is also an interior structure of formal and informal routes, which prioritize access to numerous faculties and academic centres through internal patios and gardens, rather than streets and other public spaces, as can be seen by comparing Nolli maps (Figures 2 and 3).





Fig. 2 and 3: Noll maps of the urban university blocks in 1970 and 2017 (from left to right).

Source: Authors, 2018.

These observations and the three models of the university (linear, mesh and nuclear) as defined by Macêdo (1996, apud RODRIGUEZ, 2007, p.11-12) thus suggest that the campus of the Catholic University of Pernambuco belongs to a fourth type of campus, a mixed type (or an urban campus) much more closely integrated into the urban fabric. The mixed type includes some of the qualities of the mesh type (because it takes advantage of the urban fabric to locate its spaces) and some attributes of the linear type (because it takes advantage of the axes available for location of its buildings). It can also be said that the urban campus plays a fundamental role as an articulator of the urban fabric and as a facilitator of pedestrian movement through the urban fabric. As a way of shedding further light on these patterns of pedestrian movement, the present study sought to develop a configurational analysis of the campus pathways divided into two parts: (a) configured paths, which presents a syntactic analysis of the spatial configuration based on Noll maps of the campus in 1970 (corresponding to the period of expansion of the university) and 2017 (its current situation); and (b) created paths, which provides an analysis of predominant pedestrians flows, captured by local observations.

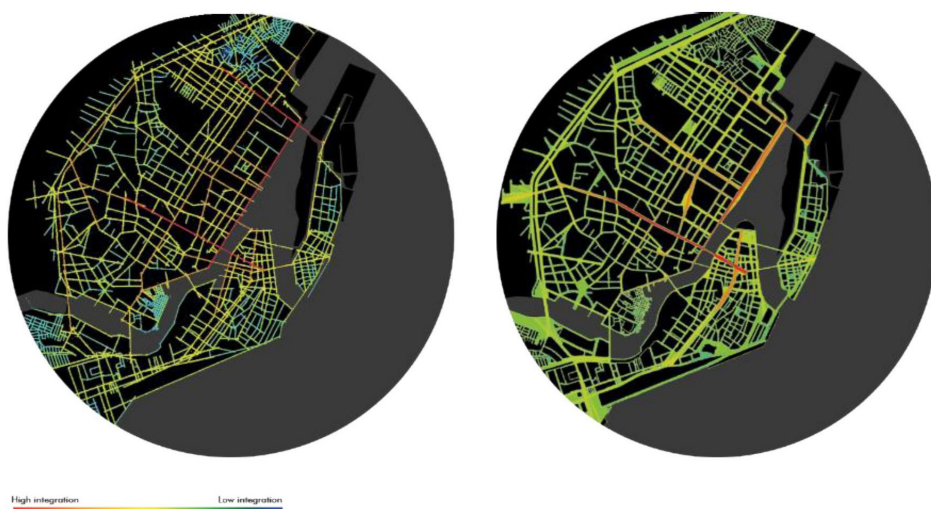
### 3 | PATHS OF AN URBAN CAMPUS

#### 3.1 Configured paths - spatial analysis of the campus (at global and local levels)

At the global level, the UNICAP campus is located in Recife city centre, on which public transportation in the city converges. This area is characterized by a large number of bus routes and itineraries for the Metropolitan Region of Recife Public Transport Service users.

According to the Pelopidas Silveira City Institute, in 2011, nearly 75% of the total number of bus routes in Recife directly accessed the city centre. This produces a predominantly radial-concentric system, with a low density of bus routes on the periphery and a high density in the city centre. (RECIFE, 2011)

In view of this, a large flow of people also converges on the city centre. The area is constantly packed with people and is notorious for this, particularly on working days (Monday to Saturday). The people come from different parts of the city (districts and metropolitan region) for numerous purposes: working, studying, shopping or, simply, entertainment. The flow of pedestrians is intense, especially along public transportation corridors, such as Conde da Boa Vista, Norte and Cruz Cabugá Avenues.



Figures 4 and 5. Global integration of the city center of Recife - axial map and all lines axial map (from left to right).

Source: Authors, 2018.

From a syntactic point of view, these corridors are the major integration routes and comprise the integration nucleus that contains 10% of the most integrated axial lines of the system (including the districts of Recife, Santo Antônio and São José). This nucleus is located roughly between Conde da Boa Vista Avenue (whose integration value is 1.90934) and Miguel Arraes de Alencar North Avenue (1.77901), where the mesh demonstrates a high degree of axiality. These routes are also the main axes of articulation between the continental and insular portions of the city. The core also contains Cruz Cabugá Avenue (1.74655); Rua Gervásio Pires (1,78789); Rua da Aurora (1.88085); Rua Dr. José Mariano (1,75862); Rua da Imperatriz (1,69333); Rua Princesa Isabel (1,62804); Rua da Fundação

(1, 66476); Rua João Lira (1,72567); Rua do Hospício (1,75161); and Mário Melo Avenue (1,71983). The Catholic University of Pernambuco is part of the integrated core of the city centre and plays an important role in articulating the city's urban fabric. This articulation can be seen from the global integration map. (Figures 4 and 5). The integration level of the city centre varies from a maximum of 1.9093 to a minimum of 0.6158, with a mean of 1.26025. At local level, the Catholic University of Pernambuco plays an important role in facilitating pedestrian movement through the urban fabric. Patios, squares and a wide range of empty spaces between buildings, as well as spaces generated by the pilotis of many modernist buildings in the urban blocks, promote internal pedestrian movement by students, university employees and passers-by.



Fig. 6, 7 and 8. All-lines axial maps of the Campus in 1950, 1970 and 2017 (from left to right).

Source: Authors, 2018.

In order to identify patterns of pedestrian movement defined by the spatial configuration of the campus, three all-lines axial maps were created using DepthmapX (Figures 7, 8 and 9). The maps correspond to the morphological features of the campus in 1950, 1970 and 2017. The first map (1950) presents a configuration heavily dependent on the streets as agents for facilitating the accessibility of various university faculties and departments. In this configuration, the streets are protagonists, especially those with a high level of integration: Rua do Príncipe, Rua Afonso Pena and Rua do Lazer (the streets marked red in the map). The second map (1970) shows a significant change. Open gates located at various points in the urban block allow pedestrians to cross it. Consequently, the role of streets declines in favour of internal paths (which become more integrated and red on the map). In this scheme, spaces defined by the pilotis of various buildings facilitate access to a larger number of internal spaces, which become much more integrated (or red in the map), while the levels of integration of the street diminishes significantly (blue spaces

in the map). The third map (2017) illustrates the current configuration, which consolidates a system highly dependent on the internal structure as the main agent for promoting access to the various spaces of the campus. In this scheme, the integration axis (red spaces) traverses two blocks and interconnects them. It is therefore clear that pilotis have promoted accessibility through the internal structure of the campus rather than direct access from the street. To confirm this hypothesis, observations were made in loco by capturing and registering the movement and flow of people. The purpose of this was to identify the paths created—informal paths spontaneously created by pedestrians on the campus—and, then, to evaluate the extent of the spatial analyses.

## **3.2 Created Paths - observation of socio-spatial patterns**

### *3.2.1 Observation and registration of pedestrian movement and routes*

Eighteen strategic points were selected for observation and registration of routes. These points correspond to places that people use to walk through the campus. Most of them correspond to building entrances or gates located at the edges of the existing urban blocks. An observation area corresponding to the immediate surroundings of the UNICAP was then drawn up. Eighteen students then positioned themselves at the specific points on working days and followed four people. People were randomly chosen to be followed, regardless of whether they were entering or leaving the campus. Their trajectories were registered on the map as a way of visualizing the chosen routes. (Figures 9 and 10). The data was recorded at 3:00 p.m. (a period of moderate movement time) and at 6:00 p.m. (a period of intense movement) precisely.

These observations revealed that, on the UNICAP campus, during periods of both moderate and intense movement, a significant number of people opt for internal routes to the detriment of the peripheral ones, with the exception of a few passers-by who appeared unaware of the existence of internal routes. These internal routes suggest a connection between Conde da Boa Vista and Visconde de Suassuna Avenues, crossing the campus.



Fig. 9 and 10. Maps of pedestrian movement at 3 p.m. and at 6 p.m. The maps capture flows of pedestrian movement throughout the urban blocks of the Catholic University of Pernambuco campus.

Source: Authors, 2018.

### 3.2.2 *Observation of pedestrian flows*

The observation of pedestrian flow was based on people counts. At the same times, precisely 3:00 p.m. and 6:00 p.m., for five working days, students and volunteers were positioned at 18 strategic points (gates) to spend five minutes counting the number of passers-by who crossed these gates. These data were then converted into tables, charts and maps, which revealed a huge flow of people at Rua do Lazer (Figure 11), approximately 40 per minute at 3:00 p.m. and roughly 75 per minute at 6:00 p.m. In fact, these figures reflect the intersection between peripheral and internal flows on Rua do Lazer. It is noteworthy that, at 6:00 p.m., the gates with the largest flow of people corroborates the internal logic of pedestrian movement identified. This is evidenced by the heavy flow circuit (more than 100 people per minute) running from Rua da Soledade (171 and 137), crossing Rua do Príncipe (152) and Rua do Lazer (377), and Rua Almeida Cunha (110). (Fig. 12 and 13).



Fig. 11. Temporary flea market at the Rua do Lazer within the campus of the UNICAP. Photos: Robson Canuto

The heavy cross-flow found on Rua do Lazer and Rua Almeida Cunha attests to the high level of integration of internal routes. This could, however, be improved further by strengthening the axially of these routes by way of interventions such as the removal of barriers. The existing barriers (such as fences, walls, gates, parking lots and other types of obstacle) not only restrict natural movement but also slow it down, since people have to walk greater distances to reach their destination. Removal of these obstacles could thus increase walkability and improve the city.

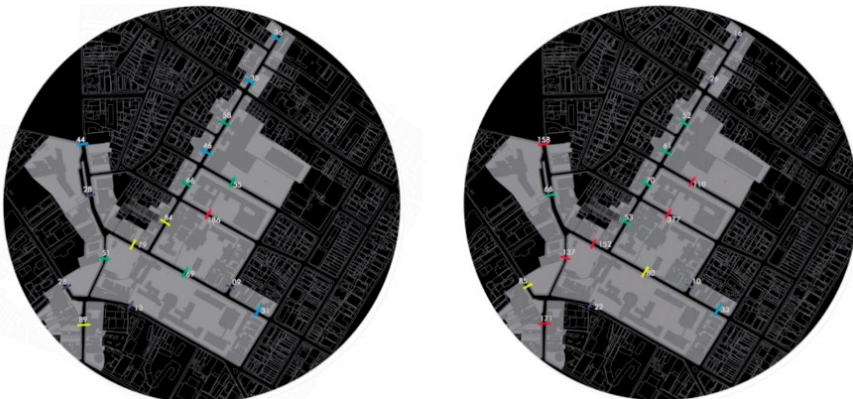


Fig. 12 and 13. Maps of number of people crossing “virtual” gates at 3:00 p.m. and at 6 p.m. The red gates illustrate high numbers of people crossing spaces while blue gates register lower numbers.

Source: Authors, 2018.

## 4 | THE ROLE OF PILOTIS AS AN INTEGRATOR OF SPACE

On the UNICAP campus, the pilotis provide a space that not only facilitates pedestrian movement through the blocks, but also integrates spaces for social, academic and commercial activities. Students, teachers and members of the staff are protagonists of the pilotis. People are often found talking, studying, shopping, eating or attending events such as exhibitions, concerts, conferences and bazaars. In fact, commercial activities have gradually been incorporated into the UNICAP campus, many of which are established near the pilotis. In recent years, they have made the university slogan “Our campus is the city” a reality. The presence of commercial activities shows that the functions of the city and the campus merge completely in this space, making the campus much more economically dynamic and integrated. The pilotis make social and commercial practices (meeting and exchanging) possible. According to Vargas (2001, p.11), “for the establishment of commercial exchanges, meeting is necessary. And commercial exchange will not only be of goods, but also ideas, words, experiences and sensations. And this exchange... cannot be established without a physical space”. Vargas also states that:

the need of meeting for the materialization of exchange will lead commercial activity to look for places that are more conducive to this encounter, which coincide with the crossing of flows of people or with places where other social activities occur for various purposes: religion, politics, entertainment and culture (VARGAS, 2001, p.20).

Things are no different at UNICAP. Commercial exchange commonly occurs along routes promoted by the pilotis or near them, as can be seen from the emergence of various retail outlets in these spaces, including bookstores, boutiques and a stationer's, as well as various types of services (restaurants, kiosks and photocopying services). (Figures 15 and 16). The syntactic attributes of space thus help to establish commercial exchange and value is assigned according to the logic of the flow of people and goods. Hence, the appropriateness of space is also relevant to this process. In fact, it is a necessary precondition for it.



Fig. 15. Several types of social and commercial activities on campus' pilotis. Photos: Marcos Vinícius.



Fig. 16. Social and commercial activities on campus' pilotis. Photos: Bárbara Campos.

## 5 | CONCLUSIONS

Spatial analysis and observation of the social use of space identified different patterns of pedestrian movement within the campus and its relations with commercial uses. These patterns demonstrate that various kinds of access through existing gates promote the use of internal pathways, which is a positive factor for the fluidity of pedestrian movement and the articulation of the street network. This integrates the campus and city and could be improved further.



These findings may contribute to the future development of urban design guidelines for the university space and its surroundings. One possible guideline is the consolidation of more pedestrian pathways within the urban blocks and one probable alternative is to expand routes through the adjacent urban blocks, in order to establish more alternatives of movement between the campus and public transportation corridors, such as Conde da Boa Vista Avenue. This will have a positive impact in terms of the integration of the local urban space, as many students and members of the staff arrive via these corridors.

Based on the hypothesis that the opening of certain barriers can improve local walkability, routes were simulated by removing existing barriers to the movement of people. Three possible infiltrations of pedestrian pathways were proposed in the urban block of the Nóbrega Lyceum. These aim to consolidate the pedestrian connections between Conde da Boa Vista Avenue and UNICAP by internal routes. The results indicate a slight improvement in levels of local integration in all three simulations.

It can be concluded that more alternative internal routes can be created to promote smoother pedestrian flow through the urban space. This strategy would integrate blocks whose existing walls, fences and other obstacles limit the movement of people. The infiltration through the blocks will not only make the circuits more efficient, but also increase urban vitality and boost the local economy.

## ACKNOWLEDGMENTS

The authors would like to express their deep gratitude to the Institutional Program of Scientific Initiation Scholarship of the Universidade Católica de Pernambuco (UNICAP).

## REFERENCES

Cabral, N. (2013) **Nascida do coração da igreja no centro do Recife: Universidade Católica de Pernambuco, 70 anos de educação superior católica**. Paralellus 4, 79-94.

Hanson, J. (1984) **The social logic of space**. Cambridge University Press, Cambridge.

Hillier, B. (1989) **The architecture of the urban object Ekistics 56**.

Hillier, B. (1993) **Natural Movement: or configuration and attraction in urban pedestrian movement**. Environment and Planning B 20.

Hillier, B. (1996) **Space is the machine**. Cambridge University Press, Cambridge

Loureiro, C.; Amorim, L. (2001) **Uma figueira pode dar rosas? Um estudo sobre as transformações em conjuntos populares**. Vitruvius 009.06.

Nóbrega, M.L. (2008) **Todo caminho dá na venda. A influência do comércio de varejo nas transformações físicas do espaço urbano. Os bairros do Recife, Santo Antônio e São José.** Postgraduate thesis (Postgraduate Program in Urban Development) Universidade Federal de Pernambuco, Recife.

Ortigoza, S.; Cortez, A. T. (2009) **Da produção ao consumo: impactos socioambientais no espaço urbano.** UNESP, São Paulo.

Recife. (2011) Plano de Mobilidade do Recife. Instituto Pelópidas Silveira. Prefeitura do Recife, Recife.

Rodríguez, M. (2007) **UNB e o seu espaço social. 2007. 110 f. Master Dissertation** (Master of Science in Architecture and Urbanism), Universidade de Brasília, Brasília.

Segawa, H. (2010) **Arquiteturas no Brasil.** EDUSP, São Paulo.

Speck, J. (2016) **Cidade Caminhavel.** Perspectiva, São Paulo.

Tuner, A. (2004) **Depthmap X. Multi-Platform Spatial Network Analysis. Software.** University College London, London.

Vargas, H. (2001) **Espaço terciário: o lugar, a arquitetura e a imagem do comércio.** Senac, São Paulo.

# CAPÍTULO 11

## DESAFIOS DO MUNICÍPIO DE SÃO DESIDÉRIO PARA PROMOÇÃO DO DIREITO AO SANEAMENTO BÁSICO SOB A ÓTICA DA POLÍTICA PÚBLICA MUNICIPAL

*Data de aceite: 03/05/2021*

*Data de submissão: 12/02/2021*

### **Amanda dos Santos Carteado Silva**

Engenheira Sanitarista e Ambiental  
Barreiras-BA

<http://lattes.cnpq.br/8832280443127268>

### **Luiz Roberto Santos Moraes**

Escola Politécnica da Universidade Federal da  
Bahia

Salvador-Bahia

<http://lattes.cnpq.br/1754614469917208>

**RESUMO:** A promoção do direito ao saneamento básico, exige antes, o seu reconhecimento como um direito social, devendo ser implementado pelo Poder Público e não numa lógica de mercado. Nos últimos anos o Brasil avançou na promoção do direito ao saneamento básico, no entanto muitos ainda são os desafios para conseguir promovê-lo a toda população. Alguns desafios refletem as contradições das relações da sociedade, como a prestação dos serviços como mercadoria e a incapacidade dos municípios na sua gestão participativa. Esta, para ser efetiva pressupõe uma política pública, que orientará outras etapas da gestão. Este capítulo objetiva avaliar sob a ótica da gestão municipal a atenção dada à política pública de saneamento básico pelo município de São Desidério/Bahia para promoção do direito ao saneamento básico à sua população. A metodologia consistiu numa revisão crítica da literatura associada a uma pesquisa

de dados secundários do Município no que se refere à política de saneamento básico. São vários os desafios postos para o Município. Além da inexistência de uma política municipal de saneamento básico, a maioria de sua população é rural e não tem acesso à água potável, nem aos outros componentes do saneamento básico.

**PALAVRAS-CHAVE:** Direito ao saneamento básico; Saneamento básico em São Desidério; Serviços públicos de saneamento básico.

### CHALLENGES IN THE MUNICIPALITY OF SÃO DESIDÉRIO TO PROMOTE THE RIGHT TO BASIC SANITATION UNDER THE VIEW OF MUNICIPAL PUBLIC POLICY

**ABSTRACT:** The promotion of the right to basic sanitation requires, rather, its recognition as a social right, and it must be implemented by the Public Power and not according to a market logic. In recent years, Brazil has advanced in promoting the right to basic sanitation, however there are still many challenges to be able to promote it to the entire population. Some challenges reflect the contradictions in society's relations, such as the provision of services as merchandise and the inability of municipalities to participate in the its management. This, to be effective, presupposes a public policy, which will guide other management stages. This chapter aims to evaluate, from the perspective of municipal management, the attention given to public sanitation policy by the municipality of São Desidério / BA to promote the right to basic sanitation for its population. The methodology consisted of a critical review of the literature associated with a survey of secondary

data from the municipality regarding basic sanitation policy. There are several challenges for the municipality. In addition to the lack of a municipal basic sanitation policy, the majority of its population is rural and does not have access to drinking water or other components of basic sanitation.

**KEYWORDS:** Right to basic sanitation; Basic sanitation in São Desidério; Public basic sanitation services.

## 1 | INTRODUÇÃO

O acesso aos serviços públicos de saneamento básico está intimamente ligado à qualidade de vida de uma população e à salubridade do ambiente em que esta está inserida. Na literatura, muitos estudos mostram a relação direta entre a ocorrência de doenças na população com a ausência ou precariedade de soluções de saneamento básico, e, além disso, a necessidade da concepção das ações de saneamento básico como promotoras de saúde, e do seu reconhecimento como um direito social, e de responsabilidade do Poder Público.

No que diz respeito a sua natureza, não é unânime o seu reconhecimento como direito social. Sendo tratado muitas vezes apenas como uma mercadoria, ou política pública de infraestrutura passível de ser submetida à lógica de mercado, concepção que embasa muitas das ações governamentais e os esforços para privatização dos serviços. O presente trabalho parte do pressuposto de que saneamento básico constitui um direito social e as políticas relacionados são de caráter público e social, devendo estar sustentadas em princípios como universalidade, igualdade e participação e controle social.

Embora até 2015 o Brasil tenha sido marcado por um período de avanços na promoção do direito ao saneamento básico, como por exemplo a aprovação das diretrizes nacionais para o saneamento básico e para a política federal (para os órgãos da União) de saneamento básico (Lei n. 11.445/2007), elaboração do Plano Nacional de Saneamento Básico (PLANSAB), instrumento instituído pela política, e destinação de recursos para ações estruturais e estruturantes na área, os esforços não foram suficientes para resolver o problema, nem para chegar perto da desejada universalização.

Os desafios para implementação da política e promoção do saneamento básico à população foram de várias ordens. Principalmente na esfera municipal, onde falta estrutura, vontade política na observância e aplicação da lei, e onde as pressões das concepções do Estado neoliberal se concretizam.

Isso, associado a outros fatores, explica o porque de a realidade do acesso aos serviços públicos de saneamento básico no Brasil ainda não ser animadora e de o déficit estar localizado, principalmente, nos bolsões de pobreza, ou seja, nas favelas/invasões/ocupações espontâneas das periferias das cidades maiores, nas cidades menores e na zona rural (povos do campo, floresta e das águas), o que torna necessário um comprometimento dos governos com as questões estruturais da sociedade e uma agenda

específica construída coletivamente, respeitando a dinâmica dessas localidades e que contemple tecnologias apropriadas à realidade socioeconômica, cultural, ambiental e institucional local, para garantir, de fato, a promoção do direito ao saneamento básico como outros direitos sociais à população local.

Como parte de um projeto de dissertação de mestrado, que se propõe a avaliar a promoção do direito ao saneamento básico em comunidades rurais, com atenção a duas comunidades rurais do município de São Desidério-BA, o presente trabalho tem como objetivo avaliar/descrever sob a ótica da gestão municipal a atenção dada à política pública de saneamento básico para promoção do direito ao saneamento básico à sua população.

## **2 | METODOLOGIA**

A metodologia consistiu numa revisão crítica de bibliografia específica associada a um levantamento de dados secundários do Município no que se refere à política, serviços e ações de saneamento básico. Descreve-se alguns desafios até então identificados a partir da Lei Orgânica Municipal (1990) e do Relatório Final do Plano Municipal de Saneamento Básico de São Desidério (2015).

## **3 | A POLÍTICA PÚBLICA COMO INSTRUMENTO PARA PROMOÇÃO DO DIREITO AO SANEAMENTO**

A compreensão do saneamento básico como um direito humano está embasada no entendimento de que sua garantia é necessária para assegurar as condições mínimas que irão permitir uma existência com dignidade, liberdade e igualdade para qualquer pessoa. Na literatura há uma ampla defesa que estes sejam reconhecidos como direitos sociais, diante de sua essencialidade a vida.

As ações de saneamento básico adequam-se no campo do combate à pobreza e à degradação do ambiente, de modo que a efetividade dos serviços públicos de abastecimento de água e de esgotamento sanitário integra o rol dos direitos fundamentais sociais, como o direito à saúde, o direito à alimentação e nutrição, o direito ao ambiente, incluindo o direito à água, essencial a dignidade humana (SARLET; FENSTERSEIFER, 2011).

Os autores, ao considerar o saneamento básico como um direito e dever fundamental do indivíduo e da coletividade, defendem que os serviços necessários para sua implementação constituem serviço público essencial, portanto dever do Estado. Borja e Moraes (2006, p.09) compartilham da mesma premissa quando consideram “O saneamento básico é uma meta coletiva diante de sua essencialidade à vida humana e à proteção ambiental, o que evidencia o seu caráter público e o dever do Estado na sua promoção, constituindo-se em um direito social integrante de políticas públicas e sociais”.

Por outro lado, as políticas públicas e sociais como “estratégias de hegemonia, fazem parte do processo de expansão de uma classe, de tal forma que seus interesses

econômico-corporativos são suplantados e ela alça tal grau de consciência e organicidade que se capacita a formular um projeto nacional para a globalidade da sociedade” (FLEURY, 1994, *apud* MORAES, 2009, p.34).

Nesse sentido, Höfling (2001) resgata a gênese das políticas sociais, dos conflitos surgidos entre capital e trabalho, no desenvolvimento das primeiras revoluções industriais e o conceito de políticas públicas sociais, que caracterizam-se de responsabilidade do Estado para implementação e manutenção, compreendidas a partir processo de tomada de decisões que envolve órgãos públicos e diferentes organismos e agentes da sociedade e assumem “feições” diferentes em diferentes sociedades e diferentes concepções de Estado, que compreende um determinado projeto político e assume uma determinada teoria social para a sociedade como um todo.

Disso emerge a necessidade de um olhar crítico sobre o Estado Capitalista, que ao passo que reconhece direitos sociais, estes são garantidos numa lógica que não possibilita a transformação das relações de poder, dando continuidade às externalidades do sistema e aumentando suas contradições. Suas ações caracterizam-se apenas como “ações e estratégias sociais governamentais incidindo essencialmente em políticas compensatórias, em programas focalizados, voltados àqueles que, em função de sua “capacidade e escolhas individuais”, não usufruem do progresso social” (HÖFLING, 2001, p.39)

Compreender as políticas públicas sociais, como reflexo das contradições das relações sociais, e que a noção de saneamento como um direito tem sua gênese na Reforma Sanitária brasileira e em um ambiente marcado por intensos movimentos sociais e políticos, possibilita uma postura não ingênua diante dos serviços públicos de saneamento básico, e ressalta a importância da participação e incidência de indivíduos, entidades e movimentos que propõem novos projetos de sociedades, que tenham incorporados princípios como a universalidade, igualdade e solidariedade, respeitando as características e peculiaridades de cada local em que se pretende promover o acesso a qualquer direito social. Este processo de participação só é possível numa gestão participativa dos serviços.

A gestão dos serviços públicos de saneamento básico, segundo Moraes (2000 *apud* MORAES; BORJA; SILVA, 2008), constitui uma atividade analítica e criativa, que abrange a formulação de princípios e diretrizes, planejamento, execução, operação, monitorização, racionalização de gastos, serviços públicos de saneamento, regulação e estruturação de sistemas gerenciais para tomada de decisão, com a participação e controle social em todas as etapas da gestão.

Os sujeitos locais envolvidos na gestão das ações, quando conscientes da sua integração com o todo, conseguem construir soluções adequadas à sua realidade e que garantem a proteção ambiental, além de entendê-las como uma ação necessária para o bem comum. A participação e o controle social constam dos princípios da política pública de saneamento básico e constitui um ponto fundamental para democratizar o processo de decisão e implementação das ações (MORAES; BORJA; SILVA, 2008).

Uma das etapas essenciais para efetividade da gestão dos serviços públicos de saneamento básico é o planejamento. Planejar consiste em partir do estado presente do objeto para definir o estado futuro desejado, sendo o estado presente avaliado a partir de um diagnóstico do objeto a ser planejado, que deve contar com a participação de diferentes sujeitos, como gestores, técnicos, sociedade civil organizada e população em geral (MORAES, 2010). As diretrizes nacionais para o saneamento básico e para a política federal de saneamento básico (Lei n. 11.445/2007) estabelece que o planejamento é uma etapa indelegável e, portanto, deve ser realizada pelo titular dos serviços, ou seja, pelos municípios.

O referido autor considera ainda que para a definição do estado futuro desejado torna-se necessário o estabelecimento de princípios, diretrizes, objetivos, metas, programas e projetos. Desse modo, entram em cena as políticas públicas que quando formuladas coletivamente, sua implementação contribui para equacionar os conflitos de interesse existentes e para solucionar problemas de interesse coletivo. A promoção do direito ao saneamento básico pressupõe, portanto, a construção coletiva de uma política que irá orientar as outras etapas da gestão, no entanto esta não é obrigatória, o que faz com que parte dos municípios não institua suas políticas de saneamento básico, e se preocupem apenas com as prerrogativas da Lei para cumprimento estritamente do que é obrigatório ou mesmo com mobilizações e articulações políticas para prorrogação dos prazos determinados.

#### **4 | OS DESAFIOS DE SÃO DESIDÉRIO-BAHIA PARA PROMOÇÃO DO DIREITO AO SANEAMENTO BÁSICO**

A titularidade dos serviços, atribuída pela Constituição Federal de 1988 e ratificada pela Lei n. 11.445/2007, torna os municípios responsáveis pela gestão dos serviços públicos de saneamento básico. Os municípios de pequeno porte sempre reclamam a ausência de estrutura necessária à implementação dos serviços, atribuindo à incapacidade municipal de arrecadação e à estruturação de suas secretarias. De fato, isso é verificado em muitos municípios brasileiros, contudo, há aqueles que a arrecadação municipal advém de atividades econômicas de larga escala, como a agricultura/agronegócio, destacando-se na macroeconomia, mas que a estrutura básica de serviços públicos está muito aquém do desejável para a qualidade de vida da população, apresentando situações parecidas com os municípios que não arrecadam. Aí se aproximam as características e contradições do município de São Desidério-Bahia.

Localizado no extremo Oeste da Bahia, com uma população estimada em 34.266 habitantes (IBGE, 2020), tendo o Censo de 2010 contabilizado 27.659 habitantes, tem quase 70% da sua população residente no meio rural. De grande extensão territorial, o Município é caracterizado por uma baixíssima densidade demográfica (1,82hab./km<sup>2</sup>), e parte de seu território destinado a produção de grãos e fibras em larga escala, o que o faz

destacado nacionalmente.

Por outro lado, apesar de o PIB *per capita* o colocar na posição dos 2% de municípios mais ricos do Brasil, dados do IBGE (2018) mostram que apenas 17,9% de sua população estava ocupada em trabalho formal e 50% (IBGE, 2010) vive em domicílios com uma renda mensal abaixo de meio salário mínimo, ou seja, em situação de alta vulnerabilidade social. Tais comparações provocam questionamentos aos discursos do “progresso” aos municípios que implementam projetos de grande porte e que sustentam a macroeconomia, expressando as contradições do modelo de desenvolvimento econômico implementado.

No que se refere ao direito ao saneamento básico, considerando a componente de abastecimento de água, apenas 38,20% da população tem acesso a água tratada (SNIS, 2019), que corresponde a população residente na sede municipal mais a residente em dois distritos, 90% da população do meio rural consome água bruta dos rios superficiais e/ou de nascentes que ocorrem em grande volume no Município. Sobre a componente de esgotamento sanitário, não há dados disponíveis no Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento, mas conforme dados do IBGE (2010), apenas 8,4% da população tinha acesso a esgotamento sanitário adequado.

O primeiro desafio na promoção do saneamento básico, é a inexistência de uma política municipal específica que oriente a partir de princípios e diretrizes a prestação dos serviços. Na sua Lei Orgânica, já com fragilidades identificadas de ordem conceitual, o Município assume a responsabilidade de prover os serviços, conforme diretrizes estaduais e da União (SÃO DESIDÉRIO, 1990). Mas não elaborou uma política que especifique os princípios e diretrizes para sua realidade e necessidades locais.

O Plano Municipal de Saneamento Básico foi elaborado em 2015. A elaboração do Plano foi subsidiada pelo Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco, que tem previsto em seu planejamento, apoiar os municípios na elaboração dos seus planos municipais, com recursos advindos da cobrança pelo uso da água do Rio São Francisco. O Relatório Final do Plano Municipal de Saneamento Básico constitui um documento denso, elaborado pela Empresa GERENTEC de São Paulo. Apresenta dados importantes, que mostram o tamanho do desafio que a gestão municipal tem que enfrentar para promover o direito ao saneamento básico à sua população. Por outro lado, o próprio documento apresenta limitações a serem consideradas, como a ausência de referência ao Plano Nacional de Saneamento Básico aprovado em 2013, a presença de informações desatualizadas, como a referência à Superintendência de Recursos Hídricos como órgão responsável pela monitorização e proteção dos mananciais, na Bahia, sendo que esta foi extinta em 2011 e suas atribuições foram incorporadas ao Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos- INEMA.

Percebe-se nitidamente que se prioriza a população urbana, da sede municipal, que representa menos que 30% da população do Município e faz referência tímida às soluções individuais para as áreas rurais, dando ênfase a ampliação dos sistemas convencionais



de abastecimento de água e de esgotamento sanitário, o que configura mais um desafio para promoção do direito ao saneamento básico no Município, já que estes dificilmente atenderão as peculiaridades da população da zona rural.

Segundo o referido documento, uma minoria da população (32,96%) tem acesso à água tratada, o tratamento é realizado pelo sistema operado pela Embasa, nas ETAs da sede de São Desidério e Angico, um povoado. As captações de água sob a responsabilidade da Prefeitura, como no distrito de Sítio Grande e Morrão, são distribuídas para a população na forma água bruta, sem nenhum tratamento e controle. O Município não possui sistema de esgotamento sanitário, sendo os esgotos destinados aos cursos d'água ou fossas, muitas delas construídas e operadas de forma inadequada. A ausência dos serviços, sequer de infraestrutura, sugere uma negação do saneamento básico como um direito social, pois caso houvesse tal reconhecimento, maiores esforços seriam direcionados à promoção dos serviços, mesmo boa parte da população não podendo pagar pelos mesmos.

O próprio documento propõe como ação imediata do Município, a formulação e implementação da política municipal de saneamento básico e estudo de concepção, projeto e implantação de sistemas de abastecimento de água e de esgotamento sanitário para a população rural.

## 5 | CONCLUSÃO

Os desafios para a promoção do direito ao saneamento básico são muitos. O primeiro constitui no reconhecimento deste como um direito social e por isso de responsabilidade do Poder Público. A ausência de uma política municipal, fragiliza o arcabouço legal para implementação dos serviços. Muitos municípios instituíram seus planos, por um decreto e não a partir de uma política pública municipal que considere as peculiaridades locais e que minimamente obrigue gestores a refletir sobre os princípios que orientam e inspiram os planos e, conseqüentemente, os serviços planejados.

São Desidério, apesar de ter aumentado na agenda política a atenção aos serviços públicos de saneamento básico em 2015, deve retomar a agenda e destinar esforços na implementação das ações que constam no plano elaborado que até então não saiu do papel. Uma atenção comprometida da gestão municipal pode ser provocada pela população, que deve reagir à ausência ou precariedade de serviços locais.

A indiferença da população diante da negação do direito aos serviços, e a recorrente prorrogação dos prazos para elaboração dos planos municipais de saneamento básico, torna improvável um comprometimento do poder público municipal para avançar nessa agenda. Para agravar a situação, a aprovação de lei que faz alterações em sete leis, inclusive no marco legal regulatório do saneamento básico a nível nacional (Lei n. 14.026, de 15 de julho de 2020, em plena pandemia da COVID-19), visando induzir a privatização dos serviços, principalmente os de abastecimento de água e de esgotamento sanitário, acarretará aos

municípios de pequeno porte, graves consequências relacionadas a ausência de recursos subsidiários, já que as empresas privadas tem interesse nos municípios maiores e que os serviços geram lucros, ficando à cargo dos municípios/estados assumirem os serviços deficitários.

Torna-se urgente estratégias da população para tensionar e reivindicar o acesso aos serviços públicos de saneamento básico, bem como do Poder Público do Município de São Desidério para promoção da qualidade de vida à seus munícipes. Estes, diretamente atingidos pelas externalidades do sistema econômico vigente, sem garantia aos serviços básicos essenciais num território que gera um dos maiores PIBs do País, retratando a estrutura e poder do capital e suas contradições brutais.

## REFERÊNCIAS

BORJA, Patrícia C.; MORAES, Luiz Roberto Santos. **O acesso às ações e serviços de saneamento básico como um direito social.** In: SIMPÓSIO LUSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, XII., 2006, Figueira da Foz-Portugal. *Anais...* Figueira da Foz: APRH; APESB; ABES, 2006. 1 CD-ROM.

BRASIL. Lei n. 11.445, de 05 de janeiro de 2007. **Diretrizes Nacionais para o Saneamento Básico.** Disponível em: [www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2007/lei/l11445.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/l11445.htm). Acesso em: 17 jan. 2013.

HÖFLING, Eloisa de Mattos. **Estado e políticas (públicas) sociais.** Cadernos Cedes, ano XXI, n. 55, nov. 2001. Disponível em <http://www.scielo.br/pdf/ccedes/v21n55/5539.pdf>. Acesso em: 20 mai. 2005.

IBGE, Diretoria de Pesquisas, Coordenação de População e Indicadores Sociais, **Estimativas da população residente com data de referência 1º de julho de 2020.** Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ba/sao-desiderio/panorama>. Acesso em: Fevereiro de 2021.

MORAES, Luiz Roberto Santos. **Política e Plano Municipal de Saneamento Básico: aportes teóricos e metodológicos.** In CORDEIRO, Berenice S. (Coord.) Instrumentos das políticas e da gestão dos serviços públicos de saneamento básico. Brasília: Midades, 2009. Livro 1. p.31-53. (Lei Nacional de Saneamento Básico: perspectivas para as políticas e a gestão dos serviços públicos; v.1).

MORAES, Luiz Roberto Santos; BORJA, Patrícia Campos; SILVA, Maiara Macedo et al. **Gestão dos Serviços de Saneamento Ambiental dos Municípios do Consórcio Intermunicipal da Costa dos Coqueiros: Limites e Possibilidades – Relatório Final.** Salvador: DEA-UFBA/CICC/Fundação OndAzul, 2008.

SARLET, Ingo Wolfgang; FENSTERSEIFER, Tiago. **Direito constitucional ambiental: estudos sobre a constituição, os direitos fundamentais e as proteção do ambiente.** São Paulo: Revista dos Tribunais, 2011.

# CAPÍTULO 12

## DEGRADAÇÃO DE FACHADAS COM REVESTIMENTO CÉRÂMICO EM BRASÍLIA: ESTUDO DE CASO

*Data de aceite: 03/05/2021*

*Data de submissão: 30/01/2021*

### **Lukas Augusto Moreira**

Engenharia Civil, Centro Universitário de Brasília  
Brasília, Distrito Federal  
<https://orcid.org/0000-0002-3329-0257>

### **Nathaly Sarasty Narváez**

Faculdade de Engenharia Civil, FATECS,  
Centro Universitário UniCEUB  
Brasília, Distrito Federal  
<https://orcid.org/0000-0002-6846-9257>

### **Vanessa Nupán Narváez**

Engenharia Civil, Faculdade de Minas,  
Universidade Nacional da Colômbia  
Medellín, Antioquia  
<https://orcid.org/0000-0003-0874-3952>

**RESUMO:** O revestimento cerâmico tem como função proteger as fachadas dos agentes externos, além de melhorar o conforto térmico e acústico, prolongar a vida útil da fachada e valorizar a arquitetura da edificação. No entanto, as manifestações patológicas que acontecem em fachadas de revestimento cerâmico fazem com que as edificações não apresentem o desempenho mínimo para o qual foram projetadas expondo a alvenaria e a estrutura do edifício a outros tipos de danos mais graves. Em Brasília, DF, em particular, os edifícios com revestimentos cerâmicos sofrem muitos danos devido à grande variação térmica. Isto somado

a falta de manutenção diminui a vida útil da fachada. O Fator Geral de Dano (FGD) é um modelo de cálculo que avalia as patologias por valores diferentes, enfatizando a importância de cada patologia presente na fachada. Neste trabalho, o FGD e uma curva padrão de vida útil criada pela Universidade de Brasília foram empregados para avaliar a degradação das fachadas de um edifício com grandes níveis de manifestações patológicas. Conclui-se que a vida útil do edifício está dentro do previsto.

**PALAVRAS-CHAVE:** Degradação, Fachada, Revestimento Cerâmico.

### DEGRADATION OF FACADES WITH CERAMIC COATING SYSTEM IN BRASÍLIA: A CASE STUDY

**ABSTRACT:** The ceramic coating system's function is to protect the facades from external agents, in addition to improving thermal and acoustic comfort, prolonging the lifespan of the façade, and enhancing the architecture of the building. However, the pathological manifestations that occur in the ceramic coating system make that the buildings do not present the minimum performance for which they were designed, exposing the masonry and the building's structure to other more severe types of damage. In Brasilia, DF, particularly buildings with ceramic coating systems, suffers much damage due to the wide thermal variation. This, in addition to the lack of maintenance, reduces the service life of the facade. The General Damage Factor (FGD) is a calculation model that evaluates pathologies by different values, emphasizing the importance of each pathology present on the facade. In

this work, the FGD and a standard service life curve created by the University of Brasilia were used to evaluate the degradation of a building's facade with high levels of pathological manifestations. It is concluded that the service life of the building is within the expected.

**KEYWORDS:** Degradation, Facade, Ceramic Coating.

## 1 | INTRODUÇÃO

Existe um grande nível de manifestações patológicas em edifícios de Brasília - DF. Nas fachadas, essas manifestações surgem pelo grande nível de variação térmica na região. Inspeccionando os prédios da cidade é perceptível a grande quantidade de edifícios com revestimento cerâmico, em sua maioria com patologias. Com a perda do revestimento cerâmico, a alvenaria e a estrutura do edifício, ficam cada vez mais expostas a outros tipos de danos mais graves.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT NBR 15.575/2013, conhecida como norma de desempenho, define cada tipo de patologia e conceitos de vida útil (VU), vida útil de projeto (VUP), desempenho, manutenção e durabilidade. As manifestações patológicas como fissuras, descolamento, deslocamento, eflorescência, falha no rejunte e falha nas juntas são bem comuns nas vedações verticais. Por falta de manutenção, as fachadas apresentam manifestações patológicas, portanto, diminui sua vida útil. O Fator Geral de Dano (FGD) é um modelo de cálculo que avalia as patologias por valores diferentes, enfatizando a importância de cada patologia presente na fachada. Usando o FGD é possível comparar uma edificação com a curva de vida útil da fachada.

Diversos pesquisadores como Brito (2011), Taguchi (2010) e Gaspar (2008) publicaram seus trabalhos a respeito das fachadas, analisando as suas patologias, e também sobre as manutenções necessárias para que tenham uma Vida Útil (VU) maior. Silva (2014) desenvolveu em sua pesquisa métodos para definir a vida útil de um edifício com revestimento cerâmico em Brasília. Nesse trabalho uma curva de vida útil foi elaborada com a coleta de dados de 90 amostras de fachada com revestimento cerâmico na cidade.

Neste trabalho foi analisado um edifício com grandes níveis de manifestações patológicas, o qual teve interdita uma fachada pela Agência de Fiscalização do Distrito Federal (AGEFIS). A quantificação dos danos e o estudo da degradação das fachadas foi executado baseando-se em um estudo de campo que inclui mapeamentos na fachada, de modo a aplicar um modelo de vida útil desenvolvido para ser aplicado no Distrito Federal. Para determinar essa vida útil, foi elaborado um estudo que permite avaliar se a fachada apresenta uma degradação aceitável ou uma degradação não aceitável.

## 2 | CONDIÇÕES CLIMÁTICAS DA REGIÃO DE ESTUDO – DISTRITO FEDERAL - DF

O Distrito Federal tem uma grande variação térmica, segundo o Instituto Nacional

de Meteorologia INMET (2015), a temperatura média é de 12,9°C nas madrugadas de julho e de 31,3°C nas tardes de setembro. O clima que se encontra nessa região é totalmente tropical, por isso Brasília possui duas estações que se destacam: quente e seca nos meses de maio a setembro e quente-úmida nos meses de outubro a abril.

A norma de desempenho térmico (ABNT, 2005) determina 8 áreas climáticas, chamadas de zoneamento bioclimático brasileiro (Figura 1). Esse zoneamento permite organizar e agrupar climas semelhantes estabelecendo diferentes características de construção em função do ambiente. O estudo de caso se localiza no zoneamento bioclimático 4 (Figura 2) que abrange apenas 2% do Brasil. Nessa zona se encontra na totalidade o Distrito Federal, parte do Goiás, parte de Minas Gerais e São Paulo.

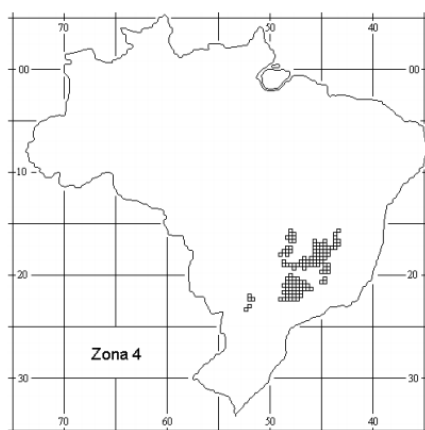


Figura 1: Mapa zoneamento biológico brasileiro  
Fonte: ABNT NBR 15220-3 (2005)

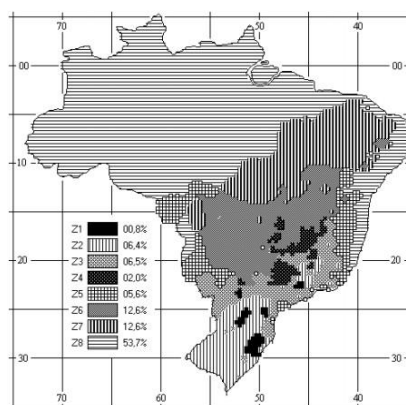


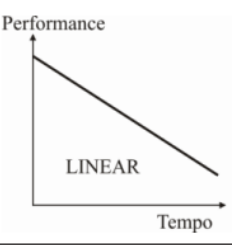
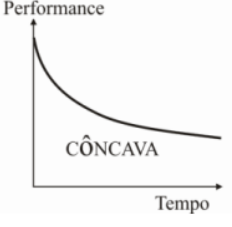
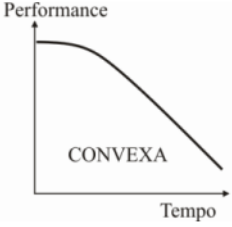
Figura 2: Mapa com destaque a zona 4 onde se enquadra a cidade de Brasília- DF  
Fonte: ABNT NBR 15220-3 (2005)

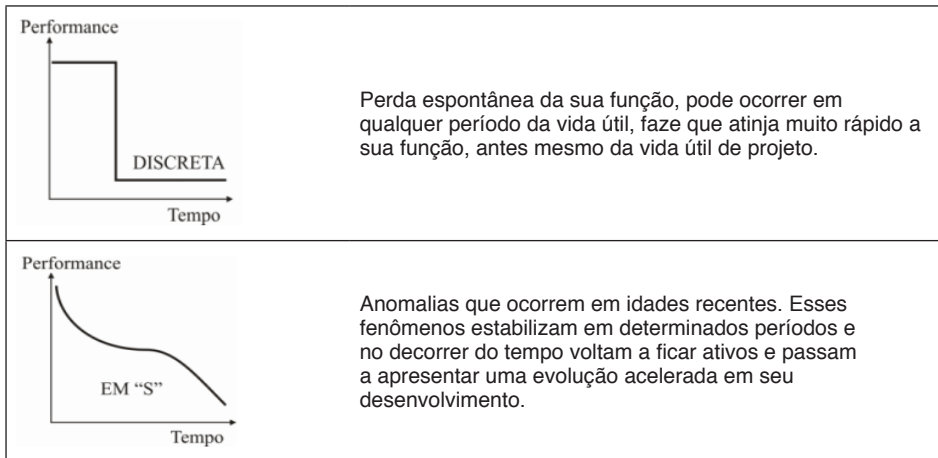
### 3 | MODELO PROPOSTO POR GASPAR E BRITO (2008) E GASPAR E BRITO (2010)

O trabalho realizado por Gaspar e Brito (2008) apresenta uma metodologia que quantifica o nível de degradação das fachadas rebocadas. Os resultados desses estudos, foram de grande relevância, pois com ela obtiveram padrões de degradação através de curva de degradação e permitiram desenvolver recentes pesquisas com revestimentos de cerâmica e pedra (SILVA, 2014).

#### 3.1 Curvas de degradação

O modelo determinado por Gaspar e Brito (2008) sugere que cada patologia tem um padrão de degradação através das curvas de degradação. Diferentes curvas representam diferentes formas de degradação da fachada (Quadro 1).

Curvas	Descrição
	Constante perda da capacidade funcional ao longo do tempo. Associada às ações de agentes atmosféricos permanentes (radiação solar ou ventos).
	Degradação acelerada inicialmente e ao longo de tempo se torna menos acelerada (manchas e a eflorescência).
	Degradação lenta inicialmente e esse processo de degradação acelera ao longo do tempo, é considerada a melhor configuração para representação dos fenômenos de degradação.



Quadro 1: Tipos de curva de degradação

Fonte: Gaspar e Brito (2008)

### 3.2 Nível Geral de Degradação de Fachada (NGD)

Gaspar e Brito (2008) utilizaram um levantamento realizado por Silvestre (2005) das fachadas de Portugal. O banco de dados conta com as informações de cem prédios da capital de Portugal, Lisboa. Seus estudos de caso foram baseados nos seguintes critérios:

- Edifícios com fachada rebocada.
- Não há registros conhecidos de deterioração como resultado de ações acidentais.
- Com registro de ações de manutenção efetuada anteriormente ou a idade da construção.

A última condição é indispensável. A seguinte equação mostra o cálculo de NGD:

$$NDG = \sum [(A_n \times K_{a,n} \times K_n) / (A_r \times K)] \quad (1)$$

Onde:

**NDG** = Nível geral de Degradação (%)

**$A_n$**  = Área de uma fachada afetada por n defeitos (m<sup>2</sup>)

**$K_n$**  = Nível de condição para cada tipo de patologia

**$K_{a,n}$**  = Equivalência ao custo do reparo

**$A_r$**  = Superfície da fachada exposta (m<sup>2</sup>)

**K** = Constante (K = 4)

Gaspar e Brito (2011), apresentam uma nova curva de degradação média para valores determinados do NGD ao longo do tempo (Figura 3). Uma vez que diferentes níveis de referências mínimos de desempenho são estabelecidos, os diagramas de dispersão podem fornecer uma metodologia simples para estimar a vida útil e posteriormente a incorporação dos resultados em metodologias que utilizam o método fatorial (Silva, 2014)

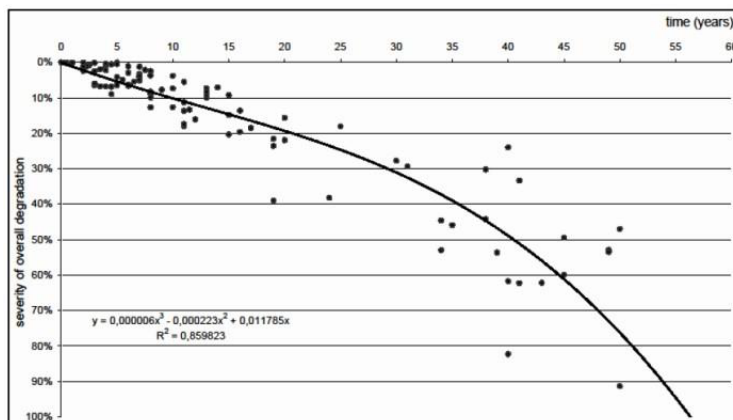


Figura 3: Nível Geral de Degradação ao longo do tempo

Fonte: Gaspar e Brito (2011)

## 4 | METODOLOGIA

Foi realizado um estudo de campo em um edifício em Brasília com manifestações patológicas na fachada incluindo uma coleta de dados por meio de investigação documental, investigação de campo e mapeamento. Após a coleta, os dados foram analisados, todos os cálculos necessários foram feitos, inclusive o cálculo do Fator de Danos (FD) e o Fator Geral de Danos (FGD). Após os cálculos realizados, foi possível determinar a curva de vida útil. A metodologia segue o indicado por Silva (2014).

### 4.1 Estudo de Caso

O edifício analisado (Figura 4) apresenta níveis críticos de degradação da fachada. Mediante a solicitação pela Agência de Fiscalização do Distrito Federal, AGEFIS, interditou-se a área frontal (prumada nascente) da fachada, por causa do deslocamento do revestimento cerâmico, garantindo a segurança dos pedestres que ali passam.





Figura 4: Condomínio SQS 102 Bloco H e SQS 102 Bloco I.

Fonte: Google Maps

## 4.2 Levantamento de Dados

### 4.2.1 *Investigação documental*

O edifício escolhido para análise está localizado em Brasília-DF no endereço SQS 102 Bloco H e Bloco I. As coordenadas geográficas são 15°48'29" e 47°53'20" com altitude 1160m. Essa edificação é composta por blocos, 6 pavimentos tipos, 1 pilotis com 6 entradas totalizando 72 apartamentos e um subsolo. A área de fachada com o revestimento cerâmico corresponde um total de 1869 m<sup>2</sup>.

### 4.2.2 *Investigação de campo*

Para a inspeção de campo foi utilizado:

- a. Binóculos
- b. Câmera fotográfica
- c. Câmera especial (termográfica)

Para melhor análise dados obtidos serão divididos em:

- a. Orientação
- b. Prumada
- c. Empena

Com a inspeção visual foi encontrado alguns danos causados pelos moradores,

tanto no revestimento cerâmico (Figura 5) quanto nas juntas de dilatação (Figura 6), para fazer o uso do ar condicionado e redes de proteção.

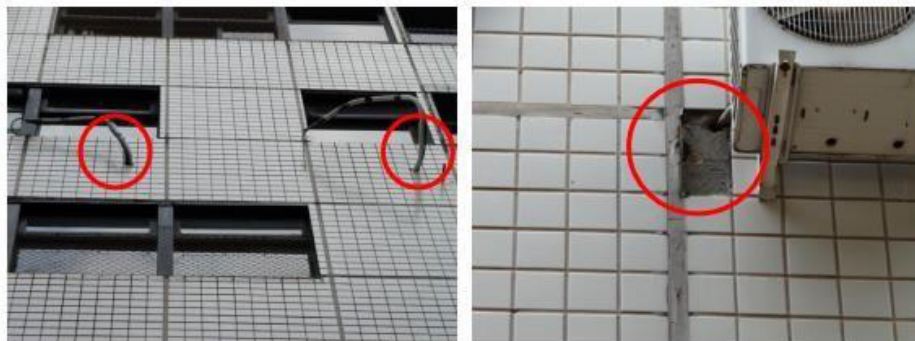


Figura 5: Retirada de cerâmica para o uso de ar condicionados

Fonte: Dos autores

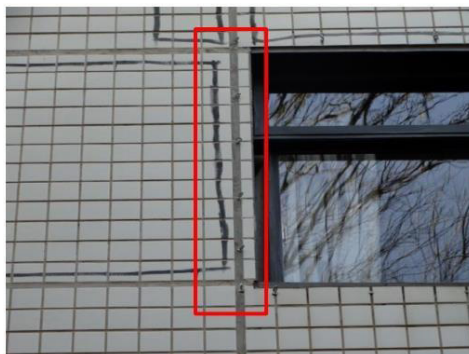


Figura 6: Danificação da junta de dilatação para o uso de rede de proteção.

Fonte: Dos autores

Os danos encontrados na fachada desse edifício não foram só por causa do mau uso dos moradores. Também foi encontrado um grande nível crítico de deslocamento (Figura 7).



Figura 7: Deslocamento Encontrado no Edifício Analisado

Fonte: Dos autores

Com a utilização de uma câmera de infravermelho foi possível detectar onde o revestimento cerâmico teve a perda de aderência (Figura 8). Com a diferença térmica, a imagem indica claramente a região danificada representada pela cor mais escura como o roxo e o preto.

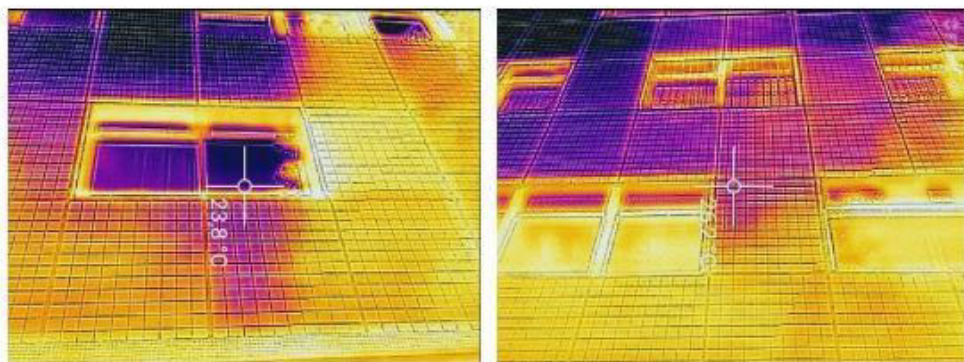


Figura 8: Utilização de Câmera de Infravermelho

Fonte: Dos autores

### 4.3 Ensaio de Percussão

A técnica de percussão tem como objetivo uma rápida verificação das condições de aderência do revestimento. Utilizando um martelo metálico, por meio de impactos leves no revestimento cerâmico, se identifica o som -cavo e oco- o que indica a falta de aderência entre o revestimento de argamassa e a peça cerâmica.

A Figura 9 mostra o ensaio de percussão sendo realizado no edifício. Na imagem

aparece a equipe fazendo as marcações através da verificação do som, áreas que apresentam som cavo, outras apresentam o som oco.



Figura 9: Ensaio de Percussão

Fonte: Dos autores

Com a técnica de percussão foram realizadas as demarcações com tinta, identificando as áreas comprometidas (Figura 10).



Figura 10: Identificação das áreas comprometidas

Fonte: Dos autores

#### 4.4 Ensaio de Resistência a Tração

De acordo com a norma NBR 13528 (ABNT, 2010) que fala sobre Revestimento de parede e tetos de argamassas inorgânica e Determinação da resistência de aderência à tração, foram retirados um total de 6 corpos-de-prova com medidas de 100mm x 100mm,

distribuídos de forma aleatória e espaçados entre si (Figura 11).



Figura 11: Ensaio de Aderência

Fonte: Dos autores

#### 4.5 Mapeamento de Danos

O mapeamento dos danos patológicos tanto nas empenas como nas prumadas é feito com a inspeção visual. O mapeamento serve para atender o processo metodológico, por isso, é importante ressaltar a orientação da fachada, pois o lado poente tende a ter maiores danos patológicos do que a nascente.

A pruma é dividida em partes iguais para facilitar o cálculo da área danificada. Esta técnica foi desenvolvida por Gaspar e Brito (2008) com o objetivo de otimizar os cálculos. Após a divisão da fachada com revestimento cerâmico afetada foi utilizado o método de sobreposição de malhas (Figura 12). Esse método serve para facilitar e agilizar o processo de quantificação de danos na fachada. Com o desenho da fachada são colocadas malhas (com dimensão pré-definida) sobre ela, e assim, quantificando o dano causado. Não pode usar uma malha com a área muito grande, pois com a área maior condenará áreas da fachada que não apresenta patologias e se colocar uma área muito pequena o cálculo será mais minucioso, mas desnecessário. Testes de malhas foram feitos com 1,50m x 1,50m; 1,00 m x 1,00 m e de 0,20 m x 0,20 m. A malha empregada foi de 0,50m x 0,50m, dando uma área de 0,25 m<sup>2</sup>, pois a diferença de erro é pequena foi utilizada uma legenda de cores (Figura 12) para cada tipo de patologia.

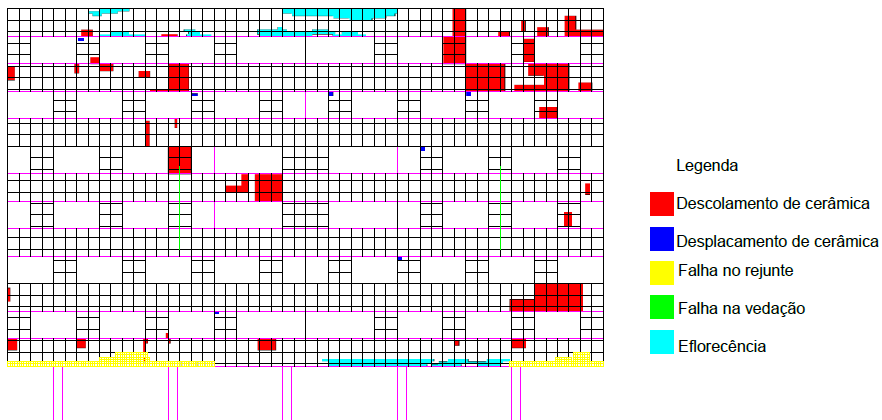


Figura 12: Sobreposição de Malhas e Legenda de Cores

Fonte: Dos autores

## 4.6 Tratamento dos Dados

### 4.6.1 Cálculo da área total e o Cálculo da área danificada

Para calcular a área da fachada foi feito o cálculo da área geral, de cada uma das faces da fachada e depois foi retirada a área das esquadilhas que tinham na fachada. As empenas da fachada são cegas, ou seja, não possui esquadilhas. A área total da fachada com o revestimento é de 1869 m<sup>2</sup>, sendo 36 m<sup>2</sup> tanto para empena norte quanto para empena sul e 912 m<sup>2</sup> de fachadas da prumada do lado nascente e do poente.

### 4.6.2 Cálculo do Fator de Dano

O Fator de Dano (FD) serve para dar a primeira ideia, noção, da danificação da fachada. É a razão da área danificada pela área total das fachadas (empenas e prumadas) e o resultado é dado em porcentagem. Com isso conclui que a maior Fator de Dano maior será o estágio de degradação.

$$FD = \frac{A_d}{A} \times 100 \quad (3)$$

Onde:

**FD** = Fator de Dano (%)

**A<sub>d</sub>** = Área de manifestação patológica (m<sup>2</sup>)

**A** = Área total da fachada com revestimento cerâmico (m<sup>2</sup>)

### 4.6.3 Cálculo do Fator Geral de Dano

O modelo Fator Geral de Dano (FGD) retirado da tese Silva (2014), consiste em calcular a degradação da fachada com revestimento cerâmico ponderando pesos para cada tipo diferente de patologia. Os pesos para calcular o FGD são o custo relativo do reparo e a gravidade que a patologia apresenta. Com esses dois parâmetros é possível estabelecer um grau de dano das fachadas com revestimento cerâmico e assim encontrar a velocidade com que ocorre o processo de degradação. Esses resultados podem ser obtidos pela inflexão das curvas de degradação.

O FGD é um somatório de todas as anomalias presentes na fachada de revestimento cerâmico:

$$FDG = \sum \frac{A_n \times K_n \times K_{c,n}}{A \times K} \quad (4)$$

Onde:

**FDG** = Fator de Dano Geral (%)

**A<sub>n</sub>** = Área da fachada afetada pela patologia (m<sup>2</sup>)

**K<sub>n</sub>** = Nível de condição para cada tipo de patologia

**K<sub>c,n</sub>** = Custo relativo de reparo das anomalias (R\$/m<sup>2</sup>)

**K** = Constante (K=4)

**K** = Área de amostra de fachada

O **K<sub>n</sub>** foi determinado por Sousa (2008) e adaptado por Silva (2014) para o estudo em Brasília. Esse coeficiente serve para determinar o ponderar o peso para diferentes patologias como mostra a Tabela 5. **K** é variável de 0,00 a 4,00, sendo:

0 = sem danos visíveis

1 = dano de nível inicial

2 = dano de nível em propagação

3 = dano de nível alto

4 = dano de nível crítico

Nível de condição (K)	Tipo de dano	Nível de ponderação da extensão do dano ( $K_p$ )	Custo de reparo (R\$/m <sup>2</sup> )	Fator relativo de custo de reparo ( $K_{c,n}$ )
Nível 0- Melhor condição	Degradação não detectável visualmente	-	-	-
Nível 1- Boa condição	-	-	-	-
Nível 2- Degradação suave	Falha de rejunte	0,20	8,40	0,06
	Eflorescência		16,00	0,12
	Falha de vedação		10,90	0,08
Nível 3- Degradação elevada	-	-	--	-
Nível 4- Degradação grave (extrema)	Fissuras	4,00	136,70	1,00
	Descolamento cerâmico		113,00	0,82

Tabela 5: Gravidade de cada patologia

Fonte: Silva, (2014)

Para o presente estudo a prumada nascente está condenada por causa do nível crítico de deslocamento, por isso a constante assume o valor  $K=4,00$ .

Para determinar o Fator Relativo de Custo ( $K_{c,n}$ ) é preciso fazer um composição de custos de todas as anomalia por m<sup>2</sup> para determinar o custo de reparo (R\$/m<sup>2</sup>), ou seja, saber o preço do m<sup>2</sup> para poder curar doença da fachada. Esta variável é achada pela proporção do custo mais elevado entre todas as patologias.

Por tanto o valor mais alto do  $K_{c,n} = 1,00$  e os demais  $K_{c,n}$  serão proporcionais. Para um melhor esclarecimento do uso dos pesos de cada anomalia para o cálculo do FGD, a Tabela 6 será apresenta para esse estudo de caso.



Tipo de dano	$A_n$ (m <sup>2</sup> )	$A$ (m <sup>2</sup> )	$FD$ (%)	$K_n$	$K$	Preço Uni (R\$/m <sup>2</sup> )	$K_{c,n}$
Descolamento cerâmico	752,53	1843,2	40,83	4	4	123,21	1
Falha de Rejunte	145,24		7,88	0,2		10,58	0,09
Fissuras	-		0,00	4		-	-
Eflorescência	31,2		1,69	0,2		17,42	0,14
Falha de Vedação	8,21		0,45	0,2		14,22	0,12

Tabela 6: Gravidade de cada patologia

Fonte: Dos autores

A seguinte equação apresenta o Cálculo do Total do Fator Geral de Dano, na presente amostra não tem presença de fissura na fachada:

$$\begin{aligned}
 & FDG_{TOTAL} \quad (5) \\
 & = \frac{(752,53 \times 4 \times 1 + 145,24 \times 4 \times 0,09 + 31,2 \times 4 \times 0,14 + 8,21 \times 4 \times 0,12)}{1843,2 \times 4} \\
 & \times 100
 \end{aligned}$$

$$FDG_{TOTAL} = 41,79 \%$$

## 5 | RESULTADOS

Na pesquisa da Maria Nazaré da Silva (2014) que a curva para o cálculo do Fator de Dano tem a tendência que pode ser representada pela Figura 13 quando maior o Fator de Dano menor a ocorrência.

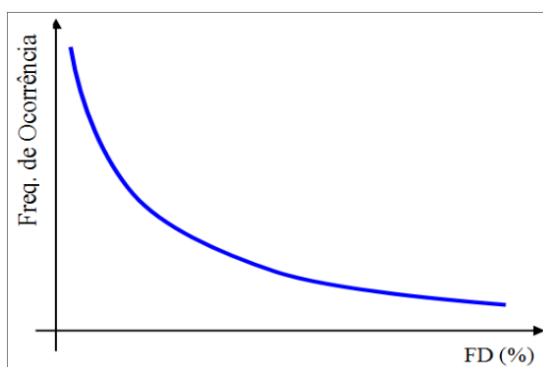


Figura 13: Tendência do comportamento do Fator de Dano

Fonte: Silva (2014)

Com a idade do edifício condomínio bloco H e bloco I é de aproximadamente de 45 anos, foi de extrema relevância o cálculo do FD individualmente (Tabela 6), para poder saber qual a patologia que mais danifica a fachada. Para entender melhor a Figura 14, foi feita a seguinte legenda:

- a. Fator de Dano de descolamento de cerâmica: FD-DC
- b. Fator de Dano de falha de rejunte: FD-FR
- c. Fator de Dano de fissuras: FD-FI
- d. Fator de Dano de eflorescência: FD-EF
- e. Fator de Dano de falha de vedação: FD-FV
- f. Fator de Dano total: FD-TOTAL

Com esse gráfico, é possível ver que a patologia que mais se manifesta é a de deslocamento da cerâmica na fachada. O deslocamento é correspondente por 80,34 % do Fator de Dano Total.

A desvantagem do cálculo do Fator de Dano (FD) é que não pondera o grau de gravidade para cada tipo de patologia. Com a ponderação o resultado poderia ser melhor qualificado.

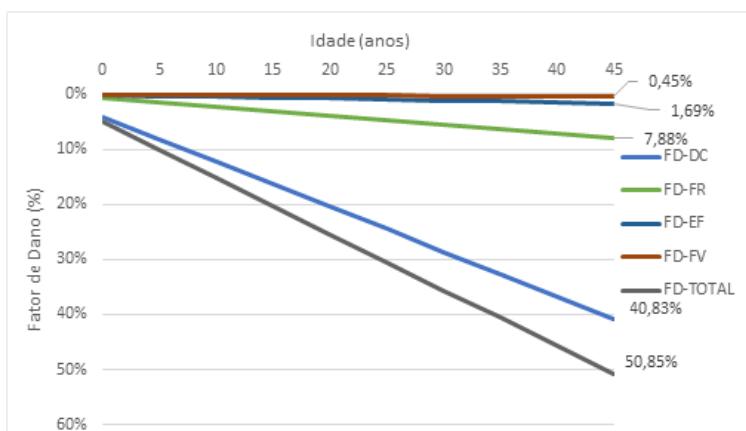


Figura 14: Patologias e Graus de Manifestação

Fonte: Dos autores

Nos estudos de Silva (2014) com 90 amostras de fachada se encontrou um padrão de curva média para definir a idade de fachada com revestimento cerâmico em Brasília-DF. Assim, Silva (2014) estabeleceu uma equação para determinar a vida útil mínima de fachada com revestimento cerâmico. Essa equação é limitada pela Norma NBR 15575 (ABNT, 2013<sup>a</sup>). (Equação 6)

$$FGD - TOTAL = 0,00003910^2 \times ID + 0,01051050 \times ID \quad (6)$$

Onde:

**FDG - TOTAL** = Fator de Dano Geral (%)

**ID** = Idade da amostra da fachada (anos)

O resultado dessa equação é apresentado na Figura 15:

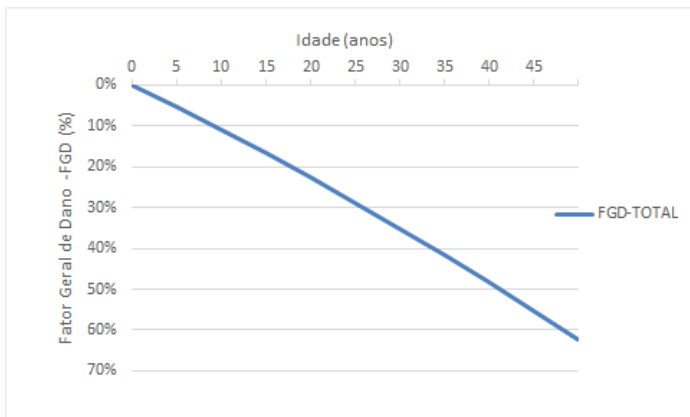


Figura 15: Fator Geral de Dano

Fonte: Silva (2014)

Com o FDG = 41,79 % que foi calculado, pode-se observar que o dano está próximo à curva prevista por Silva (2014), dando uma diferença aproximada de 5 anos (Figura 16).

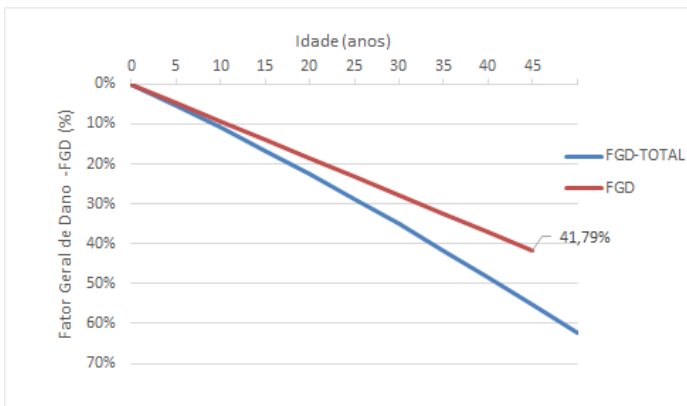


Figura 16: FGD Total x FGD

Fonte: Dos autores

## 6 | CONCLUSÃO

Manifestações patológicas encontradas na edificação que serve de base de estudo tais como a eflorescência, falha no rejunte e o agrietamento, não são de grande nível de degradação, mas podem ser o início para a presença de patologias que apresentam um nível de crítico com a descolamento e o deslocamento.

O cálculo do Fator de Dano (FD) generaliza os danos, dando a mesma importância para todas as patologias, e por ele apresenta uma faixa de erro quanto a preocupação. Com o cálculo do FD separadamente, conclui-se que o deslocamento cerâmico foi o de maior evidência, correspondente a 80,34% do Fator de Dano Total. O cálculo do Fator Geral de Dano (FGD) deu um resultado mais preciso em relação a degradação da fachada, pois pondera cada tipo de patologia. A margem de erro entre o Fator de Dano e o Fator de Dano Geral foi de 1,22 vezes.

Com o resultado do Fator Geral de Dano (FGD = 41,79%) e em comparação a curva estabelecida por Silva (2014) pode se dizer que o edifício apresenta uma curvatura melhor que a prevista para a região do Distrito Federal. O condomínio SQS 102 Bloco H e bloco I apresentou manifestações patológicas generalizadas, mas apenas na prumada nascente que foi possível observar o deslocamento. A manutenção periódica das fachadas poderia evitar o estado grave dos danos. Um seguimento às recomendações oferecidas pela norma de desempenho é necessário para a manutenção preventiva nos próximos anos.

## REFERÊNCIAS

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 13528. Revestimentos de Parades de Argamassas Inorgânicas – Determinação da resistência de aderência à Tração. 2010.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 15220-3: Desempenho térmico de edificações. Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social, 2005.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 15575-1: Edifícios habitacionais – Desempenho – Parte 1: requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013a.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 15575-3: Edifícios habitacionais – Desempenho – Parte 4: Sistemas de vedações verticais externas e internas. Rio de Janeiro, 2013b.

BORDALO, R.; BRITO, J. P.; GASPAR, L.; SILVA, A. Abordagem a um modelo de previsão da vida útil de revestimentos cerâmicos aderentes. Teoria e Prática na Engenharia Civil. Portugal, 2010, n.16, pp. 55-69.

GASPAR, P. L.; BRITO, J. The perception of damage on rendered façades. XII DBMC International Conference on Durability of Building Materials and Components. Porto, Portugal. 2011.

GASPAR, P. L.; BRITO, J. Limit states and service life of cement renders on facades, *Journal of Materials in Civil Engineering*, v. 23, n. 10, 2011, pp. 1396-1404.

GASPAR, P.; BRITO, J. Quantifying environmental effects on cement-rendered facades: a comparison between different degradation indicators. *Building and Environment*, v. 43, n. 11, 2008.

GASPAR, P. L.; BRITO, J. Durabilidade, estados limites e vida útil de rebocos em fachadas. APFAC, 2010.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. Disponível em <<http://www.inmet.gov.br/html/clima.php#>>. Acesso em: 16 de novembro de 2015.

SILVA, Maria de Nazaré Batista da. AVALIAÇÃO QUANTITATIVA DA DEGRADAÇÃO E VIDA ÚTIL DE REVESTIMENTOS DE FACHADA – APLICAÇÃO AO CASO DE BRASÍLIA/DF. Tese de Doutorado, Universidade de Brasília UNB. BRASÍLIA – DF. 2014.

SILVESTRE, J. Sistema de Apoio à Inspeção e Diagnóstico de Anomalias em Revestimentos Cerâmicos Aderentes. Dissertação de Mestrado, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, Portugal, 2005.

SOUSA, R. D. B. Previsão da vida útil dos revestimentos cerâmicos aderentes em fachadas. Dissertação de Mestrado, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Portugal, 2008.

TAGUCHI, M. K. Avaliação e qualificação das patologias das alvenarias de vedação nas edificações. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2010.

## EFEITO DE VARIÁVEIS-CHAVE DA MISTURA SOLO-CIMENTO NA DOSAGEM FÍSICO-QUÍMICA E COMPORTAMENTO MECÂNICO PARA BASE DE PAVIMENTOS

*Data de aceite: 03/05/2021*

*Data de submissão: 01/02/2021*

### **José Wilson dos Santos Ferreira**

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental,  
Universidade de Brasília – UnB  
Brasília – Distrito Federal  
<https://orcid.org/0000-0002-9675-9884>

### **Diego Manchini Milani**

Departamento de Construção Civil,  
Universidade Estadual de Londrina – UEL  
Londrina – Paraná  
<http://lattes.cnpq.br/3139263671542084>

### **Michéle Dal Toé Casagrande**

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental,  
Universidade de Brasília – UnB  
Brasília – Distrito Federal  
<https://orcid.org/0000-0002-4740-0891>

### **Raquel Souza Teixeira**

Departamento de Construção Civil,  
Universidade Estadual de Londrina – UEL  
Londrina – Paraná  
<https://orcid.org/0000-0002-8082-5808>

**RESUMO:** O processo tradicional de dosagem de misturas solo-cimento requer a moldagem de inúmeros corpos de prova, demandando elevada quantidade de material natural. Assim, o presente estudo visa avaliar o efeito do tipo e teor de cimento, tipo de solo e composição da mistura na previsão do teor de cimento obtido pela metodologia de dosagem físico-química

na etapa preliminar de seleção dos materiais e comparar com o comportamento mecânico das misturas, para emprego em base de pavimento. Utilizando os cimentos CP II e CP V, solos argilo-siltoso, areno-argiloso, areno-siltoso, além de resíduo da construção civil, foram realizados ensaios de dosagem físico-química, compactação e resistência à compressão simples (RCS). A metodologia demonstrou que o solo predominantemente argiloso requer maior teor de cimento, em comparação aos solos arenosos. A mesma tendência foi observada para o aumento da fração de RCC na mistura. A repetição do ensaio de dosagem com ajuste no procedimento experimental resultou em resposta mais realística entre a etapa preliminar e o comportamento mecânico.

**PALAVRAS-CHAVE:** Solo-cimento. Dosagem físico-química. Resistência à Compressão Simples. Resíduo de Construção Civil.

### SOIL-CEMENT MIXTURE KEY VARIABLES EFFECT ON PHYSICAL-CHEMICAL DOSING AND MECHANICAL BEHAVIOR FOR PAVEMENT BASE

**ABSTRACT:** The traditional process of dosing soil-cement mixtures requires the molding of numerous specimens, requiring a high amount of natural material. Thus, the present study aims to evaluate the effect of the type and content of cement, type of soil and composition of the mixture in the forecast of the cement content obtained by the physical-chemical dosing methodology in the preliminary stage of materials selection and to compare with the mechanical behavior of mixtures, for use in pavement base.

Using Type I and Type III Portland cements, silty clay, clay sand, silty sand soils, in addition to civil construction waste, physical-chemical dosing, compaction and unconfined compression strength (UCS) tests were performed. The methodology demonstrated that a predominantly clayey soil requires a higher cement content, compared to sandy soils. Increasing the residue fraction resulted in the same trend. Repeating the test with adjustment in the experimental procedure promoted a more realistic response among the preliminary step and mechanical behavior.

**KEYWORDS:** Soil-cement. Physical-chemical dosing. Unconfined Compression Strength. Civil Construction Waste.

## 1 | INTRODUÇÃO

Alterar as propriedades do solo local por meio de técnicas de estabilização se apresenta como solução técnica e socioambiental, minimizando os efeitos de perturbação ambiental, redução do custo com transportes e diminuição das emissões de gases poluentes. Empregada no Brasil desde 1939, a técnica de estabilização química com adição de cimento, se dosada adequadamente, promove melhorias no comportamento mecânico do solo, representado por ganhos de resistência, estabilidade volumétrica, diminuição de permeabilidade e compressibilidade, com consequente aumento da durabilidade (Consoli *et al.*, 2007; Cancian *et al.*, 2017; Ferreira, 2019).

Ainda assim, o estudo de misturas solo-cimento para aplicação em camada de pavimento ocorre mediante a moldagem de inúmeros corpos de prova tanto na etapa de dosagem e construção das curvas de compactação quanto nas investigações laboratoriais de comportamento mecânico, demandando elevado volume de material natural (Khan *et al.*, 2006; Kutanaei; Choobbasti, 207; Mandal *et al.*, 2018).

Para auxiliar na seleção preliminar de materiais e simplificar o procedimento de dosagem de cimento, adveio o atual método de dosagem físico-químico proposto pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – DNIT (2019), baseado na hidratação do cimento e interação elétrica entre o agente e as partículas de argila, ocasionando mudanças físico-químicas rápidas no sistema e variações volumétricas (Oliveira; Motta, 2013; Almeida, 2016). Assim, o presente estudo visa avaliar o efeito das variáveis-chave tipo e teor de cimento, tipo de solo e composição da mistura na metodologia de dosagem físico-química e comparar sua previsão de teor de cimento inicial para seleção com a resistência à compressão simples das misturas, além de propor ajuste experimental, de maneira a explorar a metodologia para diferentes condições experimentais e averiguar suas potencialidades e limitações.

## 2 | MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Materiais

O agregado reciclado utilizado na presente pesquisa foi adquirido em empresa especializada, localizada em Londrina/Paraná, com granulometria inferior a 4,8 mm, proveniente de elementos de concreto, argamassas e afins. Já os solos foram coletados em três localidades distintas do estado do Paraná, região Sul do Brasil. A escolha de coleta de material em Londrina, Tuneiras do Oeste e Mandaguaçu teve como finalidade analisar solos originários de diferentes substratos rochosos.

Na Figura 1 está retratado a granulometria dos três solos (Figura 1a) e mistura solo-RCC (Figura 1b). Observa-se que o solo de Londrina foi o único a apresentar argila como principal fração granulométrica, sendo classificado como argilo-siltoso (ARG). Os solos de Tuneiras do Oeste e Mandaguaçu apresentam elevado percentual de areia, embora difiram nas frações de argila e silte, resultando nas classificações areno-argiloso (ARE1) e areno-siltoso (ARE2), respectivamente.

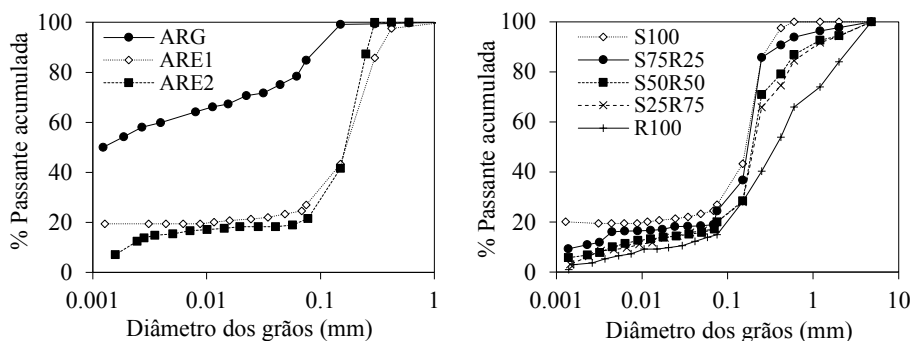


Figura 1: Curvas granulométricas: (a) solos; (b) solo ARE1-RCC.

Gonçalves *et al.* (2018) realizaram estudo sobre a composição química dos três solos, sendo constatado pelos autores que os principais constituintes são o silício, alumínio e ferro, ainda que em proporções diferentes. O solo argiloso apresenta o ferro como elemento majoritário em sua composição, ao passo que os solos arenosos apresentam maiores percentuais do elemento silício. A elevada fração de cálcio apresentada pelo RCC está vinculada a procedência do material, originado do beneficiamento de concreto e argamassas.

Segundo a caracterização física dos materiais (Tabela 1), o solo argiloso (ARG) apresenta a maior densidade real dos grãos entre os solos, a qual é atribuída ao elevado percentual de ferro em sua composição. Por serem constituídos predominantemente por areia, os solos de Tuneiras do Oeste (ARE1) e Mandaguaçu (ARE2) apresentam massa



específica dos sólidos semelhante à do quartzo – 2,65 g/cm<sup>3</sup>, principal componente da areia.

Material/Solo	Caracterização Física				Plasticidade
	$\rho_s$ (g/cm <sup>3</sup> )	LL (%)	LP (%)	IP (%)	
RCC	2,45	-	-	-	-
ARG	3,03	51	38	13	Média plasticidade
ARE1	2,89	20	13	7	Baixa plasticidade
ARE2	2,69	31	15	16	Média plasticidade

Tabela 1: Caracterização física dos materiais e plasticidade dos solos.

Em relação a sensibilidade à água, os solos apresentam plasticidade de baixa à média, conforme Limites de Liquidez (LL), de Plasticidade (LP) e Índice de Plasticidade (IP). O resíduo de construção civil apresenta um teor de material pulverulento de 14,93% e absorção de água de 21,5%.

Acerca dos agentes estabilizantes, foram utilizados os cimentos Portland com adição de pozolana (CP II Z-32), de grande disponibilidade na região de estudo, e o cimento de alta resistência inicial (CP V-ARI), devido ao acelerado ganho de resistência em idades iniciais (Consoli et al., 2007; Cancian et al., 2017; Ferreira et al., 2018; Ferreira, 2019). Todos os experimentos foram realizados utilizando água destilada.

## 2.2 Métodos

A dosagem físico-química foi realizada de acordo com o método de dosagem proposto pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), sendo separadas 20g de solo destorroado a ser colocado em provetas de 250 ml, assim como quantidades de cimento (Figura 2a), calculadas em relação a porcentagem do agente por massa seca de solo, variando entre 1% e 2% (DNIT, 2019). As duas porções foram misturadas à seco (Figura 2b), e adicionado água destilada. Além da proveta de referente (sem adição de cimento), foram adotados os teores de 1 à 12%.

Após 24h de repouso em superfície plana, livre de vibração, a mistura foi agitada durante 30 segundos, aguardando-se o período mínimo de 2h para sedimentação e realização de leitura do volume (Figura 2c). Essa operação foi repetida no decorrer de vários dias, até que se obtivesse em duas leituras consecutivas valores análogos ou decréscimos.

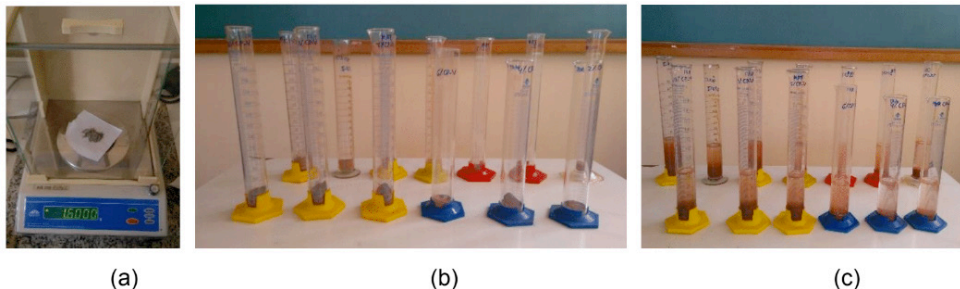


Figura 2: Dosagem físico-química: a) pesagem; b) mistura à seco; c) leituras volumétricas.

Em virtude da presença de partículas em suspensão após períodos de repouso de 2, 4 e 6h durante a execução do Ensaio I para o solo areno-siltoso, as quais poderiam incorrer em imprecisão nas leituras, a dosagem físico-química foi repetida. Para a realização do Ensaio II, após o período mínimo de 2h, foi optado pela realização de movimentos horizontais durante 10 segundos, com o intuito de sedimentar as partículas que novamente se encontravam em suspensão, seguindo todas as outras etapas rigorosamente.

Para avaliação da RCS das misturas solo-cimento, foram adotados os teores de 6, 8 e 10%, em relação a massa seca de solo, em triplicata. Para as misturas com substituição parcial de solo ARE1 por resíduo da construção civil, foram realizadas substituições de 25, 50 e 75%, sendo adotados teores de 8, 10 e 12% de cimento CP V-ARI.

Inicialmente foram obtidos os parâmetros de moldagem, massa seca específica máxima ( $\rho_{d\text{ máx}}$ ) e teor de umidade ótima ( $\omega_{\text{ót}}$ ), com base na construção das curvas de compactação, em duplicata, conforme ABNT (2012a), empregando cilindro Proctor, na energia normal.

Os corpos de prova que atenderam as tolerâncias de grau de compactação (GC) de  $100 \pm 2\%$  e variação de umidade ( $\Delta\omega$ ) em torno de 0,5% da umidade ótima, foram armazenados em sacos plásticos e levados a câmara de úmida, à temperatura de  $23 \pm 2^\circ\text{C}$  e umidade relativa do ar não inferior a 95%. Após o período de cura de 7 dias, os corpos de prova foram rompidos em prensa manual de compressão simples, à taxa média de 1,27 mm/min (ABNT, 2012b).

## 3 I RESULTADOS

### 3.1 Parâmetros de Compactação

Os parâmetros de moldagem das misturas, referentes a massa específica seca máxima ( $\rho_{d\text{ máx}}$ ) e teor de umidade ótima ( $\omega_{\text{ót}}$ ), são apresentados na Tabela 2. Vale pontuar que apenas para o solo ARE2 foi utilizado ambos agentes estabilizantes, a fim de avaliar o efeito do tipo de cimento na previsão do teor mínimo requerido.

Cimento	Solo	Teor (%)	$\rho_d$ (g/cm <sup>3</sup> )	$\omega_{ot}$ (%)
CP II Z-32	ARG	6	1,52	31,5
		10	1,53	30,0
CP II Z-32	ARE1	6	1,84	11,2
		8	1,91	12,4
		10	1,95	13,4
CP II Z-32	ARE2	6	1,88	13,2
		8	1,89	13,5
		10	1,89	13,6
CP V-ARI		6	1,86	13,4
		8	1,88	13,6
		10	1,84	13,7

Tabela 2: Parâmetros de compactação das misturas solo-cimento.

De maneira geral, constata-se que o aumento do teor de cimento resulta na densificação das misturas, em razão da densidade real do cimento ser mais elevada do que a densidade real dos grãos dos solos em estudo. O solo areno-siltoso estabilizado com ambos agentes mostrou baixa sensibilidade da adição de cimento nesse parâmetro, o que está associado ao satisfatório entrosamento dos grãos para o solo compactado sem cimento (Ferreira, 2019).

No caso do teor de umidade ótima, foi confirmada a tendência do aumento de cimento provocar aumento na demanda por água, em decorrência do aumento da superfície específica a ser hidratada, com exceção do solo argiloso.

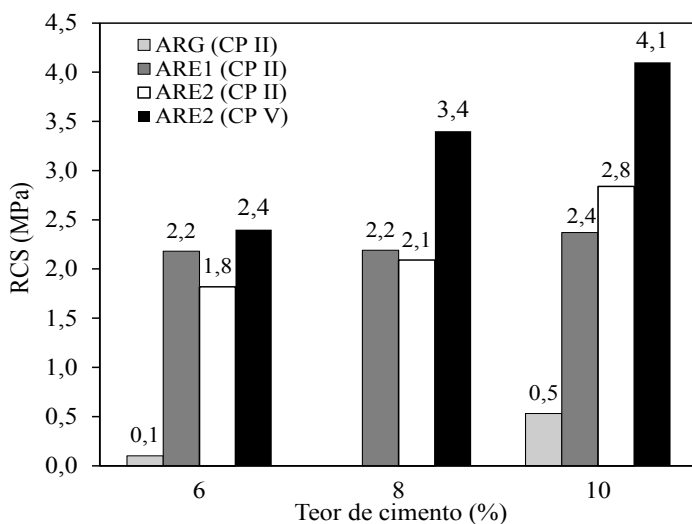
Para as misturas de solo-RCC-cimento CP V (Tabela 3), é possível observar que o aumento da fração de resíduo da construção civil provoca queda na massa específica seca máxima obtida, em função da massa real do RCC ser a menor entre os materiais da mistura. No que concerne o aumento do teor de cimento, ambos parâmetros exibiram baixa variação, indicando que o acréscimo de cimento não produz alterações acentuadas.

Nomenclatura	Solo (%)	RCC (%)	Cimento (%)	$\rho_d$ (g/cm <sup>3</sup> )	$\omega_{ot}$ (%)
S75R25C8			8	1,90	13,2
S75R25C10	75	25	10	1,92	12,4
S75R25C12			12	1,89	13,0
S50R50C8			8	1,84	14,5
S50R50C10	50	50	10	1,86	14,5
S50R50C12			12	1,86	14,4
S25R75C8			8	1,78	17,0
S25R75C10	25	75	10	1,79	16,8
S25R75C12			12	1,75	17,4

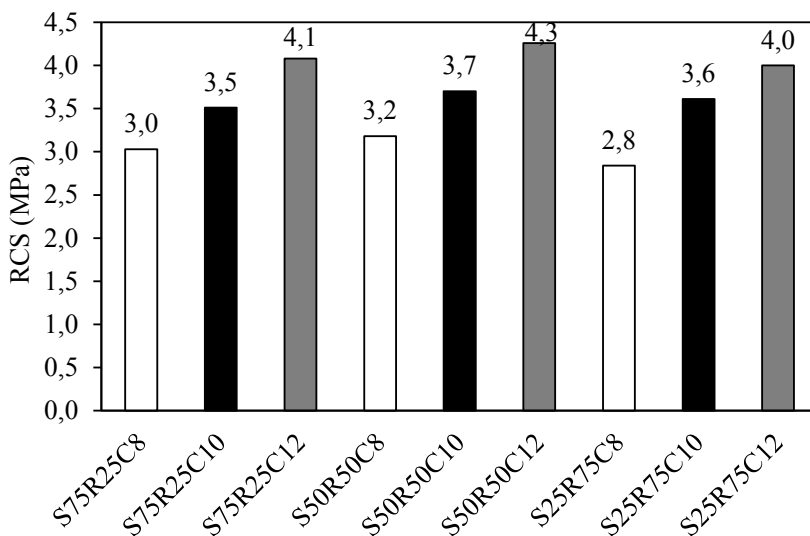
Tabela 3: Parâmetros de compactação das misturas solo-RCC-cimento.

### 3.2 Resistência à Compressão Simples - RCS

Os resultados de comportamento mecânico das misturas solo-cimento são apresentados na Figura 3, para os diferentes tipos de solo (Fig. 3a) e para as misturas com distintas parcelas de resíduo da construção civil (Fig. 3b). Para todas as misturas avaliadas houve evolução da RCS mediante acréscimo no teor de cimento, tendência corroborada pela literatura (Rocha e Rezende, 2017; Sanbonsuge *et al.*, 2017).



(a)



(b)

Figura 3: RCS das misturas solo-cimento em função: (a) tipo de solo; (b) teor de RCC.

Nota-se que o solo areno-siltoso estabilizado com cimento CP V-ARI apresentou as maiores resistências para todos os percentuais de adição de cimento. Isso se deve a maior parte das reações químicas do cimento ARI ocorrerem nos sete primeiros dias de cura.

Para as misturas com resíduo da construção civil, observa-se que a relação de 50% de solo e 50% de RCC resultou em ganhos superiores de resistência quando comparado as outras frações de RCC (25% e 75%).

### 3.3 Dosagem Físico- Química

As variações volumétricas obtidas para os solos argilo-siltoso (ARG), areno-argiloso (ARE1) e areno-siltoso (ARE2), em função do teor ensaiado, estão retratadas na Figura 4.

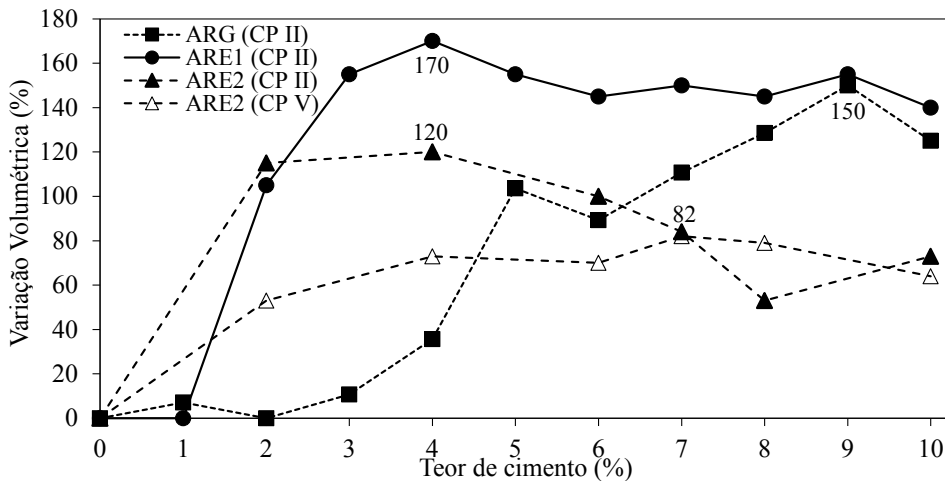


Figura 4. Resultados do ensaio de dosagem físico-química para as misturas solo-cimento.

Para o solo de Londrina (ARG), constata-se que a estabilização ocorre quando o teor de cimento corresponde a 9%, com variação volumétrica de 150%, enquanto que para o solo de Tuneiras do Oeste (ARE1) a variação de 170% foi obtida em 4% de cimento. Em função do tipo de cimento, diferentes variações máximas e teores de cimento foram observados para o solo de Mandaguaçu (ARE2).

Os resultados confirmam a tendência de solos argilosos demandarem maiores teores de cimento para estabilização, em comparação com os solos arenosos. Materiais finos apresentam elevada área superficial específica (ASE), assim, quanto menores as frações granulométricas que compõem o solo, maior será a interação.

De acordo com a granulometria exposta na Figura 1a, o solo de Londrina tende a apresentar maior ASE, seguido pelos solos de Tuneiras do Oeste e Mandaguaçu, influenciando na interação das partículas do material com as reações de hidratação do cimento nas misturas, fato que justifica a maneira que se ordenaram os resultados de mínimos teores de cimento requeridos para estabilização química de cada um deles.

Por outro lado, a estabilização química dos solos arenosos se deu em teores considerados para solos melhorados, cujo intuito é minimizar a sensibilidade do solo à água, sem cimentação ou ganho de resistência acentuado. Com base em estudos desenvolvidos anteriormente por Cancian *et al.* (2017) e Ferreira (2019) para esses solos, foi observado que ambos se estabilizam com teores de adição igual ou acima de 6% de cimento CP II Z-32, diferentemente do cimento CP V-ARI, em que ocorre diminuição nos percentuais requeridos, devido a diferente dosagem entre o calcário e argila durante a produção do clínquer, assim como moagem mais fina do cimento, de maneira que a reação com a água resulte em ganhos de resistência acelerados.

Na Figura 5 são apresentados os resultados obtidos para a dosagem físico-química das misturas com substituição parcial do solo por resíduo da construção civil.

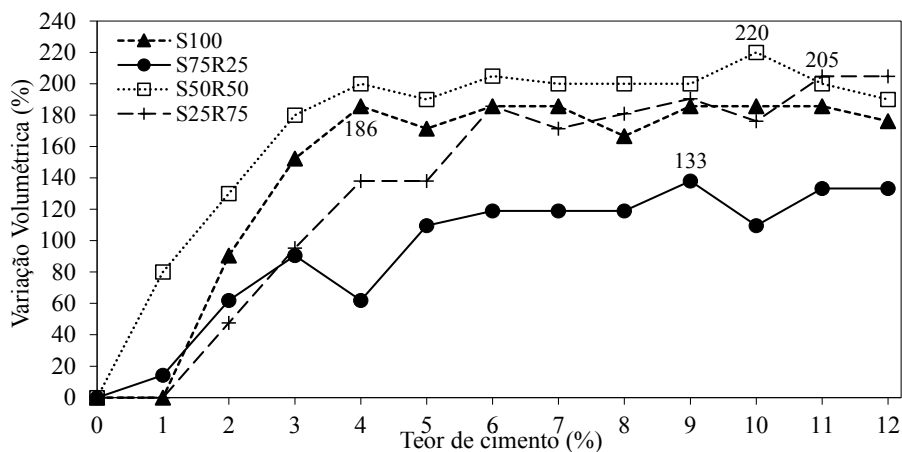


Figura 5. Resultados da dosagem físico-química para misturas solo-cimento-RCC.

É possível notar que a presença e aumento da quantidade de agregado reciclado produz aumento da variação volumétrica. No que diz respeito aos pontos de máxima variação volumétrica, para o solo areno-argiloso com cimento, a metodologia prevê que a estabilização química ocorra com 4%, mesmo teor requerido para o solo ao ser estabilizado com cimento CP II Z-32. Para as misturas com resíduo, esse percentual variou entre 9% e 11%.

Conforme discutido anteriormente, foram realizados dois ensaios de dosagem físico-química para cada um dos estabilizantes, em decorrência da constatação de partículas em suspensão no decorrer do ensaio I. Como é possível averiguar na Figura 6, a realização de movimentos rotacionais durante o ensaio II, para promover o assentamento do solo em suspensão, resultou em respostas diferentes de expansão.

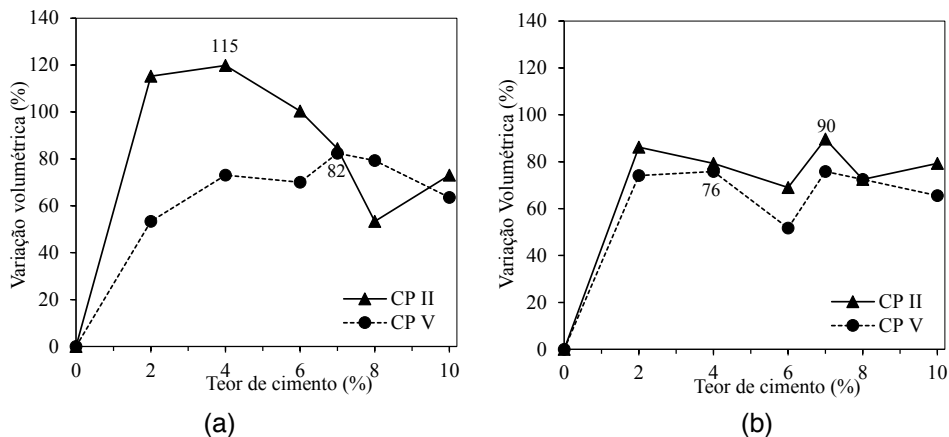


Figura 6. Influência do tipo de cimento na dosagem físico-química: (a) ensaio I; (b) ensaio II.

Considerando o ponto de máxima variação volumétrica, correspondente ao teor mínimo de cimento necessário para a estabilização físico-química completa do solo, no ensaio I (Figura 6a) as misturas com cimento CP II e CP V expandiram até atingirem o máximo em 4 e 7 %, relativas a expansões de 120 e 82 %, respectivamente. No caso do ensaio II (Figura 6b), as variações volumétricas máximas de 90 e 76 % foram obtidas com teores de 7 e 4 % de cimento CP II e CP V. Embora dois pontos tenham apresentado expansão de 76 %, foi considerado o menor teor que satisfaz o requisito de variação volumétrica.

## 4 | DISCUSSÃO

### 4.1 Efeito do tipo de solo

Em função das distintas granulometrias apresentadas pelos solos, foi confirmado a tendência do solo argiloso (ARG) demandar maior quantidade de cimento para a estabilização química, em comparação com os solos arenosos (ARE1 e ARE2). No caráter auxiliar de seleção preliminar de materiais, a metodologia de dosagem indicou, para ambos solos arenosos, estabilização química com teor de 4% de cimento CP II, convencionalmente adotado para melhoramento de solo.

Analisando esses teores previstos com o comportamento mecânico, observa-se que, não obstante a esses teores de cimento satisfazerem quimicamente o solo, eles não apresentam resistência à compressão simples mínima satisfatória para emprego de misturas solo-cimento em camada de base de pavimentos de 2,1 MPa, conforme normativa DNIT-ES 143 (2010). De acordo com a faixa de teores investigadas no presente estudo, os solos de Tuneiras e Mandaguaçu atendem o critério com os teores de 6 e 8%, respectivamente, ao



passo que o solo de Londrina requer teores acima de 10%.

## 4.2 Efeito da composição da mistura

A substituição de solo por crescentes parcelas de RCC acarreta em acréscimos do teor de cimento para estabilizar o solo, conforme demonstrado nas máximas variações volumétricas das misturas, situadas entre 9-11%. Diferentemente do observado para os solos, a previsão inicial de cimento para as misturas solo-RCC-cimento tendeu a ser maior do que a quantidade necessária para cumprir o requisito de comportamento mecânico, visto que a resistência mínima obtida foi de 2,8 MPa.

## 4.3 Efeito do tipo de cimento

A metodologia de dosagem apresentou sensibilidade quanto ao tipo de cimento, apresentando variações volumétricas máximas em diferentes teores. Contrastando as respostas mecânicas das misturas solo-cimento com as obtidas no solo puro, referente a 0,43 MPa, os ganhos mínimo e máximo para o cimento CP II foram da ordem de 4,2 e 6,5 vezes, enquanto que para o cimento CP V esses incrementos foram de 5,6 e 9,5 vezes.

Em decorrência de diferente processo de produção do cimento CP V-ARI, em que se cita a dosagem entre o calcário e argila durante a produção do clínquer, assim como pela moagem mais fina do cimento, as reações químicas com esse cimento se dão de maneira acelerada, resultando em menores teores necessários para o processo de estabilização.

Em análise dos percentuais de cimento CP II e CP V que atingiram a resistência mínima à compressão de 2,1 MPa, 8% e 6%, respectivamente, com os teores de estabilização química indicados pela fase de seleção preliminar, 4% e 7% (segundo o procedimento padrão), observa-se distanciamento entre ambas abordagens.

## 4.4 Efeito do ajuste experimental

A presença de partículas em suspensão e conseqüente realização de movimentos rotacionais demonstrou-se benéfica quanto a correspondência entre o indicativo da metodologia de dosagem físico química e o comportamento mecânico, em que se cita os percentuais de 7% e 4% de cimento CP II e CP V previstos pela dosagem e os teores 8% e 6% de cimento que atingiram a resistência mínima à compressão de 2,1 MPa, respectivamente (*vide* Figura 3a). Embora o teor mínimo de cimento ARI ensaiado neste trabalho seja 6 %, a resistência à compressão simples obtida nesse percentual fornece indícios de que quantidade relativamente menor de cimento cumpriria o requisito normativo.

É importante mencionar que a metodologia de dosagem físico-química foi desenvolvida para ser empregada na fase de seleção preliminar de materiais e tem como objetivo determinar a quantidade mínima de cimento necessária para a estabilização química, sem relação com requisitos de resistência e/ou rigidez. Tendo como foco central esboçar a influência de variáveis importantes na resposta físico-química, o presente

estudo, secundariamente, estabeleceu paralelos entre o previsto na metodologia e o resultado mecânico, a fim de buscar compreensão ampla das possibilidades e limitações da metodologia de dosagem para materiais de pavimentação.

## 5 | CONCLUSÕES

Com o intuito de analisar o efeito dos materiais que compõe a mistura solo-cimento para previsão do teor mínimo de cimento requerido para estabilização segundo a metodologia de dosagem físico-química e respectiva comparação com resultados experimentais de resistência à compressão simples, observou-se que:

- O solo de granulometria predominantemente argilosa demandou maior quantidade de cimento para estabilização química, quando comparado aos solos de granulometria arenosa;
- Os resultados previstos para estabilização química demonstraram-se inferiores aos teores necessários para atingir a resistência à compressão simples requerida em projeto para base de pavimento;
- A adição de ambos agentes estabilizantes resultou em elevados ganhos de resistência à compressão simples, apresentando maior magnitude para o cimento CP V-ARI;
- A incorporação de agregados da construção civil na mistura solo-cimento resultou em aumento da quantidade de cimento necessária para satisfazer quimicamente a mistura solo-RCC, divergindo dos resultados de RCS;
- A realização de movimentos rotacionais sucedeu em diferentes variações volumétricas quando contrastadas ao ensaio I, resultando em convergência entre a estimativa da quantidade de cimento indicada pela metodologia de dosagem físico-química e as respostas mecânicas.

## Agradecimentos

Os autores expressam sua gratidão ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Fundação Araucária de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Estado do Paraná (FA) e Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo suporte financeiro, obtido por meio de Bolsas de Mestrado, de Doutorado, de Produtividade e auxílio em trabalhos de campo.

## REFERÊNCIAS

ABNT (2012a). NBR 12023. **Solo-cimento – ensaio de compactação**. Rio de Janeiro.

ABNT (2012b). NBR 12025. **Solo-cimento – Ensaio de compressão simples de corpos de prova cilíndricos – Método de ensaio**. Rio de Janeiro.

Almeida, G. B. O. (2016) **Incorporação de escória de cobre pós-jateada a um solo areno-argiloso de Sergipe para aplicação em base de pavimentos**. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica / PUC, Rio de Janeiro, 193 p.

Cancian, M. A.; Cancian, V. A.; Fontenele, H. B.; Costa Branco, C. J. M.; Teixeira, R. S. (2017) **Influência do teor de umidade, da porosidade e do intervalo de tempo até a aplicação da mistura solo-cimento em pavimento rodoviário**. Transportes, 25 (1), p. 41-50.

Consoli, N. C.; Foppa, D.; Festugato, L.; Heineck, K. H. (2007) **Key parameters for strength control of artificially cemented soils**. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 133 (2), p. 197-205.

Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (2010). DNIT-ES 143. **Pavimentação - Base de solo-cimento - Especificação de serviço**. Rio de Janeiro.

Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (2019). DNIT 414. **Pavimentação - Solo-cimento – Dosagem físico-química de solo-cimento – Método de ensaio**. Rio de Janeiro.

Ferreira, J. W. S. (2019) **Comportamento mecânico de misturas solo-cimento para aplicação em pavimentos**. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Estadual de Londrina / UEL, Londrina, 149 p.

Ferreira, J. W. S.; Gomes, V. H.; Cancian, V. A.; Zanin, R. F. B.; Oliveira, A. D.; Gonçalves, F.; Costa Branco, C. J. M.; Teixeira, R. S. (2018) **Aplicabilidade de solo arenoso compactado e melhorado com cimento em pavimentos flexíveis**. In: XIX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica – COBRAMSEG 2018, Salvador, Bahia. Anais...

Gonçalves, F.; Zanin, R. F. B.; Somera, L. F.; Oliveira, A. D.; Ferreira, J. W. S.; Costa Branco, C. J. M.; Teixeira, R. S. (2018) **Caracterização Físico-química e mineralógica de três solos do estado do Paraná**. In: XIX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica – COBRAMSEG 2018, Salvador, Bahia. Anais...

Khan, Z.; Majid, A.; Cascante, G.; Hutchinson, D. J.; Pezeshkpour, P. (2006) **Characterization of a cemented sand with the pulse-velocity method**. Canadian Geotechnical Journal, 43 (3), p. 294-309.

Kutanaei, S. S.; Choobbasti, A. J. (2017) **Effects of nanosilica particles and randomly distributed fibers on the ultrasonic pulse velocity and mechanical properties of cemented sand**. Journal of Materials in Civil Engineering, 29 (3), 04016230.

Mandal, T.; Edil, T. B.; Tinjum, J. M. (2018) **Study on flexural strength, modulus, and fatigue cracking of cementitiously stabilised materials**. Road Materials and Pavement Design, 19 (7), 1546-1562.

Oliveira, R. F. V.; Motta, L. M. G. (2013) **Avaliação de dois solos modificados com cimento para dimensionamento de pavimentos**. Revista Pavimentação, 8 (28), p. 11-23.

Rocha, M. T.; Rezende, L. R. (2017) **Estudo laboratorial de um solo tropical granular estabilizado quimicamente para fins de pavimentação**. Revista Matéria, 22 (4).

Sanbonsuge, K.; Vasconcelos, K.; Bernucci, L.; Moura, E. (2017) **Efeito da umidade inicial e do tempo de cura nas propriedades mecânicas de misturas solo-cimento**. Transportes, 25 (4), p. 68-82.

# CAPÍTULO 14

## SERENS: DISCUTINDO O PRESENTE PARA TRAÇAR O FUTURO

*Data de aceite: 03/05/2021*

*Data de submissão: 02/02/2021*

### **Rosângela de Araújo Santos**

IFBA – Inst Federal da Bahia  
Camaçari – Bahia  
<http://lattes.cnpq.br/6311458346613517>

### **Teresinha de Quadros Guilherme dos Santos**

IFBA – Inst Federal da Bahia  
Camaçari – Bahia  
<http://lattes.cnpq.br/9900775198232086>

### **Jarbas Cordeiro Sampaio**

IFS – Inst Federal de Sergipe  
Lagarto – Sergipe  
<http://lattes.cnpq.br/0607563880296149>

### **Ernando Ferreira**

IFBA – Inst Federal da Bahia  
Camaçari – Bahia  
<http://lattes.cnpq.br/6895899768798180>

### **Elisa Cristina de Barros Casaes**

IFBA – Inst Federal da Bahia  
Camaçari – Bahia  
<http://lattes.cnpq.br/6686898397482877>

### **Aline Rita Pereira Hohenfeld**

IFBA – Inst Federal da Bahia  
Camaçari – Bahia  
<http://lattes.cnpq.br/4422424009709386>

### **Eleilson Santos Silva**

IFBA – Inst Federal da Bahia  
Camaçari – Bahia  
<http://lattes.cnpq.br/3283068063376878>

**RESUMO:** O Seminário sobre Energias Renováveis, Eficiência Energética e Sustentabilidade – SERENS ocorreu de forma online no dia 30 de julho de 2020. O evento é uma das atividades do Grupo de Pesquisa Inovação Tecnológica e Sustentabilidade – GPITS que nesse ano teve um grande desafio ao realizar em formato virtual por conta da pandemia estabelecida. As atividades desenvolvidas foram comunicações orais, palestras, mesas redondas e o “Tour virtual de empresas” com transmissão pela TV IFBA no Youtube e minicursos em salas virtuais “RNP”. De forma geral, o evento foi bem avaliado pelos participantes com 96,4% de avaliações ótimas ou boas, o que refletiu também nos trabalhos apresentados por pesquisadores de diferentes regiões do país e Universidades e Instituições de Ensino como IFBA, IFS, UFRB, UNITAU, IFPE, UFFS e UNIFEI. A previsão é de que o próximo SERENS seja planejado de forma mista tendo parte presencial e parte virtual para dinamizar e oportunizar a participação a nível nacional.

**PALAVRAS-CHAVE:** SERENS, Energias Renováveis, Eficiência Energética, Sustentabilidade.

### SERENS: DISCUSSING THE PRESENT TO PLAN THE FUTURE

**ABSTRACT:** The Seminar about Renewable Energies, Energy Efficiency and Sustainability - SERENS took place online on July 30, 2020. The event is one of the activities of the Research Group on Technological Innovation and Sustainability - GPITS which this year had a great challenge to

carry out virtual form because of the established pandemic. The activities developed were oral communications, lectures, panels discussion and the “Virtual company tour” broadcast by TV IFBA on Youtube and short courses in “RNP” virtual rooms. In general, the event was well evaluated by the participants with 96.4% of excellent or good evaluations, which also reflected in the works presented by researchers from different regions of the country and Universities and Educational Institutions such as IFBA, IFS, UFRB, UNITAU , IFPE, UFFS and UNIFEI. The forecast is that the next SERENS will be planned in a mixed way, having a presential part and a virtual part to boost and provide opportunities for participation at the national level.

**KEYWORDS:** SERENS, Renewable Energies, Energy Efficiency, Sustainability.

## 1 | INTRODUÇÃO

Na busca da sustentabilidade do desenvolvimento, diversos países passaram à transformação do setor energético, desenvolvendo políticas e programas de incentivo ao aproveitamento das fontes de energias renováveis, da eficiência e conservação, a fim de garantir o aprovisionamento energético, diminuir a dependência do petróleo e atender aos acordos de redução de gases de efeito estufa.

Dada essa nova realidade, os países enfrentam um grave problema: o crescente aumento do consumo global de energia e da demanda por energia primária.

No panorama nacional, o significativo crescimento do consumo de energia elétrica, sobretudo nos setores residencial e comercial, corresponde ao aumento da renda da população (disponibilidade e facilidade de aquisição de eletrodomésticos), às elevadas temperaturas e aos baixos índices pluviométricos, que impulsionaram a utilização de equipamentos para climatização, a ponto de deslocar o horário de pico de consumo (demanda máxima de energia) (CASAES, 2018).

Desse modo, sabendo-se da necessidade em conter as demandas energéticas, que crescem proporcionalmente ao desenvolvimento tecnológico e ao crescimento econômico e populacional, é muito importante considerar alternativas sustentáveis.

O Grupo de Pesquisa Inovação Tecnológica e Sustentabilidade – GPITS foi criado em 2015, no IFBA Campus Camaçari, buscando entender melhor esse cenário atual e propor mudanças à realidade de maneira sustentável e eficiente, não só em termos do uso energético, mas com um propósito amplo e interdisciplinar movimentando a comunidade a pensar junto o futuro.

Desde então, o GPITS desenvolve várias atividades como projetos de ensino, pesquisa e extensão, cursos, visitas técnicas e eventos como o Seminário sobre Energias Renováveis, Eficiência Energética e Sustentabilidade – SERENS.

O SERENS teve a sua primeira edição em 2016 sustentado pelas vertentes das energias renováveis, eficiência energética e sustentabilidade e reúne diversas atividades como palestras, minicursos, apresentações de trabalhos e stands de empresas. O evento está ocorrendo de dois em dois anos, de modo que teve a sua 2ª edição em 2018, e a 3ª

em 2020.

O evento de 2020 trouxe uma dinâmica e metodologia diferente, por conta da pandemia estabelecida pelo Coronavírus, tendo que ocorrer de forma virtual com transmissão pelo Youtube e canais online “RNP”, no caso dos minicursos. O evento online exige ainda mais do planejamento, treinamento e comprometimento, não só da organização, mas também dos participantes com acesso aos links de transmissão por diferentes meios, como site do evento, e-mail, redes sociais e Whatsapp.

O SERENS virtual mostra também algumas vantagens como a participação de palestrantes e ouvintes das diversas regiões do país, enriquecendo ainda mais as apresentações e debates, possibilitando uma maior disseminação do evento nacionalmente.

Os Anais do SERENS, edição 2020, apresenta artigos e resumos de trabalhos que foram apresentados na forma de comunicação oral e foram alocados no evento em três temáticas, “Inovação, Educação, Trabalho e Sociedade”, “Meio Ambiente e Atitudes Sustentáveis” e “Energias Renováveis e Eficiência Energética” reunindo pesquisadores da UFRB, IFS, UNITAU, UNIFEI, UFFS e diferentes campi do IFBA.

O presente texto está organizado em cinco seções. A segunda versa sobre o Contexto do Grupo de Pesquisa GPITS, a terceira discute como foi formulada a Proposta do SERENS, na sequência, aspectos do SERENS 2020 são retratados e na quinta e última seção está a Conclusão com a descrição de perspectivas para eventos futuros.

## **2 I CONTEXTO DO GRUPO DE PESQUISA**

O Grupo de Pesquisa Inovação Tecnológica e Sustentabilidade – GPITS foi criado em 2015, no IFBA campus Camaçari, pelos professores Jarbas Sampaio e Teresinha Quadros. As linhas de pesquisa do GPITS são “Geração de Energia, Eficiência Energética e Sustentabilidade”, “Inovação Tecnológica, Trabalho, Educação e Sociedade” e “Inovações Tecnológicas e Desenvolvimento de novos sistemas”. Atualmente 11 pesquisadores do IFBA, IFS e UFRB fazem parte do Grupo de Pesquisa e estão alocados nas linhas de pesquisa descritas.

Em linhas gerais, o GPITS foi pensado para atuar com:

- I. Pesquisa aplicada no campo da produção de tecnologias que sustentem os princípios da inovação tecnológica e da sustentabilidade, notadamente nas áreas da Geração de energia e da Eficiência Energética;
- II. Desenvolvimento de proposta pedagógica que fomente o processo de inovação a partir do resgate da relação entre educação e trabalho; no sentido de reconstituição do vínculo psicofísico das atividades científica e técnico-produtiva;
- III. Atividades de iniciação científica com estudantes de Instituições, principalmente do IFBA/ Camaçari;
- IV. Visitas técnicas a empresas e a experiências de desenvolvimento que

expressem modelos sustentáveis;

- V. Articulação interinstitucional para a realização de parcerias, eventos e fóruns para discussão das bases sociais da inovação e da sustentabilidade;
- VI. Divulgação da pesquisa realizada através da participação e apresentação de trabalhos em Eventos científicos e Congressos; Publicação de artigos em periódicos e revistas indexadas.

O primeiro projeto de pesquisa e extensão do grupo de pesquisa e que tem papel fundamental na construção da unidade que existe hoje, foi o “Climatização Sustentável do IFBA campus Camaçari”. Esse projeto criou um ambiente de pesquisa dentro do campus de maneira natural e que teve vários desdobramentos na carreira de alguns docentes do GPITS. O objetivo principal do projeto foi identificar medidas e soluções para a climatização das salas de aula no IFBA Campus Camaçari, visando o conforto térmico e eficiência energética em uma perspectiva sustentável. Foram também evidenciadas a compreensão e a conscientização do conceito de sustentabilidade.

Para o desenvolvimento do projeto Climatização Sustentável foram criados subgrupos de trabalhos para promover no campus Camaçari os diagnósticos “sócio comportamental”, “energético” e “bioclimático” para primeiro entender a estrutura e condições apresentadas pelo campus para depois propor modificações no intuito de cumprir os objetivos propostos.

No Diagnóstico Energético, os ambientes do campus, como laboratórios e salas de aula foram estudados em termos do gasto energético mensal, detalhando o consumo de energia elétrica por sistema de iluminação e refrigeração, para depois traçar estratégias visando uma maior eficiência energética e consequentemente economia de energia. Além desse trabalho, também foi realizada a instalação e acompanhamento de geração distribuída fotovoltaica no campus. Experiência que oportunizou o grupo de trabalhar com geração de energia por fonte renovável e conhecer melhor o mercado de energia elétrica, áreas importantes e estratégicas, como no trabalho de Mestrado abordado por Ferreira (2018).

No Diagnóstico Bioclimático foram levantados dados primários e secundários relativos à ventilação, temperatura, umidade e incidência solar, bem como estudos sobre vegetação e recursos hídricos, para a identificação e sinalização de soluções para a promoção da eficiência energética e do conforto térmico.

No Diagnóstico Sócio comportamental foram levantadas as percepções dos diversos segmentos do público interno do campus (docente, discente, técnico administrativo e funcionários terceirizados da área de serviços) visando conhecer a percepção dos mesmos e as atitudes adotadas em relação às questões vinculadas ao conforto térmico e sua influência no desempenho acadêmico e as medidas visando a sustentabilidade do campus.

Cursos, eventos e visitas técnicas também foram realizados associados ao “Circuito Formativo” tendo uma boa receptividade e participação da comunidade acadêmica.

Um dos projetos recentes do GPITS está relacionado com a implantação do

“Ecoponto” no IFBA Campus Camaçari, como parte do projeto de pesquisa e extensão “IFBA sustentável” desenvolvido em parceria com a Cooperativa de Materiais Recicláveis de Camaçari - COOPMARC e apoio da LIMPEC/Prefeitura.

O Ecoponto tem por objetivo recolher materiais recicláveis, como plásticos, vidros, papeis e óleos, da comunidade interna do IFBA e externa. Estes materiais são retirados periodicamente pela empresa COOPMARC e destinados à sede da cooperativa, onde trabalham antigos catadores de rua. Dessa forma, a comunidade colabora com a sustentabilidade, meio ambiente e renda dos catadores e suas famílias.

O Grupo tem trabalhado em projetos de ensino, pesquisa e extensão atendendo às vertentes energias renováveis, eficiência energética e sustentabilidade, com espaço também para a inovação que pode ocorrer de diversas formas com uma prática multidisciplinar.

A próxima seção relata como o SERENS foi pensado e sobre o seu propósito.

### **3 | PROPOSTA DO SERENS**

Com o aumento na demanda por energia, a ameaça de escassez de combustíveis fósseis, o eminente agravamento do aquecimento global e a crescente pressão por medidas de controle do consumo, a sociedade tem trabalhado em mais pesquisas nas áreas de energias limpas e renováveis como energia solar, eólica e outras.

Em 2004 o país optou por ampliar sua matriz energética, reduzindo a dependência das usinas hidrelétricas, possibilitando criar uma cadeia de valor em torno das energias renováveis através do Programa de Incentivo às Fontes de Energias Renováveis (Proinfa) (CUSTÓDIO, 2013). Atualmente, as empresas ditam o ritmo de geração de energia eólica e dos negócios na busca por escala de produção de energia, dando origem a um processo de concentração via fusões e aquisições.

Na Bahia, a energia eólica também se transformou em uma das áreas prioritárias para o governo local, sendo que o governo do Estado garantiu benefícios fiscais para as empresas que querem investir no setor. Conforme a Associação Brasileira de Energia Eólica – Abeólica, Rio Grande do Sul, Rio Grande do Norte e Bahia são os Estados com maior potencial para a energia dos ventos (SANTOS et al. 2018; 2019).

Segundo Villalva (2013), o ser humano é muito dependente de eletricidade e a demanda por essa energia cresce de maneira acelerada em todo o mundo. Frente a essa situação, as tecnologias envolvidas na produção de energias renováveis são mais bem aproveitadas quando trabalham em conjunto com sistemas de armazenamento de energia. Segundo Pasquali (2006) e Pereira (2013), o armazenamento pode contribuir para equilibrar a carga e regular a frequência, atenuando a irregularidade da produção e ajudando a rede de distribuição a comportar melhor os picos de consumo, otimizando o desempenho econômico na manutenção e operação dos sistemas de geração.

Diante do cenário apresentado, que também está associado a processos com



eficiência energética e práticas sustentáveis, não só no âmbito da geração de energia mas em diversas ações do cotidiano visando também um maior cuidado e preservação do meio ambiente, que o SERENS foi delineado pelo grupo de pesquisa, trazendo discussões e debates importantes para a comunidade acadêmica e externa. Outro detalhe importante é que o município de Camaçari sedia inúmeras empresas que atuam na cadeia da produção de energias renováveis tendo uma importância estratégica tanto para o desenvolvimento local e regional como para a consolidação de uma eventual vocação do campus para a formação de profissionais e desenvolvimento de pesquisa nesta área.

Do ponto de vista metodológico, a comissão organizadora tem como meta, a implementação de uma proposta pedagógica que busca recuperar a relação entre o conhecimento e a prática do trabalho. Nesses termos, o evento tem como objetivo o desenvolvimento das atividades de ensino, pesquisa e extensão no campus Camaçari do IFBA em uma perspectiva interdisciplinar e de fomento à inovação e à intervenção junto à realidade local e regional, bem como a formação de redes institucionais colaborativas que promovam o desenvolvimento local em uma perspectiva sustentável. De forma mais específica, a comissão organizadora visa também:

- a) Promover o debate em torno dos conceitos de inovação e sustentabilidade, notadamente nos campos da produção de tecnologias sociais que contemplem as reais necessidades das comunidades;
- b) Refletir sobre as bases sociais da inovação promovendo ações pedagógicas que estimulem a criatividade e a autonomia do sujeito cognoscente e das comunidades demandantes.
- c) Possibilitar a qualificação das atividades de pesquisa no Campus, onde os professores e alunos tenham a oportunidade de relacionar a teoria com a prática;
- d) Articular o ensino, a pesquisa e a extensão na produção e difusão do conhecimento em uma perspectiva aplicada que vincule educação e trabalho;
- e) Estabelecer o diálogo entre as diversas áreas do conhecimento no âmbito institucional;

A primeira edição do SERENS aconteceu no ano de 2016, nos dias 11 e 12 de agosto no IFBA Campus Camaçari. Várias atividades aconteceram como, minicursos, palestras, comunicações orais, apresentação de pôsteres, mesas-redondas e stands de empresas. O público participante do evento foi diversificado com a presença dos alunos do ensino médio, técnico e superior, professores, comunidade local e representantes de empresas que mostraram os seus projetos inovadores em eficiência energética e sustentabilidade. Alunos e professores representaram diferentes Universidades e Institutos, da UFBA, UFRB, UNEB, IFBA, UNIFACS com apresentações de trabalhos e como ouvintes do evento.

O evento ocorre de dois em dois anos, de forma que a segunda edição ocorreu em 2018, buscando ser um evento consolidado no estado com importância e reconhecimento

e com o aumento no número de participantes.

O SERENS propõe um amplo debate sobre o tema das energias renováveis e o futuro energético na Bahia, trazendo empresários da região para apresentar projetos inovadores e que envolvam eficiência energética, assim como professores e pesquisadores das diversas regiões apresentando os seus trabalhos e expondo novas tecnologias e as suas perspectivas para o futuro.

O evento é proposto com a ideia de que pequenas ações sustentáveis podem ser feitas, em qualquer ambiente, desde o reaproveitamento de materiais simples ao uso de tecnologias que não possuem constituintes prejudiciais ao meio ambiente

Na próxima seção, a edição 2020 do SERENS é apresentada.

#### **4 | O SERENS 2020**

Em função do contexto da COVID-19, que impõe nesse momento o distanciamento social como medida sanitária, o SERENS 2020 foi realizado no formato online no dia 30 de julho e veiculado no Youtube pela TV IFBA. O evento virtual proporcionou diferentes experiências, tanto para os organizadores quanto para os participantes.

Os eventos virtuais não são restritos a um único local e, os participantes podem estar em qualquer lugar do mundo, desde que tenham acesso à web. Este fato foi evidenciado no levantamento das inscrições nas variadas atividades, com participação de pessoas, entre palestrantes e ouvintes, de diferentes estados do país, além da Bahia, como Sergipe, São Paulo, Rio de Janeiro, Piauí, Paraíba, Ceará, Mato Grosso, Rondônia, Pernambuco, Minas Gerais, Rio Grande do Sul, Santa Catarina, dentre outros, enriquecendo os debates e o aprendizado.

Para os organizadores, transformar o evento presencial em virtual foi uma experiência exitosa e desafiadora. O planejamento estratégico do SERENS 2018 (presencial) foi adaptado para online, sendo que a comissão organizadora teve parceiros e colaboradores, incluindo setores do IFBA, como o de comunicação, coordenação de extensão, direção de ensino e geral do campus Camaçari, em relação aos canais de transmissão da TV IFBA, aos intérpretes de Libras e monitores.

Os trabalhos apresentados na edição de 2020 foram alocados em três temáticas, “Inovação, educação, trabalho e sociedade”, “Meio Ambiente e Atitudes Sustentáveis” e “Energias Renováveis e Eficiência Energética” reunindo pesquisadores da UFRB, IFS, UNITAU, UNIFEI, UFFS e diferentes campi do IFBA.

As atividades apresentadas foram Comunicações Orais, Palestras, Mesas-redondas, Minicursos e o “Tour Virtual de Empresas” com a participação das empresas “BD Engenharia”, “Dias Viana Engenharia” e “Fóton: Energia Solar” mostrando as suas atividades no ramo das energias renováveis.

Durante o evento ocorreram três Mesas Redondas intituladas “A Bahia no Cenário

Energético Atual: potencialidades e desafios” com mediação da Profa. Dra. Álgier dos Santos Pereira do IFBA Campus Camaçari, “Gestão dos Recursos Naturais e Sustentabilidade” com mediação da Profa. Dra. Hilda Costa dos Santos Talma da UFRB Campus Feira de Santana e “Energias Limpas: tendências e perspectivas” com mediação do Prof. Dr. Marcelo Santana Silva do IFBA Campus Santo Amaro. As Mesas Redondas trouxeram debates importantes conduzidos por professores da UFS, UFBA, UNIFACS, IFPE e IFBA, além de representantes da SEINFRA e do grupo NEOENERGIA.

Um dos desafios enfrentados pela Comissão Organizadora foi a respeito da comprovação de presença dos participantes nas atividades, principalmente para a certificação dos ouvintes que tenham assistido a pelo menos 70% do evento. Isso foi resolvido com um formulário do Google Docs disponibilizado durante o evento. E, a partir desse formulário, os participantes foram perguntados sobre como souberam do evento, que pode ser por mais de uma maneira, como mostrado na Figura 1 e os mesmos também avaliaram as atividades, na Figura 2, em uma escala de 1 a 5, sendo 1 péssimo e 5 ótimo.

A Figura 1 mostra a importância da divulgação do evento em diferentes plataformas, incluindo o site do evento e redes sociais, mas, principalmente, apresenta como o Whatsapp tem assumido um papel de fácil disseminação de informações. A opção apresentada como “Outros”, na Figura 1, reúne diferentes formas apresentadas pelos participantes como, pesquisa na internet, indicação de professor, site do IFBA, Youtube e Twitter.

A Figura 2 mostra o resultado da avaliação das atividades do SERENS 2020 com 96,4% das pessoas considerando como ótimo ou bom e 3,6% como regular, ruim ou péssimo.

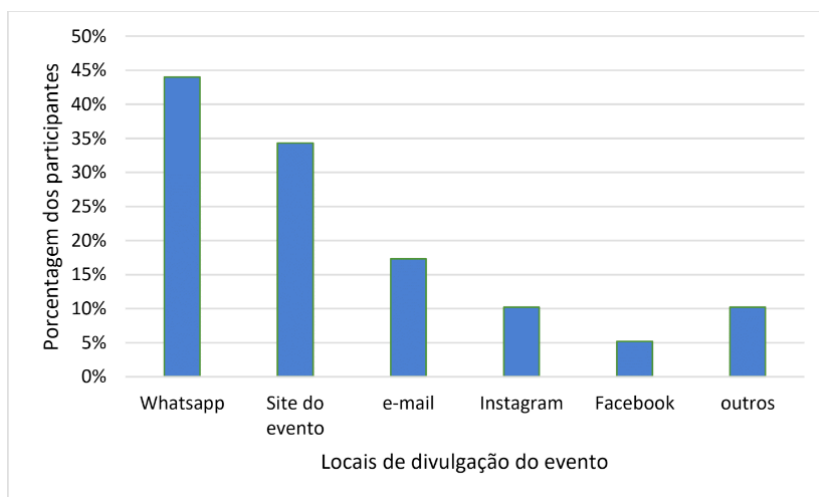


Figura 1 – Mostra em quais locais de divulgação, os participantes ficaram sabendo do evento.

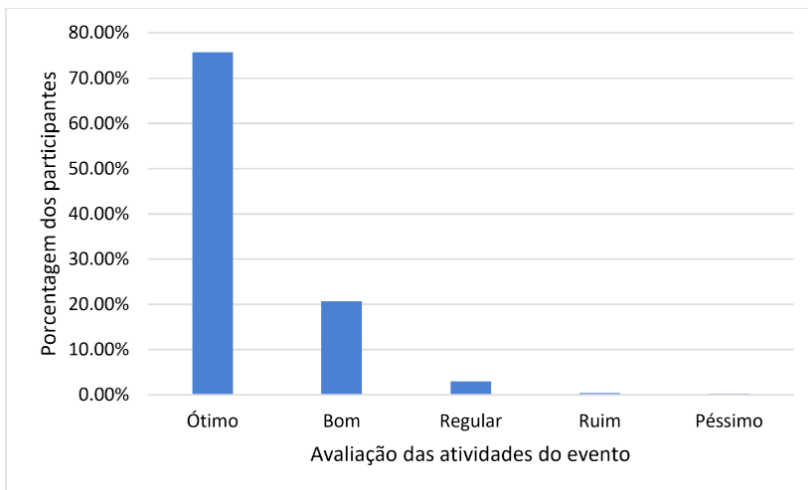


Figura 2 – Mostra o resultado das avaliações das atividades do evento pelos participantes, numa escala de 1 a 5, sendo 1 péssimo e 5 ótimo.

A edição de 2020 do SERENS recebeu boas avaliações e isso também reflete na qualidade dos trabalhos apresentados nos Anais do evento.

A próxima seção apresenta a Conclusão com perspectivas para eventos futuros.

## 5 | CONCLUSÃO

O Seminário sobre Energias Renováveis, Eficiência Energética e Sustentabilidade – SERENS ocorrido de forma online no dia 30 de julho de 2020, em sua 3ª edição, reuniu participantes, entre palestrantes e ouvintes, de vários estados do país e representando várias Universidades e Instituições de Ensino.

O evento online trouxe novos desafios, mas também oportunizou a exploração de novas tecnologias, dinâmicas e metodologias, resultado do empenho dos membros organizadores em buscar soluções e inovações para que a transmissão do evento ocorresse com conexão estável, segura e com qualidade.

O SERENS de 2020 teve sua apresentação diferenciada em relação aos últimos eventos, pois, por conta da COVID-19, o evento ocorreu de forma virtual possibilitando a participação de profissionais de outras Instituições de referência na área de interesse do evento e do grupo de pesquisa. A proposta é que o próximo SERENS ocorra de forma mista, com parte virtual e uma outra parte presencial possibilitando que a participação de pesquisadores de outros estados do Brasil continue de forma expressiva.

A Comissão Organizadora do SERENS avalia o evento de forma positiva e enriquecedora profissionalmente cumprimentando a todos os pesquisadores que submeteram trabalhos, aos palestrantes convidados, aos professores mediadores,

intérpretes de libras, monitores e ao público ouvinte que prestigiou o evento.

A Organização do evento também recebeu sugestões dos participantes para o próximo SERENS, como salas de exposição de pôsteres, disponibilização de formulário de presença por trabalho apresentado permitindo a migração entre temáticas diferentes no mesmo horário, tempo maior para as apresentações e a possibilidade de ocorrer em dois dias.

Para edições futuras, a Comissão Organizadora tem a consciência de que as tecnologias digitais serão utilizadas como meio de motivar a participação de pesquisadores das diversas regiões do Brasil e eventualmente de outros países, num esforço de ampliação crescente do escopo da proposta do seminário, além de dinamizar as atividades e tornar o SERENS ainda mais atrativo para o público.

## AGRADECIMENTOS

A Comissão Organizadora agradece ao IFBA Campus Camaçari pela realização do SERENS, à TV IFBA pela transmissão no canal do Youtube, à COEX através da Profa Juliana Pains, ao setor de Comunicação através de Claudia Galante, aos intérpretes de Libras, monitores e à PROPEX / IFS.

## REFERÊNCIAS

CASAES, E. C. B. **Análise de climatização evaporativa em salas de aula através de simulações computacionais termoenergéticas**. Dissertação apresentada ao Mestrado em Energia da UNIFACS Universidade Salvador, Laureate International Universities, Salvador, 2018.

CUSTÓDIO, R. **Energia eólica para produção de energia elétrica**. 2ª edição. Editora Synergia. Rio de Janeiro: 2013.

FERREIRA, E. **Proposta de remuneração de mini e microgeração distribuída fundamentada em experiência do mercado de energia português**. Dissertação apresentada ao Mestrado em Energia da UNIFACS Universidade Salvador, Laureate International Universities, Salvador, 2018.

VILLALVA, M. G.; GAZOLI, J. R. **Energia solar fotovoltaica – Conceitos e aplicações – Sistemas isolados e conectados à rede**. Editora Érica. São Paulo: 2012.

PASQUALI, L. M. **Estudo sobre a influência da reserva hidráulica em sistemas de geração eólica isolados**. 2006. 67 p. Dissertação (mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

PEREIRA, F. **Energy storage systems (sistemas de armazenamento de energia)**. Neutro à Terra n. 12, p. 17-28, 2013. Disponível em: <https://parc.ipp.pt/index.php/neutroaterra/article/view/381>. Acesso em: 10 may. 2020

SANTOS, G. S. ; SAMPAIO, J.C. ; CARVALHO, J. P. S. . **Evolução da Energia Eólica na Bahia: Análise dos Dados Mensais de Janeiro a Dezembro de 2017**. Revista Scientia, v. 3, p. 44, 2018.

SANTOS, G. S. ; CARVALHO, J. P. S. ; SAMPAIO, J. C. . **Energia Eólica na Bahia: Evolução da Capacidade Instalada e em Construção de 2014 a 2018**. Revista Scientia, v. 4, p. 192, 2019.

## DIRT AND ABSORPTION TESTS IN PROTECTIVES FILMES APPLIED TO PHOTOVOLTAIC PANELS: A SYSTEMATIC REVIEW

*Data de aceite: 03/05/2021*

### **Luciano Teixeira dos Santos**

Faculdade de Tecnologia SENAI CIMATEC  
Salvador – BA

### **Alex Álisson Bandeira Santos**

Faculdade de Tecnologia SENAI CIMATEC  
Salvador – BA

### **Joyce Batista Azevedo**

Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Feira de Santana – BA

### **Paulo Roberto Freitas Neves**

Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Feira de Santana – BA

**ABSTRACT:** To mitigate the loss of efficiency of photovoltaic modules, protective films of polyethylene terephthalate with tin doped indium oxide (PET / ITO) may be a viable alternative. Thus, the article presents a review on the effect of the accumulation of dirt in photovoltaic modules and on the state of the art involving protective films made of PET / ITO. The review started in 2019 with a predominance of articles published abroad and in international journals. The results show that there are several studies on the effect of dirt on photovoltaic systems, but these are studies that do not take into account the comparison between studies done in the laboratory and in adverse conditions of the external environment such as rain, wind and film degradation.

**KEYWORDS:** PET / ITO films; Solar Panel; Efficiency; Dirt.

### ENSAIOS SOBRE SUJIDADE E ABSORÇÃO EM FILMES PROTETIVOS APLICADOS A PAINÉIS FOTOVOLTAICOS: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA

**RESUMO:** Para atenuar a perda de eficiência de módulos fotovoltaicos os filmes protetivos de politereftalato de etileno com óxido de índio dopado com estanho (PET/ITO) podem ser uma alternativa viável. Sendo assim o artigo apresenta uma revisão sobre o efeito do acúmulo de sujeidade em módulos fotovoltaicos e sobre o estado da arte que envolve filmes protetivos feitos de PET/ITO. A revisão foi iniciada no ano de 2019 com predominância de artigos publicados no exterior e em revistas internacionais. Os resultados mostram que existem diversos estudos sobre o efeito da sujeidade nos sistemas fotovoltaicos, mas se tratam de estudos que não levam em consideração a comparação entre estudos feitos em laboratório e em condições adversas do meio externo como chuva, vento e degradação do filme.

**PALAVRAS-CHAVE:** Filmes PET/ITO, Painel Solar, Eficiência, Sujidade.

## 1 | INTRODUCTION

The use of solar energy for the generation of electrical energy brings benefits to its users, as it generates credit on the electric bill, causing a reduction in the invoice and providing a worthwhile investment in 3 years. It is known that on average, photovoltaic modules (PV)

have a useful life 25 years, that is, for 22 years consumers take advantage of their benefits. With a relatively large list of benefits, solar energy photovoltaic will probably be considered larger than any other renewable technology in the near future. The main advantages of energy can be related to its use, since it is considered a primary source of constant, free and relatively inexhaustible energy [1]. When doing a more detailed analysis, it is noticed that in some cases a return on investment occurs from the first 4 years of a long useful life [2]. This makes your equipment and installation are paid well before their “expiration date” through this economy. No other source of energy has grown as photovoltaic solar system in the recent past. Between the years 2010 and 2016 the solar energy presented an average annual growth of 40%, jumping from installed power from less than 50 GW in 2010 to more than 320 GW in the end of 2016 [3].

Dirt on the surface of PV modules is a growing concern due to decreased electricity production from a solar installation photovoltaic. What has happened is that the expansion of solar markets is growing in desert areas and also in large metropolises, areas that not only have the greatest availability of solar resources, but also also the most critical dirt problems, as the PV modules are more exposed to dust in these mentioned areas [4]. The dust that is deposited on the photovoltaic generator can present different aspects, varying in relation to the locality. In the case of centers urban areas, the carbon composition is remarkable, due to vehicle emissions automotive, presenting sticky texture, which adheres to the surface of the module [4].

In such cases, even with maintenance measures for cleaning the modules, it is difficult to remove this type of dirt. Besides that, even in cases where the system is installed in remote regions, remote from urban centers, the installation can be in a place of difficult access, preventing periodic cleaning [4]. Therefore, the way the problem works, the understanding and mitigation are important factors to avoid any misunderstanding in the dimensioning and implantation of a solar installation. The problem of dirt is not limited to areas of severe climate, but also losses significant differences can be found in areas with tropical environments and tempered [4]. It is necessary to highlight that the Northeast of Brazil has great potential related to the generation of electric energy from solar energy. This happens, due to the fact that much of the territory comprising this region is located in a range where the incidence of ultraviolet rays reaches one of the highest levels in the world during the year [5]. Compared to countries like Spain and Germany, Brazil, especially the Northeast region, presents high values of global solar irradiation. So it is It is necessary to explore this potential of the Brazilian Northeast in order to plan and find ways to encourage solar technology in this region by providing economic development and contributing to an energy matrix more sustainable [5].

Therefore, it is clear that the Northeast of Brazil presents a great potential in terms of solar resource. However, this region of Brazil is still there is a need for studies that analyze local aspects, as the influence of climate and environmental characteristics can cause

different impacts, which are peculiar to the region, in the performance of a PV module [4].

## 2 | METHODOLOGY

The methodology aims to build a systematic review of work works that deal with protective films applied to photovoltaic panels to increase performance. The study carried out considered the research sources listed in Table 1 right after.

RESEARCH SOURCES USED
Science Direct
Capes Journals
Academic Google

Table 1. Research sources used for the selection of publications.

For the Science Direct research source, the keywords were added in english to obtain the articles. The selection of publications that started on 10/30/2019 and considered the period from october 2019 until the beginning of 2020. The analysis of the publications identified was carried out according to the phases defined in Figure 3.3 immediately afterwards.

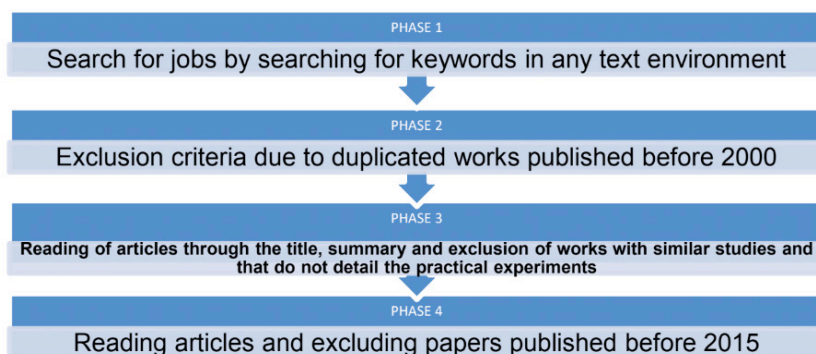


Figure 1. Phases of inclusion, exclusion and prioritization of scientific articles.

As shown in Figure 1, Phases 1, 2 and 3 determine the inclusion or exclusion criteria and Phase 4 determines the prioritization, exclusion and selection criteria for articles classified after Phase 3. The results of the selection of publications, after the the phases defined in Figure 1 are shown in Table 2 below.



SOURCES	PHASE 1	PHASE 2	PHASE 3	PHASE 4
Science Direct	153	137	57	17
Capes Journals	4	0	0	0
Academic Google	13	0	0	0

Table 2. Result of the selection of publications, after performing the Phases.

The qualitative analysis of the selected works that reached Phase 4 was performed based on the answers to pre-determined questions (P), attributing the answers “Yes (value 1)”, “Partial (value 0.5)” and “No (value 0)”. Therefore, the higher the value of the selected article, the more it is aligned and relevant to the research content. The questions selected for the study were:

**P1:** Is an analysis carried out on the reduction of dirt deposition on the photovoltaic module?

**P2:** Is a method applied to mitigate the loss of efficiency of the photovoltaic module?

**P3:** In the applied method, is a polymeric film used and its degradation evaluated?

### 3 | RESULTS AND DISCUSSION

The result of the selection of publications after Phase 4 shows that, to date, a total of 17 articles have been prioritized, all from the research source Science Direct. Table 3, right after, represents the result of the selection of publications for the proposed study.

N°	TITLE OF THE ARTICLE	QUESTIONS				REFERENCE
		P1	P2	P3	Total	
1	Indium-tin oxide thin films deposited at room temperature on glass and PET substrates: Optical and electrical properties variation with the H <sub>2</sub> -Ar sputtering gas mixture.	0	0,5	0	0,5	[6]
2	An all-thinfilm inorganic electrochromic device monolithically fabricated on flexible PET/ITO substrate by magnetron sputtering.	0	0,5	0	0,5	[7]
3	ITO and AZO films for low emissivity coatings in hybrid photovoltaic-thermal applications.	0,5	0,5	0	1	[8]
4	Technical and economic assessment of cleaning protocol for photovoltaic power plants: Case of Algerian Sahara sites.	0,5	1	0	1,5	[9]
5	Na integrated review of factors influencing the performance of photovoltaic panels.	0,5	1	0	1,5	[10]
6	Experimental study of factors affecting dust accumulation and their effects on the transmission coefficient of glass for solar applications.	1	0,5	0	1,5	[11]

7	Experimental evaluation of the performance and degradation of single crystalline silicon photovoltaic modules in the Saharan environment	0,5	0	0	0,5	[12]
8	Reducing the effect of dust deposition on the generating efficiency of solar PV modules by super-hydrophobic films.	1	1	0	2	[13]
9	The effect of environmental factors and dust accumulation on photovoltaic modules and dust-accumulation mitigation strategies.	1	0,5	0	1,5	[14]
10	Low temperature sputtered ITO on glass and epoxy resin substrates: influence of process parameters and substrate roughness on 33 morphological and electrical properties.	0,5	0	0	0,5	[15]
11	Experimental Study on the Effect of Dust Deposition on Photovoltaic Panels.	1	0,5	0	1,5	[16]
12	The Controllable Deposition Of Large Area Roll-To-Roll Sputtered Ito Thin Films For Photovoltaic Applications.	0	0,5	0	0,5	[17]
13	13.5% flexible organic solar cells achieved by robust composite ITO/PEDOT:PSS electrodes.	0	0,5	0	0,5	[18]
14	Measuring factors influencing performance of rooftop PV panels in warm tropical climates.	0,5	0,5	0	1	[19]
15	Cost effective cooling of photovoltaic modules to improve efficiency. Case Studies in Thermal Engineering.	0	0,5	0	0,5	[20]
16	A review of anti-reflection and selfcleaning coatings on photovoltaic panels.	0,5	0,5	0	1	[21]
17	Dust Deposition can Focus Light at a Limited Distance on Photovoltaic Panels.	0,5	1	0	1,5	[22]

Table 3. Prioritization of articles after the criteria defined in Phase 4.

Among the seventeen articles that are in line with the proposed research, three articles can be highlighted for this work, which will be summarized shortly thereafter. In [22] a study of the effect of focus light on photovoltaic cells is carried out to reduce the negative effect of particle deposition. One of the results shows that the received solar radiation was 10 times more intense than in the direct form, which can be obtained from the effect of focusing light on the deposition of particles. In addition, some special coating structures can be designed to exploit this valuable effect in order to manufacture more efficient modules.

The article proposed in [13] studied the effect of dust deposition on the efficiency of generating PV modules by superhydrophobic films. The films based on fluorine and silicon were compared, evaluating the effect of dust deposition on PV coated with superhydrophobic films and how they act on the efficiency of generating photovoltaic panels. Silicon-based films showed better results and the authors found that super-hydrophobic films can reduce the accumulation of dirt and improve the conversion efficiency of photovoltaic modules. However, despite this, the study did not analyze the effect of film degradation on the

performance of photovoltaic modules.

The authors of [16] carried out an evaluation of the performance of solar cells under the effect of dirt. The proposed method for depositing dirt was based on dust densities, which varied from 10 g / m<sup>2</sup>, 20 g / m<sup>2</sup> and 30 g / m<sup>2</sup>. The field results show that the increase in dust density causes a decrease in the electrical parameters of the photovoltaic cell, interfering with its performance. Importantly, the study shows that when the density of the powder reaches a certain degree of concentration, the conversion efficiency tends to be stable and very similar to a saturation phenomenon.

## 4 | CONCLUSION

As can be seen from the results in Table 3, the theme in question this issue has been increasingly object of interest to researchers. At the however, the analysis in Table 3 also shows that no publications that carried out tests on dirt and absorption of PV modules with the application of PET / ITO films and neither evaluated their degradation. This can be seen by observing that none of the selected articles fitted with question P3, demonstrating the originality of the proposed theme. It is worth noting that the selection of these publications makes a contribution to the formulation of the state of the art of this study, which can serve as a contribution and aid to other studies involving the proposed theme.

## ACKNOWLEDGMENTS

The authors would like to thank SENAI CIMATEC for the technological support provided.

## REFERENCES

- 1 SANTOS, P.; SILVA, C.M.G. Estudo da Expansão da Energia Solar Fotovoltaica no Brasil: benefícios ambientais e incentivos públicos. **10º Congresso de Inovação, Ciência e Tecnologia do IFSP**, 2019.
- 2 KALINE, C.; CARVALHO, E.K.S.; BARBOSA, L.T.; SANTOS, G.F.A. Uso da energia solar fotovoltaica como alternativa de economia e sustentabilidade: estudo de caso em residência em Palmas – TO. **Congresso Técnico e Científico da Engenharia e da Agronomia, Palmas - TO**, 2019.
- 3 FRAUNHOFER, Institute for Solar Energy Systems, ISE. Photovoltaics Report. **Relatório técnico**. Disponível em: [www.ise.fraunhofer.de](http://www.ise.fraunhofer.de). Acessado em 19 de abril de 2020.
- 4 HICKEL, B.; DESCHAMPS, E.; NASCIMENTO, L.; RUTHER, R.; SIMÕES, G. Análise do acúmulo de sujeira sobre diferentes tecnologias de módulos FV: revisão e medições de campo. **VI Congresso Brasileiro de Energia Solar**. Belo Horizonte, 2016.
- 5 NASCIMENTO, A. Energia Folar Fotovoltaica: Estudo e Viabilidade no Nordeste Brasileiro. **Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção**. Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa - PB, 2015.

- 6 ÁLVAREZ, Fraga; VILLACORTA, Jiménez; MARCOS, Sánchez; ANDRÉS, A.; PRIETO, C. Indium-tin oxide thin films deposited at room temperature on glass and PET substrates: Optical and electrical properties variation with the H<sub>2</sub>-Ar sputtering gas mixture. **Applied Surface Science**, v. 344, p. 217–222, 2015.
- 7 LIU, Q.; DONG, G.; XIAO, Y.; GAO, F.; WANG, M.; WANG, Q.; DIAO, X. An allthin- film inorganic electrochromic device monolithically fabricated on flexible PET/ITO substrate by magnetron sputtering. **Materials Letters**, v. 142, p. 232–234, 2015.
- 8 ÁLVAREZ, Diego Alonso; LLIN, Lourdes Ferre; MELLOR, Alexander; PAUL, Douglas, J.; NICHOLAS, J.; DAUKES, Ekins. ITO and AZO films for low emissivity coatings in hybrid photovoltaic-thermal applications. **Solar Energy**, v. 155, p. 82–92, 2017.
- 9 FATHI, M.; ABDERREZEK, M.; GRANA, P. Technical and economic assessment of cleaning protocol for photovoltaic power plants: Case of Algerian Sahara sites. **Solar Energy**, v. 147, p. 358–367, 2017.
- 10 FOUARD, M.; Shihata, L.; Morgan, E. **An integrated review of factors influencing the performance of photovoltaic panels**, 2017.
- 11 GHOLAMI, A.; SABOONCHI, A.; ALEMRAJABI, A. A. Experimental study of factors affecting dust accumulation and their effects on the transmission coefficient of glass for solar applications. **Renewable Energy**, v. 112, p. 466–473, 2017.
- 12 BOURAIOU, A.; HAMOUDA, M.; CHAKER, A.; LACHTAR, S.; NEÇAIBIA, A.; BOUTASSETA, N.; MOSTEFAOUI, M. Experimental evaluation of the performance and degradation of single crystalline silicon photovoltaic modules in the Saharan environment. **Energy**, v. 132, p. 22–30, 2017.
- 13 WANG, P.; XIE, J.; NI, L.; WAN, L.; OU, K.; ZHENG, L.; SUN, K. Reducing the effect of dust deposition on the generating efficiency of solar PV modules by super-hydrophobic films. **Solar Energy**, v. 169, p. 277–283, 2018.
- 14 SAID, S. A. M.; HASSAN, G.; WALWIL, H. M.; AI AQEELI, N. The effect of environmental factors and dust accumulation on photovoltaic modules and dustaccumulation mitigation strategies. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 82, p. 743–760, 2018.
- 15 BRAGAGLIA, M.; LAMASTRA, F. R.; TULUI, M.; GASPARE, L.; NOTARGIACOMO, A.; VALENTINI, M.; NANNI, F. Low temperature sputtered ITO on glass and epoxy resin substrates: influence of process parameters and substrate roughness on morphological and electrical properties. **Surfaces and Interfaces**, 2019.
- 16 CHEN, Y.; LIU, Y.; TIAN, Z.; DONG, Y.; ZHOU, Y.; WANG, X.; WANG, D. Experimental Study on the Effect of Dust Deposition on Photovoltaic Panels. **Energy Procedia**, v. 158, p. 483–489, 2019.
- 17 DEMIRHAN, Y.; KOSEOGLU, H.; TURKOGLU, F.; UYANIK, Z.; OZDEMIR, M.; AYGUN, G.; OZYUZER, L. The Controllable Deposition Of Large Area Roll-To-Roll Sputtered Ito Thin Films For Photovoltaic Applications. **Renewable Energy**, 2019.
- 18 LEI, T.; PENG, R.; HUANG, L.; SONG, W.; YAN, T.; ZHU, L. 13.5% flexible organic solar cells achieved by robust composite ITO/PEDOT:PSS electrodes. **Materials Today Energy**, v. 14, 2019.

19 PINTO, G.; PLATA, G. Measuring factors influencing performance of rooftop PV panels in warm tropical climates. **Solar Energy**, v. **185**, p. **112–123**, 2019.

20 SAJJAD, U.; AMMER, M.; MUHAMMAD, A.; DASHIYA, A.; ABBAS, N. Cost effective cooling of photovoltaic modules to improve efficiency. *Case Studies in Thermal Engineering*, 2019.

21 SARKIN, A. S.; EKREN, N.; SAGLAM, Ş. A review of anti-reflection and selfcleaning coatings on photovoltaic panels. **Solar Energy**, v. **199**, p. **63–73**, 2020.

22 LI, X.; LIU, T.; WANG, J.; XU, L.; ZHANG, Z. Dust Deposition can Focus Light at a Limited Distance on Photovoltaic Panels. **Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer**, 2020.

## DISPOSITIVOS PARA DETERMINAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE CRISTAIS DE GELO EM SOLUÇÃO DE GELO LÍQUIDO

*Data de aceite: 03/05/2021*

*Data de submissão: 05/02/2021*

### **Ricardo Santos Nascimento**

Universidade Estadual de Feira de Santana,  
Departamento de Tecnologia  
Feira de Santana – BA  
<http://lattes.cnpq.br/8420435332132482>

### **Rennan Yie Yassu Nishimori**

Universidade Estadual de Campinas,  
Faculdade de Engenharia de Alimentos,  
Departamento de Engenharia de Alimentos  
Campinas – SP  
<http://lattes.cnpq.br/0392448585069223>

### **Vivaldo Silveira Junior**

Universidade Estadual de Campinas,  
Faculdade de Engenharia de Alimentos,  
Departamento de Engenharia de Alimentos  
Campinas – SP  
<http://lattes.cnpq.br/3974473071197646>

**RESUMO:** O gelo líquido, também conhecido como pasta de gelo ou “ice slurry”, é um termo empregado para misturas contendo cristais de gelo em uma solução no estado líquido. O gelo líquido é uma tecnologia nova que tem mostrado grande potencial energético, pela sua capacidade de transportar energia como fluido térmico e armazenar “frio” por energia latente de fusão. Para que haja um controle eficiente do transporte dessa energia no gelo líquido, se faz necessário um sistema de medição da concentração de cristais de gelo de maneira

rápida e precisa. O objetivo desse trabalho foi desenvolver um dispositivo capaz de mensurar a concentração de cristais de gelo em solução de gelo líquido. Nesse trabalho foram utilizados três princípios de medições: velocidade do som do fluido, condutividade elétrica e refração da luz. As medições foram realizadas com a solução em batelada, ou seja, sem vazão mássica. Para análise de viabilidade técnica foram realizadas medidas com uma solução modelo que simulasse a presença de micropartículas em solução. A solução modelo foi produzida com amido e microesferas de vidro, cuja concentração referencial foi determinada pela fração mássica de microesferas, enquanto a solução de gelo líquido foi produzida com água-etanol, cuja concentração referencial foi determinada pelo método de Calorimetria. Os experimentos de medições demonstraram tendências diretamente proporcionais a concentração de partículas e de cristais de gelo. Os resultados comprovaram a viabilidade e praticidade no desenvolvimento de um dispositivo capaz de medir concentração de cristais de gelo em solução de gelo líquido.

**PALAVRAS-CHAVE:** Sistema de medição, Gelo líquido, Ultrassom, Condutividade, Refração.

### DEVICES FOR DETERMINING THE CONCENTRATION OF ICE CRYSTALS IN LIQUID ICE SOLUTION

**ABSTRACT:** Liquid ice, also known as ice slurry, is a term used for blends containing ice crystals in a liquid solution. Liquid ice is a new technology that has shown great energy potential, for its ability to transport energy as a thermal fluid and to store “cold” by latent fusion energy. In order to

have an efficient control of the energy transport in the liquid ice, a fast and precise system of measuring the concentration of ice crystals is necessary. The objective of this project was to develop a device capable of measuring the concentration of ice crystals in liquid ice solution. In order to realize, three principles of measurement were used: the sound velocity on fluid, electrical conductivity and light refraction. The measurements were carried out with the solution in batch, in other words, without mass flow. For technical feasibility analysis, measurements were made with a model solution that simulated the presence of microparticles in solution. The model solution was produced with starch and glass microspheres, whose referential concentration was determined by the microsphere mass fraction, while the liquid ice solution was produced with water-ethanol, whose reference concentration was determined by the Calorimetry method. Measurement experiments showed trends directly proportional of particles concentration and ice crystals. The results proved the feasibility and practicality in the development of a device capable to measure the concentration of ice crystals in liquid ice solution.

**KEYWORDS:** Measuring system, Liquid ice, Ultrasound, Conductivity, Refraction.

## 1 | INTRODUÇÃO

Segundo Medeiros (2010) o gelo líquido é uma tecnologia nova que tem mostrado grande potencial energético: além de transportar energia como fluido térmico, possui propriedade termoacumuladora pela presença de cristais de gelo, armazenando “frio” pela energia latente de fusão. Ele também tem um resfriamento rápido pois possui grande área de transferência de calor criada pela sua alta quantidade de partículas (KAUFFELD et al., 2010).

Sistemas de resfriamento com gelo líquido têm sido instalados em várias construções com o propósito de condicionamento de ar. Na maioria dos casos, os sistemas de produção de gelo líquido estão combinados com um sistema de termo-acumulação para armazenar energia durante a noite e usar durante o dia para satisfazer os picos de carga. O resultado são economias operacionais que podem ser feitas onde tarifas de pico de eletricidade estão presentes (BELLAS 2005).

Atualmente, torna-se importante a determinação da quantidade de sólidos presentes nas soluções de gelo líquido, de forma a avaliar instantaneamente a capacidade térmica do fluido. O equipamento ideal para essa medição deve ser preciso, com baixo tempo de resposta e economicamente viável.

Neste trabalho foram utilizados os métodos de calorimetria, ultrassom e condutividade elétrica a fim de determinar a concentração de cristais no gelo líquido. Existem obras que fazem referência ao uso desses métodos e comprovam a viabilidade dos mesmos.

Segundo Ticono (2003) e Hansen e Kauffeld (2001), várias propriedades termo físicas do gelo líquido podem ser usadas para determinar a concentração do gelo, sabendo se que as propriedades do gelo líquido diferem significativamente do gelo puro. As propriedades termo físicas do gelo líquido podem, em muitos casos, serem deduzidas por ponderação

linear das propriedades do gelo e do líquido. Em seus trabalhos publicados, foram feitas medição de concentração pelo método calorimétrico. Neste método o processo apresentou baixo custo, porém a retirada da amostra causava distúrbio na vazão do processo.

Trabalhos com sensores de ultrassom demonstram ser uma metodologia eficaz na medição de concentrados em soluções. No trabalho apresentado por Langlois (2011) foi demonstrado um método com ultrassom capaz de medir com precisão a concentração de partículas em gelo líquido.

Este trabalho tem como objetivo desenvolver um dispositivo de leitura de concentração de cristais de gelo líquido em estado estático, por métodos de ultrassom, condutividade e refração.

## **2 I METODOLOGIA EXPERIMENTAL**

Para análise da viabilidade técnica, dos equipamentos de leitura utilizados, foi desenvolvida uma solução modelo com presença de microesferas de vidro em suspensão com concentrações até 30% de microesferas, considerando o limite operacional do gelo líquido que é de 30% de cristais de gelo. As leituras feitas na solução modelo foram realizadas em batelada, em temperatura ambiente de 28°C, após homogeneização da solução por agitação. Todas as leituras foram realizadas em triplicatas. Os métodos de leitura utilizados foram o ultrassom e a condutividade. O refratômetro não foi aplicado a solução modelo por inviabilidade operacional do equipamento.

Após confirmação da viabilidade técnica dos equipamentos foi feita a leitura de concentração em solução de gelo líquido. Os testes com o gelo líquido foram realizados em duas metodologias, a primeira foi realizada a medição direta dos particulados de cristais de gelo enquanto a segunda foi realizada medições indiretas através do fluido transportador, ou seja por meio da concentração do aditivo anticongelante na fase líquida do gelo líquido.

Em cada metodologia de medição foi estabelecido a correlação da leitura pela concentração por meio de modelos matemáticos. A modelagem matemática foi realizada por equações de regressão que estabelecem a correlação do valor medido pelo equipamento de medição em função da concentração de particulados (microesferas na solução modelo ou cristais de gelo na solução de gelo líquido).

## **3 I DESCRIÇÃO DOS EQUIPAMENTOS DE MEDIÇÃO**

Em busca de desenvolver um dispositivo de medição de concentração com características de baixo custo e ainda assim preciso, foram utilizados equipamentos de fácil operação e disponível em laboratórios de pesquisa.

As medições da velocidade do som do fluido foram realizadas através de um medidor de vazão, da marca pFlow, modelo P118 Ultrasonic transit-time flowmeter. Cujos



transdutores são montados do lado externo do tubo, arranjo clamp-on, com transmissão indireta, refletida na parede do tubo, com trajetória em “Z”, conforme Fig.1. Os transdutores foram instalados numa tubulação de CPVC de 28mm e foram calibrados com água destilada em temperatura ambiente de 28°C.

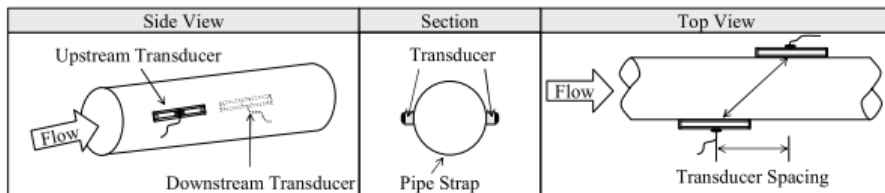


Figura 1. Posicionamento do sensor de ultrassom com trajetória em “Z”.

Fonte: (PFLOW, 2014, p. 13).

As medições da condutividade térmica foram realizadas num condutivímetro de bancada micro processado, da marca Quimis, modelo Q-795M2, com resolução de  $0,1\mu\text{S}$ , precisão de  $\pm 10\mu\text{S}$  (0,5% do fundo de escala), reprodutibilidade de  $\pm 3\mu\text{S}$  (0,15% do fundo de escala) e estabilidade de  $\pm 6\mu\text{S}$  (0,3% do fundo de escala). O transdutor usado foi uma célula de constante  $K=0,818$  de platina, com compensação automática de temperatura.

As medições de refração da luz foram realizadas no refratômetro de bancada, da marca Carl Zeiss, com faixa de medição de 1,3 a 1,7 índice de refração e de 0 a 95°Brix. A resolução do instrumento é de  $\pm 0,0005\text{nD}$  (índice de refração), de  $\pm 0,25^\circ\text{Brix}$  (para escala  $<50^\circ\text{Brix}$ ) e de  $\pm 0,005^\circ\text{Brix}$  (para escala  $>50^\circ\text{Brix}$ ). As medidas foram feitas por luz refletida com prisma de iluminação em temperatura controlada por um banho térmico estabilizado em 20°C.

As medições pelo método de calorimetria foram realizadas em garrafas térmicas de 5 litros, cujos valores da capacidade térmica de cada garrafa, foram determinados experimentalmente em laboratório.

#### 4 | PRODUÇÃO DA SOLUÇÃO MODELO

A solução modelo foi produzida com o objetivo de ter uma solução com partículas de diâmetro e concentrações conhecidas, para análise de viabilidade técnica dos sensores utilizados nas medições de concentrações de particulados. A solução modelo foi preparada pelo método de gelatinização do amido em água, por meio de aquecimento da solução, para isso foi utilizado 7,4% de amido de milho. Essa concentração de amido foi estabelecida experimentalmente de forma a manter as partículas em suspensão, com o mínimo de interferência possível nas medidas de concentração de partículas.

As partículas utilizadas na solução modelo são microesferas de vidro, da marca

Plotters Industrial, tipo 3R, com diâmetros de 0,8mm  $\pm$ 0,1mm.

A determinação da concentração de microesferas na solução modelo foi feita com referência na fração mássica do volume de esferas misturado na solução de amido gelatinizada.

## 5 | PRODUÇÃO DO GELO LÍQUIDO

O gerador de gelo líquido é da marca Shiguen, modelo GGL-3, instalada no Laboratório de Automação e Controle de Processos de Alimentos (LACPA) da Faculdade de Engenharia de Alimentos (FEA) da Unicamp, Campinas-SP. O equipamento é composto por um tanque reservatório de gelo líquido, dois raspadores horizontais em série, e uma unidade condensadora da marca Bitzer, modelo, LH 144/4DC-7.2, composta por um motor, compressor e um condensador.

O ponto de congelamento do gelo líquido depende muito do aditivo anticongelante utilizado (álcool, propileno glicol e sal) e da concentração utilizada. Nesse trabalho o aditivo usado na formação do gelo líquido foi o álcool etílico, com concentração de 3,65°INPM. Esse aditivo foi escolhido devido ao seu baixo custo, quando comparado com outros tipos de álcoois e por não gerar corrosão nos equipamentos, como acontece quando se usa sais.

O ponto de congelamento para a solução água e álcool etílico, foi determinado experimentalmente analisando a variação de temperatura de diferentes concentrações, conforme demonstrado na Fig.2, nessa análise o ponto inicial de congelamento na concentração de 3,65°INPM é de -1,7°C. Observe que o supercongelamento da solução água-etanol ocorre antes da formação das primeiras partículas de gelo, em temperaturas até 3°C abaixo da temperatura de congelamento.

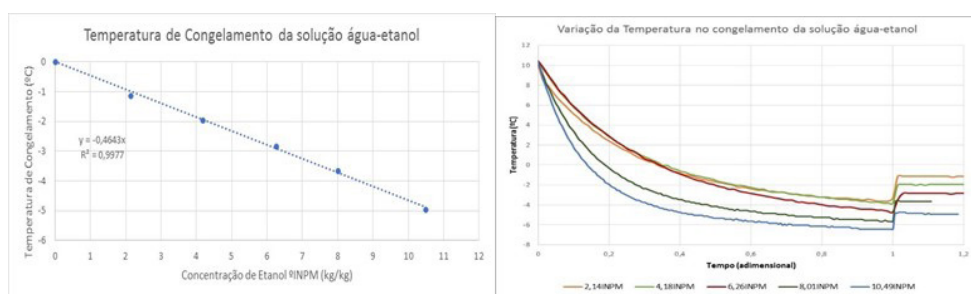


Figura 2. Gráfico de dispersão da temperatura de congelamento da solução água-etanol versus concentração de etanol (a esquerda), e gráfico de variação da temperatura no congelamento de soluções água-etanol com diferentes concentrações (a direita).

As partículas de gelo no gelo líquido são constituídas de água pura enquanto que a fase líquida é composta por água e aditivo. A medida que a o gelo é formado, a

concentração de cristais de gelo aumenta e conseqüentemente a quantidade de aditivo também é aumentada na fase líquida remanescente, denominada também como fluido transportador.

Segundo Hansen e Kauffeld (2001) a concentração do aditivo ( $X_{af}$ ) na fase líquida remanescente pode ser calculada pela Eq.1, onde ( $X_{0af}$ ) é a concentração inicial de aditivo na solução de gelo líquido sem gelo e ( $X_{ice}$ ) é a concentração de cristais de gelo.

$$X_{af} = \frac{X_{0af}}{1 - X_{ice}} \quad (1)$$

Durante a produção do gelo líquido a concentração de cristais de gelo é uma variável de processo não controlada, podendo variar com o tempo de funcionamento do equipamento, quanto mais tempo o gelo líquido recircular nos raspadores, maior será a concentração de cristais de gelo.

A produção do gelo líquido nesse trabalho foi limitada a uma concentração menor que 30% de cristais de gelo, pois concentrações muito altas de cristais de gelo torna o transporte não recomendado, devido a aglomeração e obstrução nas curvas das tubulações.

A determinação da concentração de cristais de gelo na solução de gelo líquido foi determinada pelo método de calorimetria, através do cálculo do balanço de energia, do equilíbrio térmico entre a solução de gelo líquido misturada a uma mesma solução aquecida. A concentração de cristais de gelo ( $X_{GL}$ ) é determinada pela equação Eq.2.

$$X_{GL} \cdot M_{GL} \cdot h_G + M_{GL} \cdot Cp_{GL} \cdot (T_f - T_{GL}) = M_{SQ} \cdot Cp_{SQ} \cdot (T_f - T_{SQ}) + C_{garrafa} \cdot (T_f - T_{SQ}) \quad (2)$$

onde,  $X_{GL}$  : Fração mássica de cristais de gelo,  $M_{GL}$  : Massa total da solução do gelo líquido,  $M_{SQ}$  : Massa total da solução quente,  $h_G$  : Calor latente do gelo,  $Cp_{GL}$  : Calor específico da solução água e álcool,  $Cp_{SQ}$  : Calor específico da solução quente,  $C_{garrafa}$  : Capacidade térmica da garrafa,  $T_{GL}$  : Temperatura do gelo líquido,  $T_{SQ}$  : Temperatura final da solução quente, e  $T_f$  : Temperatura final de equilíbrio.

## 6 | CARACTERIZAÇÃO DOS SENSORES

A área de instrumentação e controle de processos utiliza uma terminologia própria, que além de definirem as características do sistema de medição e controle também definem as características estáticas e dinâmicas dos diversos instrumentos utilizados (INSTRUMENTAÇÃO, 2011).

Nesse trabalho as características dos instrumentos de medição, analisadas para a leitura de concentração foram: a repetibilidade, sensibilidade, precisão, linearidade, alcance e a resolução.

A repetibilidade é a capacidade de reprodução da indicação ao se medir, repetidamente, valores idênticos da variável medida, nas mesmas condições de operação e no mesmo sentido de variação (INSTRUMENTAÇÃO, 2011).

A sensibilidade (ou ganho) é a razão entre o sinal de saída e de entrada para um dado sensor ou transdutor. A sensibilidade está ligada à relação entre uma variação na grandeza de entrada ( $\Delta S$ ) em questão e a variação na medida de saída fornecida pelo instrumento ( $\Delta E$ ). Um sensor muito sensível é aquele que fornece uma variação na saída para uma pequena variação da grandeza medida (THOMAZINI, 2011). A sensibilidade ( $S$ ) pode ser retirada da curva de calibração, por meio da Eq.3.

$$S = \frac{\Delta S}{\Delta E} \quad (3)$$

A precisão é a qualidade que caracteriza a capacidade de um instrumento de medição fornecer a mesma leitura quando mede respectivamente a mesma quantidade sob as mesmas condições, não importando a concordância ou a discrepância entre o resultado e o valor medido. Segundo Ordonez (2006) o percentual da precisão ( $p$ ) pode ser calculada pela Eq.4 a Eq.8.

$$p(\%) = 100\% - PE(\%) \quad (4)$$

$$PE(\%) = \left( \frac{PE}{\bar{X}} \right) \quad (5)$$

$$PE = 2dp \quad (6)$$

$$dp = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (X_j - \bar{X})^2}{n}} \quad (7)$$

$$\bar{X} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n} \quad (8)$$

Onde o provável erro (PE) corresponde ao dobro do desvio padrão ( $dp$ ), e este é calculado através da média aritmética ( $\bar{X}$ ) e do total de número ( $n$ ) de medidas ( $x$ ).

A linearidade é a curva obtida ao plotar os valores medidos por um transdutor sob teste contra os valores de um padrão. O sensor ou transdutor é linear quando as medidas de variações iguais de grandeza física geram variações iguais de sinal na saída do sensor.

O alcance representa a faixa de valores de entrada de um transdutor. É a diferença algébrica entre os valores superior e inferior da faixa de medida do instrumento (INSTRUMENTAÇÃO, 2011).

De acordo com Ordonez (2006) a resolução é a variação mínima na entrada que produz uma variação detectável na saída.

## 7 | RESULTADOS

Os resultados das leituras de condutividade elétrica na solução modelo, apresentaram valores de condutividade diretamente proporcionais com relação ao aumento de concentrações de microesferas, com curva de tendência linear, conforme pode ser visto na Fig. 3, e cálculo de erro provável máximo de 1% do valor medido.

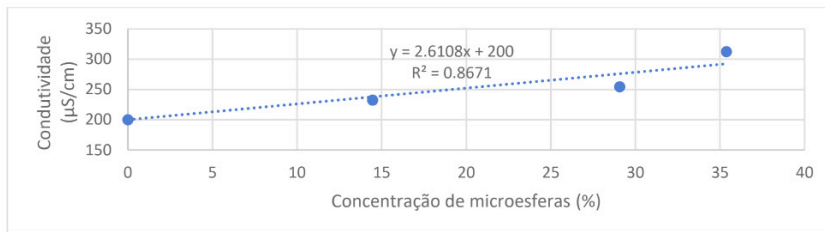


Figura 3. Gráfico de dispersão da Condutividade elétrica na Solução Modelo em diferentes concentrações de microesferas, com Curva de Tendência Linear e sua respectiva equação de regressão.

Os resultados das leituras de velocidade do som da solução modelo, apresentaram valores de condutividade proporcionais com relação ao aumento de concentrações de microesferas, com curva de tendência polinomial de 2º grau, conforme pode ser visto na Fig. 4, e cálculo de erro provável máximo de 0,2% do valor medido. O equipamento de leitura da velocidade do som do fluido apresentou restrições técnicas de leitura acima de 8% de concentração, pois a partir desse ponto o sensor do ultrassom exibiu uma baixa qualidade do sinal, inviabilizando a leitura.

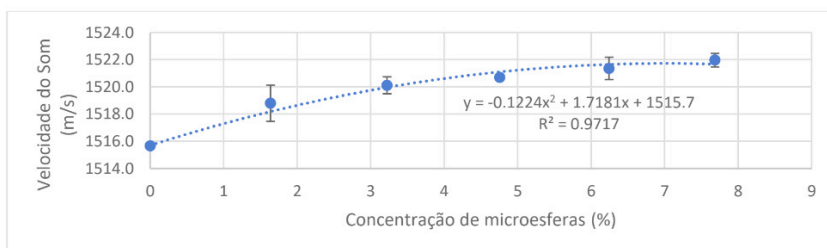


Figura 4. Gráfico de dispersão da Velocidade do som na Solução Modelo em diferentes concentrações de microesferas, com Curva de Tendência Polinomial e sua respectiva equação de regressão.

Dentre as condições analisadas, e diante os modelos matemático obtido pelas a equações de regressão em cada equipamento de leitura, foi possível determinar as características dos sensores, de ultrassom e de condutividade, para a leitura de concentração de microesferas na solução modelo, conforme Tab.1.

	Condutímetro	Ultrassom
Sensibilidade	2,61 condutividade/ concentração	0,86 velocidade do som/concentração
Faixa de leitura	0 a 35% concentração microesfera	0 a 7% concentração microesfera
Alcance	35% concentração microesfera	7% concentração microesfera
Precisão	98,93% (valor medido)	99,84% (valor medido)
Resolução	0,4% concentração microesfera	0,03% concentração microesfera
Linearidade	Linear	Não linear
Repetibilidade	Ruim	Boa

Tabela 1. Características dos instrumentos de medição, utilizado na leitura de concentração de

Embora a leitura da concentração de microesferas, pelo método do ultrassom, esteja limitada a 7%, este método foi o que apresentou uma maior precisão e melhor resolução na leitura de concentração.

Usando o modelo de regressão, estimado nas Fig.3 e Fig.4, foi possível construir o gráfico de resíduo versus concentração de microesferas da Fig.5. A análise comparativa entre esses dois gráficos demonstra que o método do ultrassom possui os menores índices de resíduo, com valor máximo de 0,97 e média de 0,46. Enquanto que pelo método do condutímetro o valor máximo de resíduo foi de 8,26 e média de 4,5.

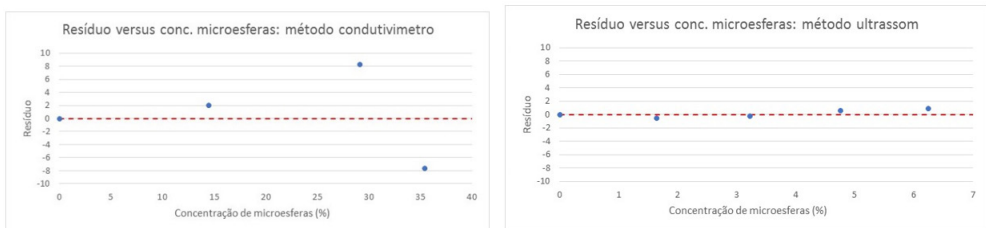


Figura 5. Gráfico de resíduo do modelo de regressão versus valores ajustado pelas respectivas equações de regressão criada pela leitura de condutividade (gráfico da esquerda) e velocidade do som (gráfico da direita).

Com experimentos realizados em bancada, identificamos que os sensores possuíam uma sensibilidade necessária para a leitura da variação de particulados, em concentrações até 10% com ultrassom e até 35% com o condutímetro, na solução modelo. Considerando que a solução modelo possui uma viscosidade e densidade maior que a solução de gelo líquido, e considerando que a concentração de cristais de gelo na solução de gelo líquido é limitada a 30%, os resultados com a solução modelo demonstraram que os sensores utilizados são úteis na medição de concentração do gelo líquido.

Os experimentos realizados com gelo líquido pela primeira metodologia, com presença de particulados de cristais de gelo, não obteve resultados satisfatórios. A

solução de gelo líquido em repouso tende a concentrar a fase sólida, os cristais de gelo, na superfície da solução inviabilizando a leitura de concentração por meio dos sensores, e quando a solução era submetida a uma agitação, para homogeneizar as duas fases, gerava interferências e oscilações nas leituras que tornava os erros e imprecisões muito acima do aceitável.

Os experimentos realizados na segunda metodologia tiveram como objetivo a leitura indireta da concentração de gelo por meio da concentração do aditivo anticongelante no fluido transportador. As medições foram feitas com o ultrassom, o condutímetro e o refratômetro. Os valores das medidas (M) apresentados nos gráficos adiante estão em percentual de medida relativa ( $M_{REL}$ ), sendo a referência ( $M_{REF}$ ) a medida da solução de gelo líquido sem cristais de gelo, conforme Eq. 9.

$$M_{REL}(\%) = \left( \frac{M - M_{REF}}{M_{REF}} \right) \cdot 100 \quad (9)$$

Os resultados das leituras de condutividade elétrica no fluido transportador da solução do gelo líquido, apresentaram valores de condutividade relativa diretamente proporcionais com relação ao aumento de concentrações de cristais de gelo, com curva de tendência linear, conforme pode ser visto na Fig. 6, e cálculo de erro provável máximo de 12,8% do valor medido. O erro máximo no cálculo da concentração de gelo foi de 1%.

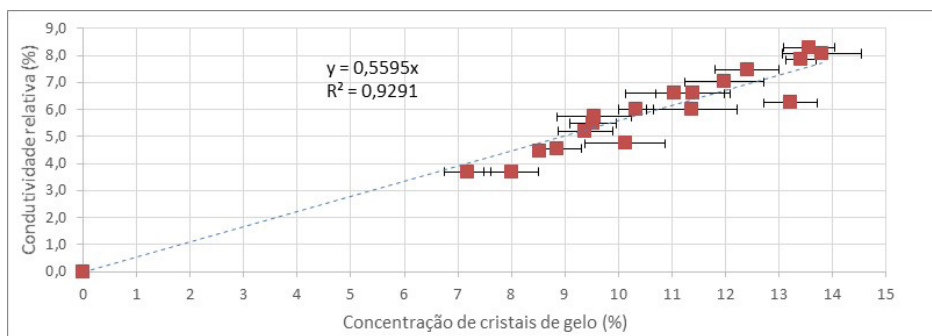


Figura 6. Gráfico de dispersão da Condutividade elétrica relativa em Solução de Gelo líquido, com Curva de Tendência Linear e sua respectiva equação de regressão.

Os resultados das leituras da velocidade do som do fluido transportador da solução do gelo líquido, apresentaram valores de velocidade relativa diretamente proporcionais com relação ao aumento de concentrações de cristais de gelo, com curva de tendência linear, conforme pode ser visto na Fig. 7, e cálculo de erro provável máximo de 75,7% do valor medido. O erro máximo no cálculo da concentração de gelo foi de 1%.

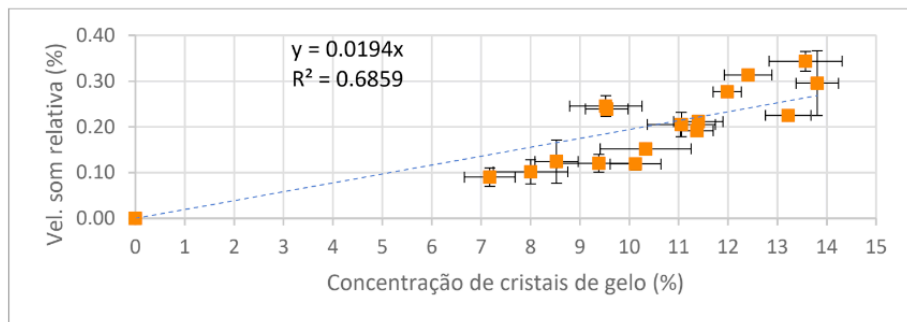


Figura 7. Gráfico de dispersão da velocidade do som relativo em Solução de Gelo líquido, com Curva de Tendência Linear e sua respectiva equação de regressão.

Os experimentos realizados com o refratômetro, para a leitura de grau Brix do fluido transportador da solução de gelo líquido, não gerou resultados satisfatórios, visto que para essa concentração de aditivo utilizada na solução de gelo líquido, a variação de aditivo no fluido portador não foi detectada pelo equipamento, cuja resolução de leitura é 0,5°Brix.

Dentre as condições analisadas, e diante os modelos matemático obtido pelas a equações de regressão em cada equipamento de leitura, foi possível determinar as características dos sensores, de ultrassom e de condutividade, para a leitura de concentração de cristais de gelo na solução de gelo líquido conforme Tab.2.

	Condutivímetro	Ultrassom
Sensibilidade	0,56 condutividade relativa/ concentração de gelo	0,02 velocidade do som relativa/ concentração de gelo
Faixa de leitura	7 a 14% concentração de gelo	7 a 14% concentração de gelo
Alcance	7% concentração de gelo	7% concentração de gelo
Precisão	87,17% (valor medido)	24,27% (valor medido)
Resolução	1,8% concentração de gelo	5,0% concentração de gelo
Linearidade	Linear	Linear
Repetibilidade	Boa	Boa

Tabela 2. Características dos instrumentos de medição, utilizado na leitura de concentração de cristais de gelo.

A leitura da concentração de cristais de gelo foi realizada entre a faixa de 7 a 14% podendo também ser aplicado a concentrações menores. Ambos os métodos demonstraram um modelo matemático linear com boa repetibilidade. O método do condutivímetro foi o que apresentou maior sensibilidade às variações de concentração, maior precisão e melhor resolução.

Usando o modelo de regressão, estimado nas Fig.6 e Fig.7, foi possível construir o



gráfico de resíduo versus concentração de cristais de gelo na Fig.8. A análise comparativa entre esses dois gráficos demonstra que o método do condutivímetro possui os menores índices de resíduo, com valor máximo de 2,06 e média de 0,75. Enquanto que pelo método do ultrassom o valor máximo de resíduo foi de 4,13 e média de 2,28.

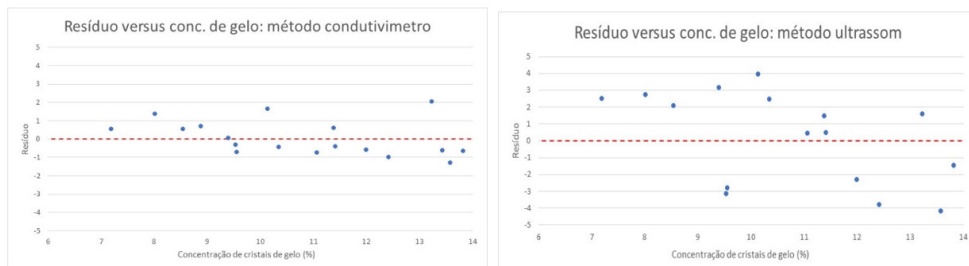


Figura 5. Gráfico de resíduo do modelo de regressão versus valores ajustado pelas respectivas equações de regressão criada pela leitura de condutividade (gráfico da esquerda) e velocidade do som (gráfico da direita).

## 8 | CONCLUSÃO

Os resultados experimentais obtidos no presente trabalho permitiram as seguintes conclusões:

Apesar da medição da concentração de microesferas por ultrassom ter apresentado bons resultados, a leitura por condutividade demonstrou não ter restrições na leitura de altas concentrações de microesferas, com características lineares e melhor sensibilidade da leitura do equipamento por concentração de microesferas.

As medições de concentração de cristais de gelo em repouso não apresentam bons resultados, a melhor maneira de realizar as análises é fazendo a medição indireta.

Para pequenas variações na concentração de aditivo no fluido portador, o refratômetro não foi capaz de detectá-las, tornando-se um método de medição inviável para essas concentrações.

Em busca de uma medição mais precisa da concentração de cristais de gelo na solução, o condutivímetro mostrou-se capaz de identificar variações menores, 1,8% contra 5% do ultrassom.

## REFERÊNCIAS

BELLAS, I.; TASSOU, S. A. Present and future applications of ice slurries. **International Journal of Refrigeration**, 2005. v. 28, p. 115–121.

HANSEN, T. M.; KAUFFELD, M. Measuring principles for the determination of ice concentration in ice slurry. **ASHRAE Transactions**, 2001. v. 107 PART 2, p. 336–345.

**INSTRUMENTAÇÃO industrial.** Organização de Egídio Alberto Bega. 3. ed. Rio de Janeiro, RJ: Interciência.2011. 668 p., il. ISBN 9788571932456 (broch.).

KAUFFELD, M. *et al.* Ice slurry applications. **International Journal of Refrigeration**, 1 dez. 2010. v. 33, n. 8, p. 1491–1505. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140700710001647?via%3Dihub>>. Acesso em: 01 jun. 2017.

LANGLOIS, V. *et al.* Ultrasonic determination of the particle concentration in model suspensions and ice slurry. **International Journal of Refrigeration**, 2011. v. 34, n. 8, p. 1972–1979. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S014070071100154X#>> . Acesso em: 4 jun. 2017

MEDEIROS, P. S. G.; BARBOSA, C. R. F.; FONTES, F. De A. O. Fluidos secundários bifásicos: a inserção da pasta de gelo como fluido termoacumulador em sistemas de refrigeração. **Mercofrio 2010 - Congresso de Climatização e Refrigeração**, 2010.

ORDONEZ, E. D. M.; PENTEADO, C. G.; SILVA, A. C. R. **Microcontroladores e FPGAs - Aplicações em Automação**. 1. ed. São Paulo, SP: Novatec, 2006..

PFLOW. **Ultrasonic Flowmeter Instruction Manual. Model: P118**. 2. Ed, 2014.

THOMAZINI, D. **Sensores industriais: fundamentos e aplicações**. Coautoria de Pedro U. B. de Albuquerque. 8. ed. rev. e atual. São Paulo, SP: Érica, 2011.

TICONA, E. M. **Determinação experimental do coeficiente de troca de calor em um gerador de pasta de gelo**. Rio de Janeiro, RJ: Dissertação (mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Mecânica, 2003. Disponível em: <[http://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/Busca\\_etds.php?strSecao=resultado&nrSeq=3765@1](http://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/Busca_etds.php?strSecao=resultado&nrSeq=3765@1)>. Acesso em: 18 abr. 2017.

## VISÃO GERAL DOS INIBIDORES BIFUNCIONAIS A BASE DE TERRAS RARAS E SUAS APLICAÇÕES

Data de aceite: 03/05/2021

### **Célia Aparecida Lino dos Santos**

Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado  
de São Paulo S. A. - IPT  
São Paulo-SP  
Materiais Avançados - MA / Laboratório de  
Corrosão e Proteção - LCP  
IPT-MA-LCP

### **Fabiana Yamasaki Vieira Martins**

Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado  
de São Paulo S. A. - IPT  
São Paulo-SP  
Materiais Avançados - MA / Laboratório de  
Corrosão e Proteção - LCP  
IPT-MA-LCP

### **Rafael Augusto Camargo**

Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado  
de São Paulo S. A. - IPT  
São Paulo-SP  
Materiais Avançados - MA / Laboratório de  
Corrosão e Proteção - LCP  
IPT-MA-LCP

### **Zehbour Panossian**

Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado  
de São Paulo S. A. - IPT  
São Paulo-SP  
Materiais Avançados - MA / Laboratório de  
Corrosão e Proteção - LCP  
IPT-MA-LCP

**RESUMO:** Os elementos de terras raras são utilizados tradicionalmente na fabricação de ímãs permanentes, materiais para polimento,

catalisadores para craqueamento do petróleo, catalisadores automobilísticos, ligas de magnésio, entre outros. Desde 2002, estudos envolvendo inibidores de corrosão a base de terras raras tem sido publicados e o conceito de inibidor de corrosão bifuncional vem crescendo, uma vez que são compostos ambientalmente amigáveis e livres de íons  $\text{Cr}^{6+}/\text{Cr}^{3+}$ . Este trabalho apresenta uma breve revisão bibliográfica sobre os principais inibidores funcionais a base de terras raras, como o salicilato, o cinamato e o dibutilfosfato de cério. Os compostos organofosforados são mais eficientes na proteção das ligas de alumínio, enquanto que os compostos derivados de ácidos carboxílicos são mais eficientes na proteção do aço-carbono. Além de discutir as suas aplicações, este trabalho explica a não eficiência do dibutilfosfato de cério na proteção do aço-carbono.

**PALAVRAS-CHAVE:** Inibidor de corrosão bifuncional, terras raras, ligas de alumínio, aço-carbono.

**ABSTRACT:** Rare earth elements are used traditionally in the manufacture of polishing materials, permanent magnets, polishing materials, catalysts for oil cracking, automobile catalytic converters, magnesium alloys, among others. Since 2002, studies involving corrosion inhibitors based on rare earths have been published and the concept of bi-functional corrosion inhibitor has been growing as they are environmentally friendly compounds and free from  $\text{Cr}^{6+}/\text{Cr}^{3+}$  ions. This work presents a brief literature review on the main rare-earth based functional inhibitors, such as salicylate,

cinnamate and cerium dibutylphosphate. Organophosphorus compounds are more efficient for aluminum alloy protection while the compounds derived from carboxylic acids are more efficient for carbon steel protection. In addition to discuss rare-earth inhibitor applications, this paper explains the non-efficiency of cerium dibutylphosphate on carbon steel protection.

**KEYWORDS:** Bifunctional corrosion inhibitors, rare earths, aluminum alloys, carbon steel.

## INTRODUÇÃO

As regulamentações atuais e as restrições quanto ao uso de substâncias tóxicas crescem constantemente e desencadeiam o desenvolvimento de novos compostos anticorrosivos para formulações de inibidores de corrosão, revestimentos de conversão, anodização, pigmentos inibidores, entre outros empregados na proteção contra a corrosão.

Devido à elevada toxicidade ambiental e aos riscos à saúde humana, os compostos convencionais anticorrosivos contendo metais pesados como os cromatos estão proibidos (1).

Os compostos que apresentam baixo risco ambiental e à saúde humana são denominados de “verdes” e muitos esforços têm sido empreendidos para o desenvolvimento dessas formulações (2–4).

Inseridos nesse contexto, encontram-se os compostos ambientalmente amigáveis para proteção contra a corrosão. A literatura registra muitos trabalhos envolvendo compostos contendo elementos de terras raras (TR) (5–23).

Os sais de TR, especificamente os cloretos de TR, destacam-se como inibidores de corrosão para as ligas de Al, Zn e aço (5, 7, 14). Eles atuam como inibidores catódicos pela formação de um filme composto por hidróxidos/óxidos de TR que bloqueiam as regiões catódicas do metal. A formação dos hidróxidos/óxidos de TR é devida à elevação do pH local pela reação de redução do gás oxigênio. Os óxidos de TR formados ultrapassam os seus limites de solubilidade na interface metal/meio e precipitam formando um filme (8).

No início dos anos 2000, um grupo australiano da Universidade de Monash propôs uma nova abordagem de inibidores de corrosão empregando compostos de TR. Eles combinaram os inibidores catódicos de TR com compostos orgânicos (5-15, 17) ou inorgânicos (7, 14, 18, 20-22) com ação de inibição anódica. As combinações obtidas foram denominadas de inibidores de corrosão bifuncionais a base de TR.

Foram sintetizados o salicilato de cério,  $\text{Ce}(\text{sal})_3$  (5-7), o dibutilfosfato de cério,  $\text{Ce}(\text{dbp})_3$  (8-14), o cinamato de cério,  $\text{Ce}(\text{cin})_3$  (15-17), o difenilfosfato de cério,  $\text{Ce}(\text{dpp})_3$  (17) e o difenilfosfato de *mischmetal*,  $\text{Mm}(\text{dpp})_3^1$  (17).

A maioria dos trabalhos estudou o mecanismo de proteção e as características sinérgicas desses inibidores para substratos de Al e suas ligas. Destacou-se, principalmente, que os inibidores bifuncionais de TR combinam mecanismos diferentes de proteção contra a corrosão em um único composto e demonstram sinergia e um excelente nível de proteção

1 Mm – representação de *mischmetal* que, por sua vez, é uma mistura contendo Ce, La e Nd.

contra a corrosão para Al e suas ligas sem quaisquer impactos ambientais negativos (9-14, 16-18, 22).

Comparando-se a quantidade de artigos publicados sobre inibidores bifuncionais para Al e suas ligas com as publicações voltadas para aço-carbono, verifica-se que há poucas publicações dedicadas aos estudos com aço-carbono (5-7, 15).

Considerando a lacuna existente na literatura sobre o mecanismo de atuação dos inibidores de corrosão bifuncionais para o aço-carbono, o objetivo deste trabalho é o de investigar a eficiência de proteção do dibutilfosfato de cério,  $\text{Ce}(\text{dbp})_3$ , que é um dos mais estudados compostos a base de cério, como potencial inibidor de corrosão para substratos de aço-carbono em solução de NaCl 0,05 mol/L e pH próximo da neutralidade.

Para isto, foram realizados ensaios de imersão de curta e longa duração com a determinação das taxas de corrosão, análises por microscopia eletrônica de varredura (MEV) e quantificações semiquantitativas por energia dispersiva de raios X (EDS). Além disso, ensaios eletroquímicos (potencial de circuito aberto, PCA e curvas de polarização) também foram realizados.

## METODOLOGIA

A síntese do  $\text{Ce}(\text{dbp})_3$  foi descrita pela primeira vez por Behrsing (apud 9) que empregou nitrato de cério hexa-hidratado e fosfato de dibutil na razão estequiométrica.

Nesse trabalho, o composto  $\text{Ce}(\text{dbp})_3$  foi sintetizado e doado pelo *MPIKG – Max Planck Institute of Colloids and Interfaces*. O  $\text{Ce}(\text{dbp})_3$  foi analisado por TGA/DTG (picos a 199 °C, 235 °C e 270 °C) e UV-VIS (bandas de absorção em 219 nm, 240 nm e 252 nm), resultados semelhantes a (23).

## Soluções de ensaio

A solução aquosa de NaCl 0,05 mol/L foi utilizada como solução de referência.

O  $\text{Ce}(\text{dbp})_3$  apresenta baixa solubilidade em água (23). Para preparar sua solução aquosa, 1,8 g de  $\text{Ce}(\text{dbp})_3$  foi agitado em 800 mL de água deionizada por 48 h a temperatura ambiente ( $23 \pm 2$ ) °C. A suspensão foi filtrada (papel de filtro quantitativo com tamanho de poro de 6,0  $\mu\text{m}$  e densidade de 80 g/m<sup>2</sup>), e transferida para um balão volumétrico de 1 L que foi completado com as águas de lavagem da filtração. A solução resultante apresentou leve turvação.

As partículas sólidas não dissolvidas que ficaram retidas no papel de filtro foram secas e pesadas para a determinação da concentração da solução.

À solução saturada de  $\text{Ce}(\text{dbp})_3$ , foi adicionada a quantidade necessária de NaCl para se obter a concentração de NaCl de 0,05 mol/L.

As soluções foram empregadas nos ensaios de imersão de curta e longa duração, assim como, nos ensaios eletroquímicos.

## Ensaio de imersão

Foram empregados corpos de prova de aço-carbono AISI 1020 nos ensaios de imersão de curta (44 h) e longa (3 e 5 semanas) duração. A composição química do aço-carbono está apresentada na Tabela 1.

Elemento*	C	Mn	P	S
Composição (%)	0,029 ± 0,001	0,20 ± 0,001	0,013 ± 0,001	0,012 ± 0,001

\*Fe – balanço

Tabela 1 – Composição nominal do aço-carbono AISI 1020.

Os corpos de prova possuíam as dimensões de 2,0 cm x 6,0 cm x 0,15 cm com furo de diâmetro de 0,29 cm na parte superior e foram jateados com microesferas de vidro.

Os ensaios foram realizados em triplicata e em frascos de vidro não herméticos com capacidade para 350 mL.

O pH das soluções foi medido antes e após cada ensaio. Dois corpos de prova foram usados para as medições de perda de acordo com a norma ASTM G 1 (24) após a limpeza em solução de Clark (1 L HCl + 20g Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + 58,3 g SnCl<sub>2</sub>·x2H<sub>2</sub>O).

O terceiro corpo de prova foi reservado para as análises de superfície por MEV/EDS, por meio de um microscópio eletrônico de varredura FEI FEG-Quanta 400F.

## Ensaio eletroquímico

Os ensaios eletroquímicos empregaram um sistema convencional de três eletrodos que consistia de uma de tela cilíndrica de platina/irídio (90:10) como eletrodo auxiliar, um eletrodo de calomelano saturado (ECS) como referência e aço-carbono com área de 1 cm<sup>2</sup> embutido em resina epóxi como eletrodo de trabalho. Um béquer de 250 mL, preenchido com 100 mL das soluções de ensaio naturalmente aeradas, foi utilizado como uma célula eletroquímica.

Antes de cada medição, o eletrodo de trabalho foi submetido ao preparo de sua superfície com lixas de grana 120, 240, 400 e 600. A superfície do eletrodo após lixamento foi inspecionada em um microscópio óptico Leica DMR.

Ambas as curvas de polarização anódica e catódica foram obtidas usando a interface eletroquímica Solartron 1287 controlado pelo *software* Corrware. As varreduras anódicas e catódicas foram realizadas separadamente a velocidade de varredura de 0,1667 mV/s, após a estabilização do potencial de circuito aberto (PCA).

Após cada curva de polarização e posterior lavagem do eletrodo de trabalho com água ultrapura, acetona e secagem com ar quente, o eletrodo de trabalho foi examinado em um microscópio óptico Confocal Zeiss 700 Axio CSM e em microscópio eletrônico de

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 2 apresenta a concentração da solução de  $Ce(dbp)_3$  saturada e o pH antes e depois dos ensaios de imersão. Pode-se observar que a solução de  $Ce(dbp)_3$  é ácida. Além disso, a adição de NaCl à solução saturada do composto de TR não causou qualquer alteração significativa de pH.

Solução de ensaio	Solução saturada (filtrada)		Soluções de ensaio (Solução saturada e filtrada + NaCl)	
	Concentração (mg/L)	pH	pH - antes do ensaio	pH - após o ensaio
$Ce(dbp)_3$	920	4,9	4,8	5,7
0,05 mol/L NaCl (referência)	-	-	6,1	6,8

Tabela 2 – Concentração da solução saturada do composto de TR e o pH das soluções de teste antes e após os ensaios de imersão.

A Figura 1 mostra as taxas de corrosão do aço-carbono imerso em solução de NaCl 0,05 mol/L sem e com solução saturada de  $Ce(dbp)_3$ . Pode-se observar que a taxa de corrosão obtida para a solução contendo  $Ce(dbp)_3$  foi da mesma ordem de grandeza da solução de referência.

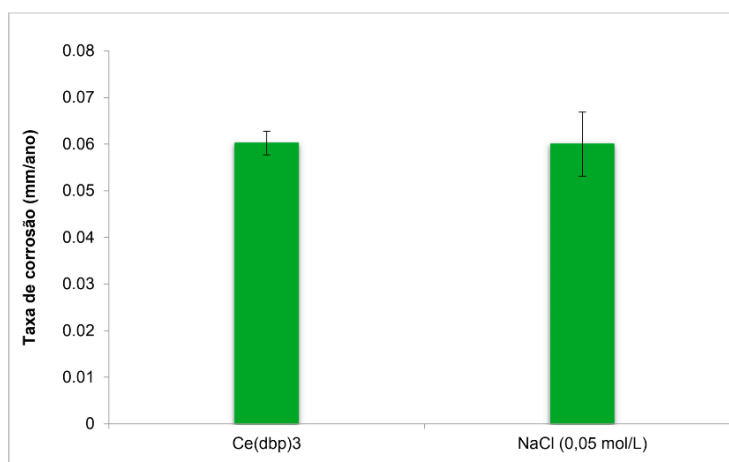


Figura 1 – Valores médios das taxas de corrosão do aço-carbono imerso em solução de NaCl 0,05mol/L sem e com solução saturada de  $Ce(dbp)_3$ .

Na Figura 2, são apresentadas as imagens dos ensaios de imersão de curta duração (44 h). A aparência visual das soluções de ensaio revelou uma diferença significativa entre a solução sem e com  $Ce(dbp)_3$ . Na presença deste último, observou-se que a solução tornou-se amarelada após 18 h enquanto que uma quantidade significativa de precipitados acastanhados na parte inferior do frasco, após 44 h, formou-se na solução sem o composto de TR.

A cor da solução contendo  $Ce(dbp)_3$  permaneceu quase inalterada após 44 h, mostrando apenas uma pequena quantidade de precipitados amarelados na parte inferior do frasco de ensaio. Por outro lado, observou-se uma película de produto de corrosão na superfície dos corpos de prova mesmo na presença de  $Ce(dbp)_3$ . Vale ressaltar que, durante a lavagem dos corpos de prova após os ensaios de imersão, este filme foi facilmente retirado das superfícies.

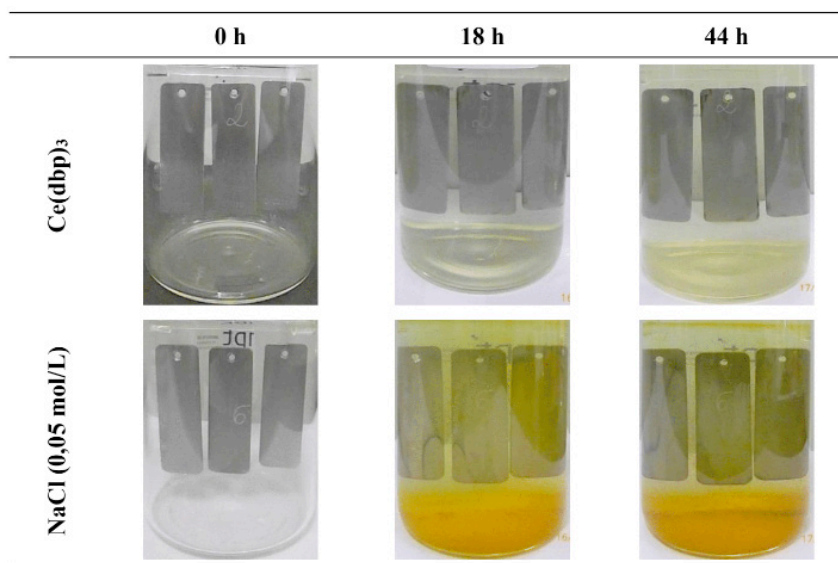


Figure 1 – Imagens dos frascos dos ensaios de imersão do aço-carbono em solução de NaCl 0,05 mol/L sem e com solução saturada de  $Ce(dbp)_3$ . Ensaios de curta duração (44 h).

As análises por MEV-EDS, de um dos três corpos de prova ensaiados por 44 h na ausência ou na presença do composto de TR, indicaram que um filme composto por produtos de corrosão formou-se em sua superfície (Fe e O foram detectados).

A Figura 3 mostra as análises realizadas sobre a superfície do corpo de prova ensaiado na solução contendo  $Ce(dbp)_3$ .



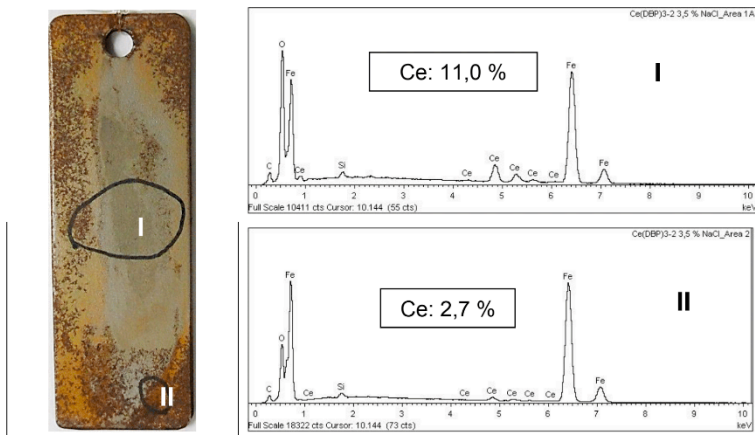


Figura 2 – Análise de EDS da superfície do corpo de imerso na solução NaCl 0,05 mol/L contendo  $\text{Ce}(\text{dbp})_3$ .

As análises apresentadas na Figura 3 podem indicar a formação de um filme de contendo Ce e que apresentou baixa aderência, visto que se observou, a vista desarmada, o destacamento do referido filme. É sabido que os sais de TR atuam como inibidor catódico, levando à formação de um filme de oxi-hidróxidos de TR na superfície metálica. Particularmente, isso pode acontecer devido ao aumento local do pH causado pela reação de redução de oxigênio (9, 13, 23). No caso particular do cério, uma precipitação de  $\text{Ce}(\text{OH})_3$  pode ocorrer no  $\text{pH} > 9$  (23). É importante mencionar que a quantidade de Ce era diferente em diferentes pontos da superfície do corpo de prova (11,0 % no ponto I e 2,7 % no ponto II, Figura 3).

Por outro lado, a literatura afirma que os organofosforados têm propriedades de inibição anódica, devido à sua capacidade de formar complexos insolúveis nas regiões anódicas do metal (9, 23). Nenhum fósforo foi detectado por EDS na superfície da amostra imersa na solução que continha  $\text{Ce}(\text{dbp})_3$ . Isso pode indicar que a quantidade deste elemento na superfície de metal é menor do que o limite de detecção da técnica de EDS ou que não houve a formação de complexos insolúveis como o esperado.

Como a literatura relata que o composto  $\text{Ce}(\text{dbp})_3$  provoca uma diminuição significativa da corrosão de ligas de alumínio em ensaios de imersão de longa duração (11), ensaios de 3 e 5 semanas de imersão foram realizados. A Figura 4 mostra os valores médios das taxas de corrosão dos ensaios de longa duração (3 e 5 semanas). A aparência visual dos frascos de imersão após 3 e 5 semanas é mostrada na Figura 5. Pode ser visto que há uma grande quantidade de produtos de corrosão nos frascos dos ensaios de 3 e 5 semanas para o  $\text{Ce}(\text{dbp})_3$  e para a solução de referência. A baixa aderência dos produtos formados sobre os corpos de prova também foi observada para os ensaios de longa duração.

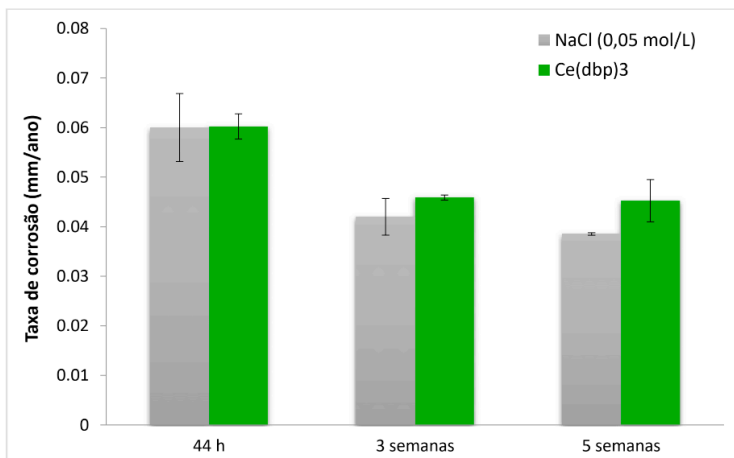


Figura 4 – Valores médios das taxas de corrosão dos ensaios de imersão de 44 h e os de longa duração (3 e 5 semanas).

Solução de ensaio	44 h	3 semanas	5 semanas
Ce(dbp) <sub>3</sub> + NaCl (0,05 mol/L)			
NaCl (0,05 mol/L)			

Figura 5 – Imagens dos frascos dos ensaios de imersão do aço-carbono em solução de NaCl 0,05mol/L sem e com solução saturada de Ce(dbp)<sub>3</sub>. Comparação dos ensaios de curta (44 h) e de longa duração (3 e 5 semanas).

Os resultados obtidos mostraram que os ensaios de imersão de longa duração não melhorou a capacidade de proteção do filme formado (o qual pode conter Ce, conforme as análises por EDS). As taxas de corrosão em solução salina apresentaram a mesma ordem de grandeza na presença ou na ausência de Ce(dbp)<sub>3</sub>, em oposição ao comportamento observado com substratos de Al (9, 13).

Com o intuito de explicar a razão da solução de salina contendo Ce(dbp)<sub>3</sub> ter se mantido quase incolor durante os ensaios de curta duração, foi realizado outro ensaio de imersão. Após 18 h (para este tempo de imersão, a solução de ensaio manteve-se quase incolor, conforme Figura 2), amostras das soluções foram retiradas dos frascos de imersão e a presença de íons de ferro foi investigada qualitativamente usando o hexacianoferrato(III)

de potássio, ( $K_3[Fe(CN)_6]$ ) e o hexacianoferrato(II) de potássio, ( $K_4[Fe(CN)_6]$ ). Os dois sais formam complexos de coloração azul com íons ferrosos e férricos, ( $Fe_3[Fe(CN)_6]_2$ ) e ( $Fe_4[Fe(CN)_6]_3$ ), respectivamente.

A Figura 6 mostra os resultados obtidos. Pode ser visto que os íons ferrosos e férricos estavam presentes na solução contendo  $Ce(dbp)_3$ , enquanto que, na solução de referência ( $NaCl$  0,05 mol/L), íons ferrosos não foram detectados. A cor verde obtida com a adição de hexacianoferrato(III) de potássio pode ser atribuída à baixa concentração de íons ferrosos na solução: provavelmente a cor amarela própria da solução de hexacianoferrato(III) de potássio combinado com o complexo azul formado pelo reagente e os íons ferrosos resultou na coloração verde.

Para confirmar esta suposição, uma alíquota da solução de hexacianoferrato(III) de potássio foi adicionada a uma solução diluída de sulfato ferroso recém preparada. Obteve-se a mesma cor esverdeada.





Solução de ensaio	Teste qualitativo para íons $Fe^{2+}$ usando hexacianoferrato(III) de potássio ( $K_3[Fe(CN)_6]$ )	Teste qualitativo para íons $Fe^{3+}$ usando hexacianoferrato(II) de potássio ( $K_4[Fe(CN)_6]$ )
$Ce(dbp)_3$	 Íons $Fe^{2+}$ identificados	 Íons $Fe^{3+}$ identificados
$NaCl$ (0,05 mol/L)	 Íons $Fe^{2+}$ não identificados	 Íons $Fe^{3+}$ identificados

Figura 6 – Teste qualitativo para identificação dos íons  $Fe^{2+}$  e  $Fe^{3+}$  após 18 h de imersão do aço-carbono nas soluções de ensaio.

Os resultados dos testes de identificação em conjunto com a aparência visual das soluções de ensaio (Figuras 2 e 5) sugerem que os íons ferrosos formaram um complexo solúvel incolor com o ânion DBP e não insolúveis conforme o esperado para compostos bifuncionais. Baldwin e Higgins (25) afirmaram que os complexos de DBP com cátions de valência 3 e 4 são menos solúveis do que aqueles com íons divalentes.

Então, muito provavelmente, os íons ferrosos proveniente da reação de corrosão foram complexados pelo ânion DBP, evitando sua oxidação a íons férricos. Após o longo

período de exposição, a disponibilidade dos ânions DBP diminuiu e o excesso de íons ferrosos oxidou-se a íons férricos, que por sua vez precipitaram como óxido férrico levando a formação de uma quantidade significativa de precipitados acastanhados na parte inferior dos frascos de imersão (Figura 5).

Estes resultados explicam a eficácia da inibição da  $\text{Ce}(\text{dbp})_3$  para Al e suas ligas. Como afirmado pela literatura (8-11), este composto atua como um inibidor misto devido a precipitação do  $\text{Ce}(\text{OH})_3$  nas regiões catódicas e do complexo insolúvel de  $\text{Al}(\text{dbp})_3$  nas regiões anódicas. Para os substratos de Al, a melhoria da proteção deste filme após a imersão de longa duração (10) pode ser atribuída pelo aumento da compactação do filme.

No caso do aço-carbono, ocorreu apenas a formação da camada não uniforme e não aderente do  $\text{Ce}(\text{OH})_3$  nas regiões catódicas (Figura 3). Nas regiões anódicas, não houve a formação de película protetiva porque os íons ferrosos foram complexados pelos ânions DBP, fato que manteve o metal desprotegido.

A Figura 7 apresenta as curvas de polarização catódica e, a Figura 8, a aparência dos eletrodos de trabalho após as curvas de polarização. Na Figura 7, pode-se observar que a principal reação catódica é a redução do oxigênio, para ambos os meios estudados. A redução de oxigênio é a reação limitante das densidades de corrente das curvas de polarização catódica.

Um filme não homogêneo com coloração entre amarelo e marrom foi formado na superfície de ambos os eletrodos de trabalho após polarização catódica (Figura 8). Essas cores podem ser atribuídas a resíduos de produto de corrosão formados durante a estabilização do PCA e que não foram completamente reduzidos durante a polarização catódica (na ausência de  $\text{Ce}(\text{dbp})_3$ ) ou à possível formação de uma película composta de cério durante a polarização catódica (na presença de  $\text{Ce}(\text{dbp})_3$ ).

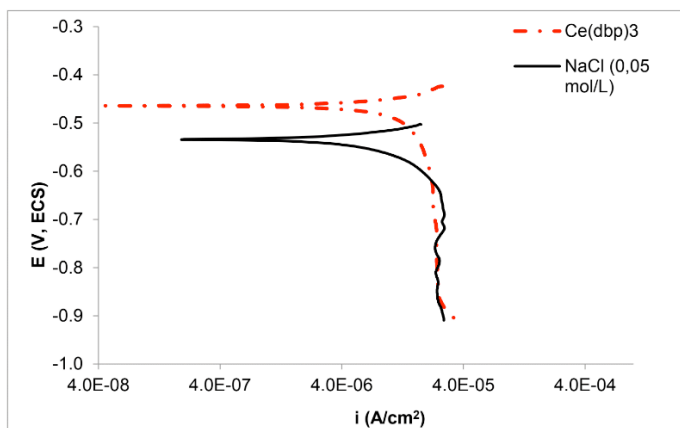


Figura 7 – Curvas de polarização catódica do aço-carbono em solução de NaCl 0,05 mol/L sem e com  $\text{Ce}(\text{dbp})_3$ .

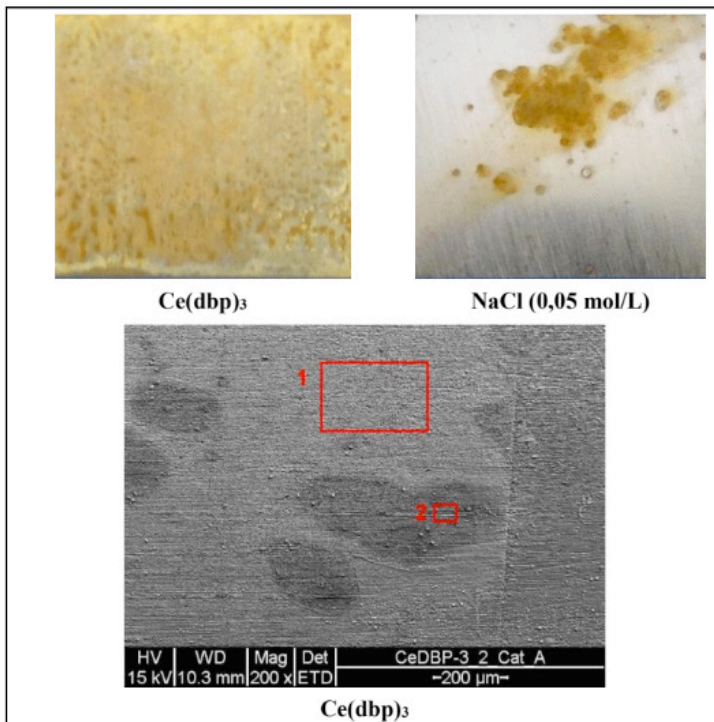


Figura 8 – Imagens das superfícies dos eletrodos de trabalho após as polarizações catódicas em solução de NaCl 0,05 mol/L sem e com  $\text{Ce}(\text{dbp})_3$ .

As análises de MEV/EDS das diferentes regiões da superfície de cada eletrodo de trabalho, mostradas na Figura 8, indicaram a presença de resíduos de produtos de corrosão (Fe e O). Uma quantidade significativa de Ce foi detectada em ambas as áreas analisadas (regiões 1 e 2), do eletrodo de trabalho ensaiado na solução salina contendo  $\text{Ce}(\text{dbp})_3$ , como mostrado na Tabela 3 e na Figura 8.

Área	C (%)	O (%)	Fe (%)	Ce (%)
1	4,5	13,6	64,1	17,6
2	3,3	17,8	67,8	11,1

Tabela 1 – Principais elementos detectados por EDS sobre a superfície do eletrodo de trabalho ensaiado em solução salina contendo  $\text{Ce}(\text{dbp})_3$ , após polarização catódica.

Estes resultados mostraram que, muito provavelmente, um composto contendo Ce foi formado na superfície do metal durante a polarização catódica, confirmando o caráter catódico deste composto. Como já foi mencionado, os sais de TR são conhecidos como inibidores catódicos para vários metais (8, 23). No entanto, as densidades de corrente

foram limitadas pelo oxigênio tanto na presença quanto na ausência do composto de Ce, Figura 7. Assim, pode-se concluir que o  $Ce(dbp)_3$  não é um inibidor catódico eficiente para o aço-carbono em solução diluída de NaCl. Esta ineficiência pode ser atribuída à natureza porosa e não homogênea do filme, confirmado por quantidades diferentes de Ce detectados em diferentes regiões da superfície do eletrodo de trabalho após a polarização catódica (Tabela 3).

As curvas de polarização anódica e as imagens das superfícies dos eletrodos de trabalho após as polarizações anódicas estão apresentadas nas Figuras 9 e 10.

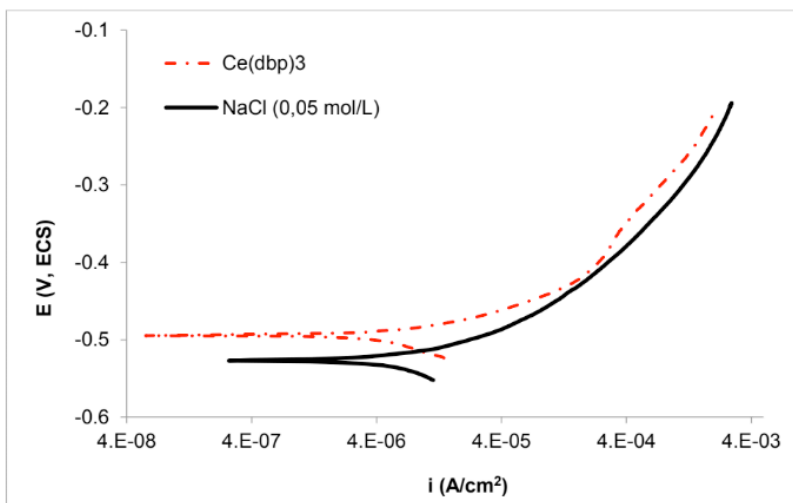


Figura 9 – Curvas de polarização anódica do aço-carbono em solução de NaCl 0,05 mol/L sem e com  $Ce(dbp)_3$ .

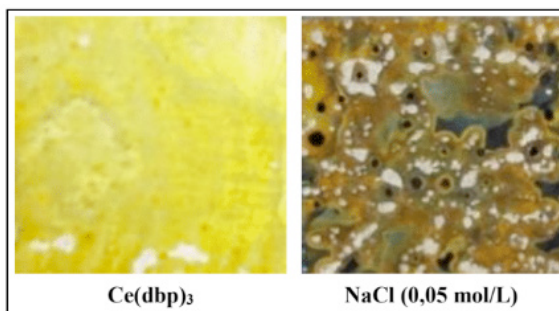


Figura 10 – Imagens das superfícies dos eletrodos de trabalho após as polarizações anódicas em solução de NaCl 0,05 mol/L sem e com  $Ce(dbp)_3$ .

O comportamento anódico é quase o mesmo para os dois sistemas estudados. Em ambas as polarizações anódicas, observou-se uma grande quantidade de pites na

superfície dos eletrodos de trabalho. O eletrodo ensaiado na presença de  $\text{Ce}(\text{dbp})_3$  foi revestido por uma película castanha. Os pites não ficaram evidentemente visíveis na Figura 10. No entanto, as imagens de MEV deste eletrodo (Figura 11) mostraram claramente a presença de uma maior quantidade e maior profundidade de pites para o meio contendo  $\text{Ce}(\text{dbp})_3$  comparada àqueles detectados na superfície do eletrodo de trabalho ensaiado na solução de NaCl puro.

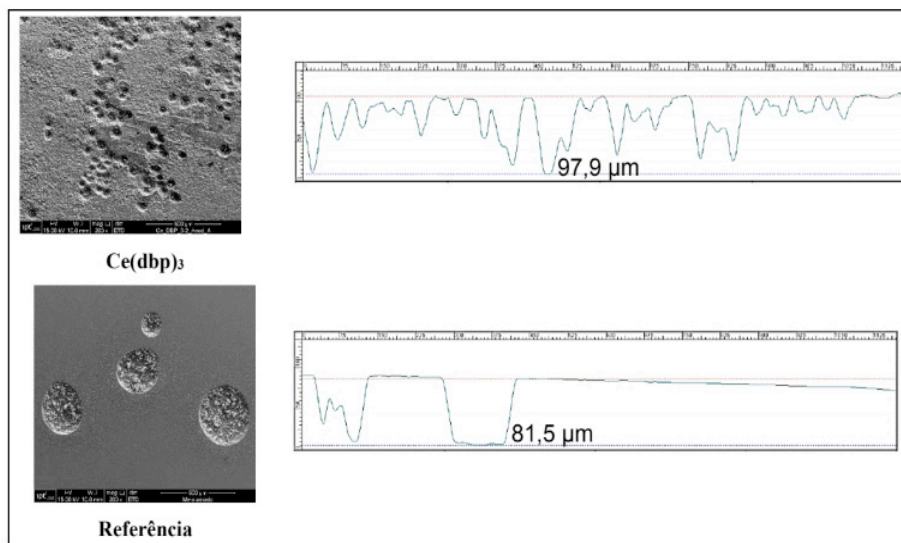


Figura 11 – Imagens de MEV das superfícies dos eletrodos de trabalho após as polarizações anódicas em solução de NaCl 0,05 mol/L sem e com  $\text{Ce}(\text{dbp})_3$  e medidas de profundidade de pite.

## CONCLUSÕES

O composto  $\text{Ce}(\text{dbp})_3$  foi testado como inibidor de corrosão bifuncional em potencial para o aço-carbono numa solução aquosa de cloreto de sódio próxima da neutralidade, por meio de ensaios de desempenho de corrosão.

Todos os resultados mostraram que o  $\text{Ce}(\text{dbp})_3$  não apresentou propriedades de inibição para o aço-carbono, apesar do  $\text{Ce}(\text{dbp})_3$  ser considerado um inibidor muito eficaz para Al e suas ligas, sobre os quais forma uma película protetora e uniforme.

A falta de eficiência pode ser atribuída à formação de complexos solúveis de ânions DBP com cátions ferrosos, à porosidade e a não homogeneidade do filme formado sobre o aço-carbono.

## AGRADECIMENTOS

Os autores são gratos ao Bsc. Frederico Calheiros Maia e ao Msc. Jorge Augusto Oliveira Carneiro pelo valioso apoio nos ensaios laboratoriais, à Dra. Dilek Akcakayiran e ao Dr. Dmitri Grigoriev pela síntese e doação do composto  $Ce(dbp)_3$ .

Este trabalho foi financiado pela UE FP7- PEOPLE -2011-IRSES proposta número 295145 (projeto Nanomar), IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A. e FIPT - Fundação de Apoio ao IPT.

## REFERÊNCIAS

1. European Parliament, Council of the European Union, Directive 2000/53/EC of the European Parliament and of the Council of 18 September 2000 on end-of life vehicles - Commission Statements, OJ L. 269 (2000) 34.
2. SØRENSEN, P.A.; KIIL, S.; DAM-JOHANSEN, K. *et al.* Anticorrosive coatings: a review. **Journal of Coatings Technology and Research**, v. 6, n. 2, p.135-176, 2009. Springer Science + Business Media. <http://dx.doi.org/10.1007/s11998-008-9144-2>.
3. HUGHES, A.; COLE, I.S.; MUSTER, T.H. *et al.* Designing green, self-healing coatings for metal protection. **NPG Asia Materials**, v. 2, n. 4, p.143-151, 2010. Nature Publishing Group. <http://dx.doi.org/10.1038/asiamat.2010.136>.
4. SAJI, V. S. A review on recent patents in corrosion inhibitors. **Recent Patents on Corrosion Science**, v. 2, n. 1, p.6-12, 2010. Bentham Science Publishers Ltd.. <http://dx.doi.org/10.2174/1877610801002010006>.
5. FORSYTH, M.; FORSYTH, C.M.; WILSON, K.; BEHRING, T.; *et al.* ATR characterisation of synergistic corrosion inhibition of mild steel surfaces by cerium salicylate. **Corrosion Science**, v. 44, n. 11, p.2651-2656, 2002. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0010-938x\(02\)00024-0](http://dx.doi.org/10.1016/s0010-938x(02)00024-0).
6. DEACON, G. B.; FORSYTH, C.M.; BEHRING, T.; KONSTAS, K. *et al.* Heterometallic CeIII-FelIII-salicylate networks: models for corrosion mitigation of steel surfaces by the "green" inhibitor, Ce(salicylate). **Chemical Communications**, n. 23, p.2820-2821, 2002. Royal Society of Chemistry (RSC). <http://dx.doi.org/10.1039/b207722a>.
7. FORSYTH, M.; WILSON, K.; BEHRING, T.; FORSYTH, C.; *et al.* A. Effectiveness of rare-earth metal compounds as corrosion inhibitors for steel. **Corrosion**, v. 58, n. 11, p.953-960, 2002. NACE International. <http://dx.doi.org/10.5006/1.3280785>.
8. HUGHES, A.E.; HO, D.; FORSYTH, M.; HINTON, B.R.W. Rare earth inhibited systems, TRI Service Corrosion Conference, p. 1–10, 2005.
9. BIRBILIS, N.; BUCHHEIT, R.G.; HO, D.L.; FORSYTH, M. Inhibition of AA2024-T3 on a phase-by-phase basis using an environmentally benign inhibitor, cerium dibutyl phosphate. **Electrochemical and Solid-State Letters**, v. 8, n. 11, p.C180-C183, 2005. The Electrochemical Society. <http://dx.doi.org/10.1149/1.2073672>.
10. HO, D.; BRACK, N.; SCULLY, J.; MARKLEY, T.; FORSYTH, *et al.* Cerium dibutylphosphate as a corrosion inhibitor for aa2024-t3 aluminum alloys. **Journal of the Electrochemical Society**, v. 153, n. 9, p. B392-B401, 2006. The Electrochemical Society. <http://dx.doi.org/10.1149/1.2217260>.
11. HUGHES, A. E.; HO, D.; FORSYTH, M.; HINTON, B.R.W. Towards replacement of chromate inhibitors by rare earth systems. **Corrosion Reviews**, v. 25, n. 5-6, p.591-605, 2007. Walter de Gruyter GmbH. <http://dx.doi.org/10.1515/corrrev.2007.25.5-6.591>.



12. FORSYTH, M.; MARKLEY, T.; HO, D.; DEACON, G.B., *et al.* Inhibition of corrosion on aa2024-t3 by new environmentally friendly rare earth organophosphate compounds. **Corrosion**, v. 64, n. 3, p.191-197, 2008. NACE International. <http://dx.doi.org/10.5006/1.3278465>.
13. MARDEL, J.; GARCIA, S.J.; CORRIGAN, P.A.; MARKLEY, T. *et al.* The characterisation and performance of Ce(dbp)<sub>3</sub>-inhibited epoxy coatings. **Progress in Organic Coatings**, v. 70, n. 2-3, p.91-101, 2011. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.porgcoat.2010.10.009>.
14. GARCIA, S.J.; MARKLEY, T.A.; MOL, J.M.C.; HUGHES, A.E. Unravelling the corrosion inhibition mechanisms of bi-functional inhibitors by EIS and SEM-EDS. **Corrosion Science**, v. 69, p.346-358, 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.corsci.2012.12.018>.
15. BLIN, F.; LEARY, S.G.; DEACON, G.B.; JUNK, P.C. *et al.* The nature of the surface film on steel treated with cerium and lanthanum cinnamate based corrosion inhibitors. **Corrosion Science**, v. 48, n. 2, p.404-419, 2006. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.corsci.2005.01.009>.
16. SHI, H.; HAN, EN-HOU; LIU, F. Corrosion protection of aluminum alloy 2024-T3 in 0.05M NaCl by cerium cinnamate. **Corrosion Science**, v. 53, n. 7, p.2374-2384, 2011. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.corsci.2011.03.012>.
17. SHI, H.; HAN, E.H.; LAMAKA, S. V.; ZHELUDKEVICH, M.L. *et al.* Cerium cinnamate as an environmentally benign inhibitor pigment for epoxy coatings on AA 2024-T3. **Progress in Organic Coatings**, v. 77, n. 4, p.765-773, 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.porgcoat.2014.01.003>.
18. MARKLEY, T. A.; FORSYTH, M.; HUGHES, A. E. Corrosion protection of AA2024-T3 using rare earth diphenyl phosphates. **Electrochimica Acta**, v. 52, n. 12, p.4024-4031, 2007. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.electacta.2006.11.028>.
19. KARTSONAKIS, I. A.; KORDAS, G. synthesis and characterization of cerium molybdate nanocontainers and their inhibitor complexes. **Journal of the American Ceramic Society**, v. 93, n. 1, p.65-73, 2010. Wiley-Blackwell. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1551-2916.2009.03310.x>.
20. YASAKAU, K.A.; TEDIM, J.; ZHELUDKEVICH, M.L.; DRUMM, R. *et al.* Cerium molybdate nanowires for active corrosion protection of aluminum alloys. **Corrosion Science**, v. 58, p.41-51, 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.corsci.2012.01.012>.
21. YASAKAU, K.A.; KALLIP, S.; ZHELUDKEVICH, M.L.; FERREIRA, M.G.S. Active corrosion protection of AA2024 by sol-gel coatings with cerium molybdate nanowires. **Electrochimica Acta**, v. 112, p.236-246, 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.electacta.2013.08.126>.
22. YASAKAU, K. A.; TEDIM, J.; MONTEMOR, M.F.; SALAK, A.N. *et al.* Mechanisms of localized corrosion inhibition of AA2024 by cerium molybdate nanowires. **Journal of Physical Chemistry C**, v. 117, n. 11, p.5811-5823, 2013. American Chemical Society (ACS). <http://dx.doi.org/10.1021/jp3124633>.
23. VAN SOESTBERGEN, M.; ERICH, S.J.F.; HUININK, H.P.; ADAN, O.C.G. Dissolution properties of cerium dibutylphosphate corrosion inhibitors. **Corrosion Engineering, Science and Technology** v. 48, n. 3, p.234-240, 2013. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1179/1743278212y.0000000069>.
24. ASTM – AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, 1999. G1-03: standard practice for preparing, cleaning, and evaluating corrosion test specimens, significance. West Conshohocken. 9p.
25. BALDWIN, W.H.; HIGGINS, C.E. Complexes of dibutyl phosphoric acid. **Journal of Inorganic and Nuclear Chemistry**, v. 17, n. 3-4, p.334-336, 1961. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/0022-1902\(61\)80159-0](http://dx.doi.org/10.1016/0022-1902(61)80159-0).

## VARIABILIDADE GENÉTICA EM PROGÊNIES DE *Parkia platycephala* Benth

Data de aceite: 03/05/2021

### **Dandara Yasmim Bonfim de Oliveira Silva**

Universidade Estadual Paulista “Júlio de  
Mesquita Filho” (Unesp/FCA)  
Botucatu – São Paulo  
<http://lattes.cnpq.br/0590440452925137>

### **Séfora Gil Gomes de Farias**

Universidade Federal do Piauí (UFPI/CPCE)  
Bom Jesus-Piauí  
<http://lattes.cnpq.br/7848698203929245>

### **Lucas Ferraz dos Santos**

Doutor em Genética e Biologia Molecular  
Bom Jesus-Piauí  
<http://lattes.cnpq.br/8936752447215722>

### **Romário Bezerra e Silva**

Universidade Federal do Piauí (UFPI/CPCE)  
Bom Jesus-Piauí  
<http://lattes.cnpq.br/4645114173190392>

### **Moema Barbosa de Sousa**

Universidade Federal Rural de Pernambuco  
(UFRPE)  
Recife - Pernambuco  
<http://lattes.cnpq.br/1125900782225064>

### **Graziele Nunes Lopes dos Santos**

Universidade Federal Rural de Pernambuco  
(UFRPE)  
Recife - Pernambuco  
<http://lattes.cnpq.br/9365623624676245>

**RESUMO:** *Parkia platycephala* é uma espécie florestal nativa de grande importância socioeconômica e ambiental. Objetivou-se com

o estudo verificar a dissimilaridade genética entre árvores matrizes de *P. platycephala*, a partir da avaliação de suas progênies. O estudo foi realizado adotando-se um delineamento inteiramente casualizado (DIC), com 12 tratamentos (matrizes/progênies) e quatro repetições. Para as análises foram avaliadas variáveis de germinação e vigor de sementes e plântulas. As análises de dissimilaridade genética foram realizadas com base na matriz de distância genética, usando o programa R. As distâncias entre os pares de matrizes variaram de 2,92 a 45,94. Pelos agrupamentos UPGMA, Tocher e análise de componentes principais, as progênies de *P. platycephala*, de acordo com o seu grau de dissimilaridade, se dividiram em três grupos, indicando significativa divergência genética entre as árvores matrizes estudadas.

**PALAVRAS-CHAVE:** Dissimilaridade genética, Reflorestamento, Fava de bolota, Qualidade de sementes.

### GENETIC VARIABILITY IN *Parkia platycephala* Benth PROGENIES

**ABSTRACT:** *Parkia platycephala* is a native forest species of great economic and environmental importance. The aim of the study was to verify the genetic dissimilarity between *P. platycephala* parent trees, based on the evaluation of their progenies. The study was carried out using a completely randomized design (DIC), with 12 treatments (matrices/progenies) and four replications. For the analysis, variables of germination and vigor of seeds and seedlings were evaluated. The genetic dissimilarity analyzes were performed based on the genetic

distance matrix, using the program R. The distances between the pairs of matrices ranged from 2.92 to 45.94. For the UPGMA, Tocher clusters and principal component analysis, the *P. platycephala* progenies according to their degree of dissimilarity, were divided into three groups, indicating significant genetic divergence between the studied matrices trees.

**KEYWORDS:** Genetic dissimilarity, Reforestation, Fava de bolota, Seed quality.

## 1 | INTRODUÇÃO

Dentre as espécies florestais que ocorrem no Estado do Piauí, destaca-se a *Parkia platycephala* Benth., trata-se de uma espécie nativa de grande potencial socioeconômico e ambiental, pertencente à família Fabaceae, popularmente conhecida como fava-de-bolota e/ou fava de boi, ocorre em áreas de transição cerrado-caatinga, regiões elevadas de até 900 m de altitude e em campinas da região Amazônica (Lorenzi, 2013).

O potencial nutritivo de suas vagens tem atraído atenção de muitos pesquisadores. Alves et al. (2007) e Araújo et al. (2019) reportaram o valor nutritivo e potencial utilização na suplementação alimentar de ruminantes. Tal utilização é realidade no Estado do Piauí, principalmente no período de seca. Os frutos coletados na época da safra são armazenados para alimentação do rebanho no período de menor disponibilidade de forragem (época seca). Porém, a grande preocupação é que a intensificação de tal prática venha futuramente resultar em impactos negativos relacionados à conservação genética, perpetuação e regeneração natural da espécie.

Nessa perspectiva, dentre as possíveis medidas mitigadoras que podem ser realizadas para evitar e/ou amenizar tal cenário, destacam-se a utilização desta espécie em programas de reflorestamento, recuperação/restauração e sistemas consorciados. Tais ações geram grandes demandas por sementes de qualidade.

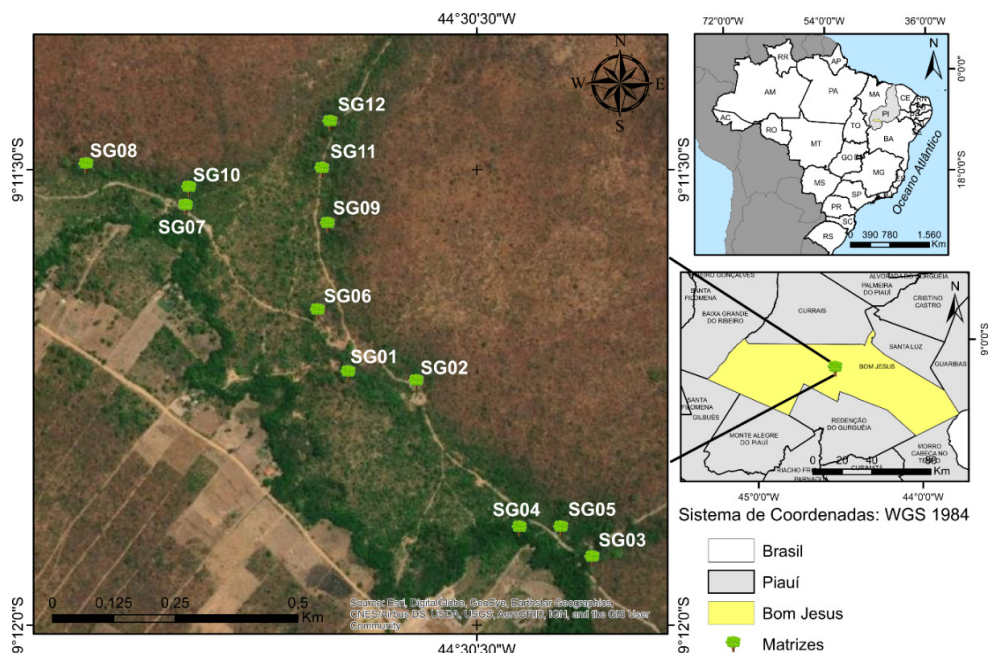
Quando se visa sementes de espécies florestais nativas para fins de reflorestamentos e/ou programas de recuperação/restauração florestal, um dos grandes desafios é a obtenção de sementes que atendam os critérios de qualidade física, fisiológica, e, principalmente, genética (Silva et al., 2014). Logo, para assegurar a qualidade genética dos propágulos a serem coletados, faz-se necessário o conhecimento da variabilidade genética existente em populações naturais. Tais informações também são fundamentais para a conservação e melhoramento genético das espécies (Kampa et al., 2020; Aguiar et al., 2019; Zaruma et al., 2015; Otsubo et al., 2015).

Nessa perspectiva, objetivou-se com a realização do estudo verificar a dissimilaridade genética entre árvores matrizes de *P. platycephala* a partir da avaliação de suas progênies.

## 2 | MATERIAL E MÉTODOS

As sementes que constituem o material genético desta avaliação foram coletadas de 12 árvores matrizes de *P. platycephala*, em remanescente de transição cerrado-caatinga,

Bom Jesus-PI (Figura 1).



O teste de germinação foi conduzido no Laboratório de Ecofisiologia Florestal da Universidade Federal do Piauí, Campus Profa. Cinobelina Elvas, adotando-se o delineamento experimental inteiramente casualizado (DIC), com 12 tratamentos (matrizes/progênes) e quatro repetições de 25 sementes. As sementes foram submetidas à escarificação mecânica, com lixa nº 80, do lado oposto à micrópila (Nascimento et al., 2009), posteriormente, desinfestadas com solução de hipoclorito de sódio a 5%, durante 5 minutos e, lavadas com água destilada. A semeadura foi realizada em caixas gerbox, preenchidas com o substrato vermiculita (autoclavado a 120°C durante duas horas), umedecido com solução de nistatina a 0,2%, sendo o volume correspondente a 60% de sua capacidade de retenção. A germinação ocorreu em germinador tipo B.O.D, regulado à temperatura alternada de 25-35 °C, sob luz contínua (Silva et al., 2017).

A variabilidade genética entre as progênes de *P. platycephala* foi determinada a partir das seguintes variáveis: **germinação (%)** - sendo considerado para tal, o número de sementes germinadas aos 10 dias após instalação do teste, adotando-se como critério de germinação o surgimento do hipocótilo e emergência dos cotilédones; **teor de água das sementes**- determinado utilizando-se o método da estufa a  $105 \pm 3$  °C por 24 horas

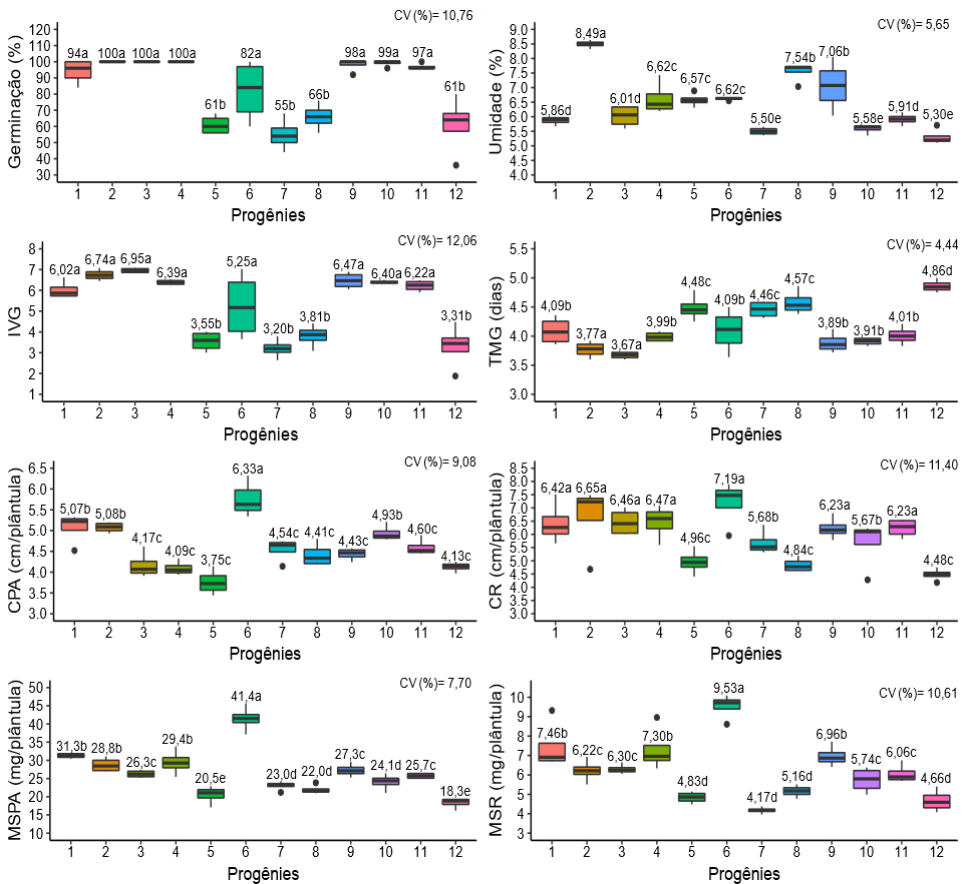
(Brasil, 2009); índice de velocidade de germinação - calculado conforme Maguire (1962); **tempo médio de germinação** – obtido de acordo com Labouriau e Valadares (1976); **comprimento da parte aérea e da raiz primária de plântulas** - realizou-se a mensuração com uso de uma régua, sendo os resultados expressos em cm plântula<sup>-1</sup>; **matéria seca da parte aérea e do sistema radicular** - as plântulas separadas em raiz e parte aérea, foram colocados em sacos de papel kraft, levados à estufa regulada a 60 °C durante 24 horas, decorrido esse período, foram pesadas e os resultados expressos em mg plântula<sup>-1</sup>.

Os dados foram submetidos a análises descritivas, de variância (ANOVA) e dissimilaridade genética. A análise de variância foi realizada usando o pacote estatístico *Exp.Des* (Ferreira et al., 2013), e quando significativa pelo teste F ( $p < 0,05$ ), as médias fenotípicas foram agrupadas pelo teste ScottKnott ( $p < 0,05$ ). As estimativas de dissimilaridade foram realizadas com base na matriz de distâncias genéticas, a qual foi obtida a partir da distância Euclidiana média. Para isso foi utilizado o pacote estatístico *Vegan* (Oksanen et al., 2018). Para as análises de agrupamento pelo método hierárquico UPGMA (*Unweighted Pair Group Using an Arithmetic Average*), utilizou-se o pacote estatístico *Vegan* (Oksanen et al., 2018), para o método de Tocher, o pacote usado foi o *Biotoools* (Silva et al., 2017), e como forma de complementar as análises realizadas e extrair mais informações do conjunto de dados, foi realizado a análise componentes principais (ACP), com os pacotes estatísticos *FactoMineR* (Lê et al., 2008) e *Factorextra* (Kassambara; Mundt, 2020).

Todas as análises realizadas nesse trabalho foram efetuadas em ambiente estatístico R (R Core Team, 2018). Na elaboração das figuras e gráficos, utilizou-se o pacote estatístico *ggplo2* (Wickham, 2016).

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

A precisão nas estimativas de dissimilaridade genética das progênies de *P. platycephala*, foi assegurada pelos baixos valores de coeficientes de variação fenotípica ( $CV_{( \% )} \leq 12\%$ ), observado para todas as variáveis analisadas (Figura 2).



Germinação (%) [Porcentagem de germinação]; Umidade (%) [Teor de água das sementes];  
 IVG [índice de velocidade de germinação]; TMG [Tempo médio de germinação (dias)];  
 CPA [Comprimento de parte aérea (cm.plântula<sup>-1</sup>); CR [Comprimento da raiz principal (cm.  
 plântula<sup>-1</sup>); MSPA [Matéria seca da parte aérea (mg plântula<sup>-1</sup>); MSR [Matéria seca do sistema  
 radicular (mg plântula<sup>-1</sup>)].

Figura 2: Análise descritiva e estatística das variáveis quantitativas de germinação e vigor de plântulas das progênes de *Parkia platycephala* Benth., coletada de 12 árvores matrizes.

As progênes de *P. platycephala* apresentaram diferenças estatísticas ( $p < 0,05$ ) quanto as médias fenotípicas de germinação, teor água das sementes, índice de velocidade de germinação, tempo médio de germinação, comprimento e matéria seca da parte aérea e sistema radicular das plântulas. Ao observar a figura 2, observa-se que as progênes de *P. platycephala* apresentaram variabilidade tanto dentro, como entre as árvores matrizes avaliadas, para a germinação e vigor de plântulas, no entanto, quando se visa a obtenção de sementes para fins de restauração e/ou reflorestamento, além da diferença fenotípica, conhecer o grau de divergência genética entre as árvores selecionadas como porta

sementes é essencial.

As estimativas de distâncias genéticas e análises de agrupamento (UPGMA, Tocher e Componentes Principais), são técnicas quantitativas que possibilitam evidenciar o parentesco existente entre progênies, de modo que, progênies de um mesmo grupo apresentam similaridades genéticas para os devidos caracteres avaliados (Silva, 2020). As distâncias genéticas das 12 árvores matrizes de *P. platycephala*, com base na avaliação de suas progênies, variaram de 2,92 a 45,95 (Tabela 1), o que indica divergência entre elas, e consequentemente, significativa variabilidade genética no material coletado.

	SG01	SG02	SG03	SG04	SG05	SG06	SG07	SG08	SG09	SG10	SG11	SG12
SG01		7,25	8,27	7,08	35,19	16,73	40,56	30,60	9,91	12,73	11,91	37,42
SG02			3,78	3,22	40,23	22,80	45,94	35,40	7,65	9,85	10,32	41,98
SG03				3,58	39,69	24,14	45,51	34,88	6,56	7,55	8,62	41,08
SG04					40,23	22,00	45,80	35,26	5,84	8,42	8,60	41,62
SG05						30,27	7,01	6,13	38,03	38,65	37,02	7,51
SG06							33,30	25,91	21,87	25,07	22,67	32,50
SG07								11,38	43,50	44,26	42,43	9,26
SG08									32,66	33,31	31,56	7,77
SG09										4,09	3,10	38,49
SG10											2,92	38,67
SG11												36,98

Tabela 1. Matriz de dissimilaridade genética de 12 árvores matrizes de *Parkia platycephala* Benth.

As maiores distâncias genéticas foram encontradas entre as progênies das matrizes SG02 e SG07 (45,95) e SG04 e SG07 (45,80) (Tabela 1). Já as menores distâncias, foram observadas entre as progênies coletadas das árvores matrizes SG10 e SG11 (2,92), e SG09 e SG11 (3,10). Ao observar a figura 1 e a tabela 2, esperava-se que as progênies coletadas de árvores mais próximas geograficamente, apresentassem maior grau de similaridade genética entre si, porém, com exceção das matrizes SG09 e SG11 (3,10; 112 m), esse comportamento foi diferente para as árvores matrizes SG10 e SG07 (44,26; 35 m), SG11 e SG12 (36,98; 98 m), SG06 e SG01 (16,73; 139 m), SG01 e SG02 (7,25; 140 m), SG04 e SG05 (40,23; 84 m) e SG03 e SG05 (39,69; 85 m).

Matrizes mais dissimilares possíveis são as mais interessantes para a formação de áreas de coletas de sementes com fins para conservação e programas de recuperação e/ou restauração florestal, uma vez que poderão contribuir para a formação de populações com base genética mais ampla. O mesmo tratamento deve ser dispensado para as matrizes

com dissimilaridades baixas, as quais devem ser desconsideradas a fim de evitar perdas genéticas desnecessárias.

O agrupamento pelo método de UPGMA possibilitou a formação de três grupos, demonstrando que para este conjunto de árvores matrizes há divergência genética (Figura 3). O grupo I foi o que apresentou maior número de matrizes (SG01, SG02, SG03, SG04, SG09, SG10 e SG11), o grupo II apenas a matriz SG06 e o grupo III com quatro matrizes (SG05, SG08, SG07e SG12). Como ressaltado anteriormente ao analisar a matriz de distâncias genéticas entre as árvores matrizes (Tabela 1), a formação dos grupos não ocorreu como o esperado, pois indivíduos mais próximos geograficamente se agruparam tanto no mesmo grupo, como em grupos diferentes, conforme sua similaridade genética.

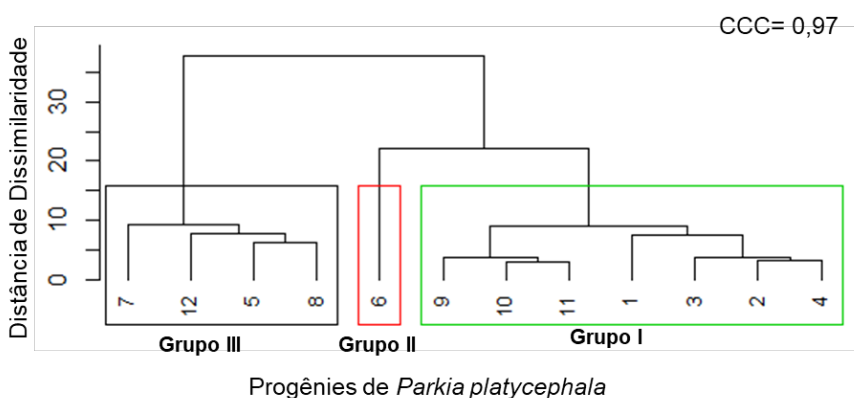


FIGURA 3: Dendrograma representativo da dissimilaridade genética entre 12 matrizes de *Parkia platycephala* Benth.

De acordo com Araújo et al. (2020), estimativas como essas possibilitam delinear estratégias para a coleta de sementes mais eficientes, de modo que, a coleta de sementes seja realizada em árvores matrizes mais distantes geneticamente. Além disso, o agrupamento por meio do método UPGMA, também pode ser utilizado como auxílio para a seleção de genótipos dissimilares, e estes podem ser usados em intercruzamentos visando o aumento da variabilidade genética, uma vez que esta é fundamental em programas de melhoramento, conservação genética e amostragem para coleta de sementes com maior variabilidade genética (Cruz et al., 2012).

O agrupamento das árvores matrizes, com base no desempenho germinativo de suas progênies, pelo método de Tocher (Tabela 2), foi similar ao agrupamento apresentado no dendrograma (FIGURA 3). O grupo I foi formado com 58,30% das progênies, grupo II com 33,30% e no grupo III, apenas as progênies coletadas na árvore matriz SG06.



Grupos	Árvores Matrizes						
I	SG10	SG11	SG09	SG03	SG04	SG02	SG01
II		SG05	SG08	SG12	SG07		
III			SG06				

Tabela 2. Agrupamento de 12 árvores matrizes de *Parkia platycephala* pelo método de Tocher, baseado na matriz de distância genética. CCC= 0,97.

Diferente do método UPGMA, que a divisão dos grupos pode ser realizada de forma subjetiva, uma observação mais visual do número de grupos (Cruz et al., 2012), o método de Tocher é mais objetivo, sua interpretação é mais fácil, sendo, portanto, o mais indicado quando se avalia grandes números de genótipos (Rocha et al., 2007). O método de Tocher constitui um método de agrupamento simultâneo, no qual, tem-se a separação dos genótipos avaliados em grupos de uma única vez (Bispo et al., 2020).

Os coeficientes de correlação cofenética (CCC) dos agrupamentos utilizados para análise da dissimilaridade genética das 12 progênes de *P. platycephala* foram de 0,97. Esse valor indica que os métodos utilizados foram adequados, assim como apresentaram uma boa representatividade entre a matriz de distância genéticas e os agrupamentos (método UPGMA (dendrograma) e Tocher), e menor distorção entre as distâncias de dissimilaridade genética e os agrupamentos (Cruz et al., 2012).

A estimativa dos componentes principais (ACP) também foi realizada para complementar as análises de agrupamentos. Os autovalores e porcentagens da variância explicada por cada componente principal estão apresentados na tabela 3.

Componentes	Estimativas de Autovalores		
	Raiz	Proporção (%)	Proporção Acumulada (%)
1	5,10	63,73	63,73
2	1,51	18,87	82,60
3	0,91	11,34	93,94
4	0,26	3,26	97,20
5	0,19	2,35	99,55
6	0,03	0,40	99,95
7	3,00 10 <sup>-3</sup>	0,03	99,98
8	1,00 10 <sup>-3</sup>	0,02	100

Tabela 3. Estimativa dos autovalores associados aos componentes principais, importância relativa e acumulada referente as oito variáveis avaliadas em progênes de 12 árvores matrizes de *Parkia platyvephala* Benth.

Com a ACP, foi possível verificar que, com apenas os dois primeiros componentes principais é possível explicar 82,60% de toda a variação existente entre as 12 progênies de *P. platycephala* (Tabela 3). Quando a variação acumulada nos dois primeiros componentes principais for superior a 80%, de acordo com Hongyu et al. (2016), a ACP com os dois componentes já é eficiente para explicar a variância total da amostra de trabalho.

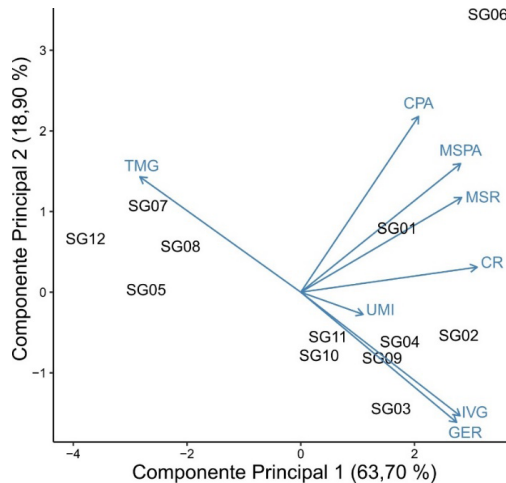
A variável mais correlacionada com o componente principal 1 (CP1) foi o comprimento de raiz primária (=0,95), e com o componente principal 2 (CP2), o comprimento de parte aérea (=0,67), conforme apresentado na tabela 4. Na mesma tabela estão apresentadas ainda as correlações das demais variáveis com os dois componentes principais.

Variáveis	CP 1	CP 2
GER	0,84**	-0,49 <sup>ns</sup>
UMI	0,34 <sup>ns</sup>	-0,08 <sup>ns</sup>
IVG	0,86**	-0,49 <sup>ns</sup>
TMG	-0,87**	0,44 <sup>ns</sup>
CPA	0,63**	0,67*
CR	0,95**	0,10 <sup>ns</sup>
MSPA	0,86**	0,49 <sup>ns</sup>
MSR	0,87**	0,36 <sup>ns</sup>

GER [Porcentagem de germinação]; UMI [Teor de água das sementes]; IVG [índice de velocidade de germinação]; TMG [Tempo médio de germinação (dias)]; CPA [Comprimento de parte aérea (cm plântula<sup>-1</sup>)]; CR [Comprimento da raiz principal (cm .plântula<sup>-1</sup>)]; MSPA [Matéria seca da parte aérea (mg plântula<sup>-1</sup>)]; MSR [Matéria seca do sistema radicular (mg plântula<sup>-1</sup>)].

Tabela 4. Correlações das oito variáveis avaliadas com os dois primeiros componentes principais.

Dentre as variáveis analisadas o teor de água das sementes foi a variável que menos contribuiu para a variação total das 12 matrizes de *P. platycephala*, tal resultado poder ser verificado na sua correlação não significativa com os componentes principais (Tabela 4), e pelo seu vetor (UMI), que em relação aos demais, apresenta menor comprimento (Figura 4).



GER [Porcentagem de germinação]; UMI [Teor de água das sementes]; IVG [índice de velocidade de germinação]; TMG [Tempo médio de germinação (dias)]; CPA [Comprimento de parte aérea (cm plântula<sup>-1</sup>)]; CR [Comprimento da raiz principal (cm plântula<sup>-1</sup>)]; MSPA [Matéria seca da parte aérea (mg plântula<sup>-1</sup>)]; MSR [Matéria seca do sistema radicular (mg plântula<sup>-1</sup>)].

Figura 4: Dispersão gráfica dos escores de 12 árvores matrizes de *Parkia platycephala* Benth., estimadas a partir de 8 variáveis quantitativas de germinação e vigor de plântulas de suas progênes.

Assim como nos agrupamentos UPGMA e Tocher, pela dispersão dos pontos (matrizes) no gráfico, observa-se que as matrizes mais próximas são as mais similares geneticamente, e a mais distante, como a SG06, que ficou mais isolada, é a mais divergente geneticamente das demais matrizes.

Além disso, pela análise de componentes principais (Figura 4), é possível identificar com maior facilidade as árvores matrizes que apresentam as progênes com qualidade fisiológica de sementes e plântulas superiores. A exemplo temos, as progênes coletadas nas matrizes SG02, SG03, SG04, SG09, SG10 e SG11, que apresentaram maior porcentagem de germinação ( $GER \geq 98\%$ ) e maiores índice de velocidade de germinação ( $IVG \geq 6,22$ ), como observado na figura 2.

A seleção de pais mais divergentes implicará em progênes de maior variabilidade genética (Manfio et al., 2012). Quando se visa programas de conservação e a formação de população base para o pré-melhoramento genético, a coleta de sementes de árvores matrizes com alto grau de parentesco não é desejável, pois posteriormente, cruzamentos entre as plantas aparentadas tendem a favorecer a depressão por endogamia e conseqüentemente redução da variabilidade genética da população instalada (Tambarussi et al., 2017).

A utilização conjunta dos métodos de agrupamento realizados, além de complementar os resultados e auxiliar na melhor diferenciação dos grupos formados (Ramalho et al., 2016),

impedem inferências errôneas quanto a alocação das progênies de determinada matriz dentro de um dado subgrupo (Arriel et al., 2006). No caso desse estudo, as progênies de *P. platycephala* que ficaram reunidas no mesmo grupo, apresentam similaridade genética para as variáveis de germinação e vigor de suas sementes e plântulas, deste modo, visando formar lotes com maior variabilidade genética, recomenda-se coletar sementes de árvores matrizes de grupos diferentes.

## 4 | CONCLUSÃO

Há significativa dissimilaridade genética entre as progênies de *P. platycephala*, sendo recomendado que sejam priorizados os indivíduos mais distantes geneticamente como matrizes fornecedoras de sementes para projetos de restauração florestal, bem como para fins de conservação e melhoramento genético da espécie.

## AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) projeto “Definição de zonas de coleta de sementes de *Parkia platycephala* Benth., no sul do Piauí, com base em parâmetros genéticos de caracteres juvenis de progênies” - processo: 461950/2014-6.

A Universidade Federal do Piauí/Campus Professora Cinobelina Elvas e aos membros do grupo de pesquisa Tecnologia, produção e fisiologia de sementes e mudas de espécies florestais.

## REFERÊNCIAS

- AGUIAR. B.I.; FREITAS. M.L.M.; TAVARES. Y.R.; TAMBARUSSI. E.V.; ZANATTO. B.; GANDARA. F.B.; PALUDETO. J.G.Z.; SILVA. D.Y.B.O.; SILVA. J.R.; MORAES. M.L.T.; LONGUI. E.L.; ZANATA. M.; SEBBENN. A.M. Genetic control of silvicultural traits in *Balfourodendron riedelianum* (ENGL.) ENGL.. **Silvae Genetica**, v.68, n.1, p.73 - 78, 2019.
- ALVES, A.A.; SALES, R.O.; NEIVA, J.N.; MEDEIROS, A.N.; BRAGA, A.P.; AZEVEDO, A.R. Degradabilidade ruminal *in situ* de vagens de faveira (*Parkia platycephala* Benth.) em diferentes tamanhos de partículas. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 59, n. 4, p. 1045-1051, 2007.
- ARAUJO, F. D. S.; FELIX, F. C.; FERRARI, C. D. S.; VIEIRA, F. D. A.; PACHECO, M. V. SEED QUALITY AND GENETIC DIVERSITY OF A CULTIVATED POPULATION OF *Mimosa caesalpinifolia* BENTH. **Revista Caatinga**, v. 33, n. 4, p. 1000-1006, 2020.
- ARAÚJO, M. J.; MIRANDA, H. H.; MARQUES, C. A. T.; BATISTA, I. L.; CARVALHO, F. J. V.; JÁCOME, D. L. S.; EDVAN, R. L.; SILVA, T. P. D.; BEZERRA, L. R.; LIMA, A. G. V. O.; OLIVEIRA, R. L. Effect of replacing ground corn with *Parkia platycephala* pod meal on the performance of lactating Anglo-Nubian goats. **Animal Feed Science and Technology**, v. 258, p. 114313. 2019.

ARRIEL, N. H. C.; DI MAURO, A. O.; DI MAURO, S. M. Z.; BAKKE, O. A.; UNÉDA-TREVISOLI, S. H.; COSTA, M. M.; CAPELATO, A.; CORRADO, A. R. Técnicas multivariadas na determinação da diversidade genética em gergelim. usando marcadores RAPD. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 5, p.801-809, 2006.

BISPO, R. B.; DARDENGO, J. D. F. E.; BISPO, R. B.; BISPO, R. B.; ROSSI, A. A. B. Divergência genética entre genótipos de *Mauritia flexuosa* L. f. por meio de morfometria de frutos e sementes. **Nativa**, v. 8, n. 4, p. 585-590, 2020.

CRUZ, C.D.; REGAZZI, A.J.; CARNEIRO, P.C.S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 4.ed. Viçosa: UFV, 2012. 514p.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília: MAPA/ACS, 2009. 399 p.

FERREIRA, E. B.; CAVALCANTI, P. P. NOGUEIRA, D. A. **ExpDes.pt**: Experimental Designs package (Portuguese). R package version 1.1.2. 2013. Disponível em: <<http://CRAN.R-project.org/package=ExpDes.pt>>. Acesso em: 25 Jan 2021.

HONGYU, K.; SANDANIELO, V. L. M.; JUNIOR, G. J. O. Análise de Componentes Principais: resumo teórico, aplicação e interpretação. **E&S - Engineering and Science**, v. 5, n. 1, p. 83-90, 2016.

KAMPA, M. B.; HOMCZINSKI, I.; ROQUE, R. H.; FIGUEIREDO FILHO, A.; PERES, F. S. B.; TAMBARUSSI, E. V. Genetic variability in nursery-grown progenies of *Campomanesia xanthocarpa* Mart. ex O. Berg. **Scientia Forestalis**, v. 48, n. 125, p. 1-10, 2020.

KASSAMBARA, A.; MUNDT, F. **Package 'factoextra'**. Extract and visualize the results of multivariate data analyses, 2020. Disponível em: <http://www.sthda.com/english/rpkgs/factoextra>. Acesso em: 20 jan. 2021

LABOURIAU, L.G.; VALADARES, M.E.B. On the germination of seeds *Calotropis procera* (Ait.) Ait.f. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro. v.48, n.2, p. 263-284, 1976.

LÊ, S.; JOSSE, J.; HUSSON, F. FactoMineR: An R Package for Multivariate Analysis. **Journal of Statistical Software**, v. 25, n. 1, p.1-18. 2008.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas do Brasil**. 4. ed. São Paulo: Instituto Plantarum, 2013. 384p.

MANFIO, C. E.; MOTOIKE, S. Y.; DE RESENDE, M. D. V.; DOS SANTOS, C. E. M.; SATO, A. Y. Evaluation of macaw palm progenies in juvenile phase and estimates of genetic parameters and genetic diversity. **Pesquisa Florestal Brasileira**, 32: 63-68, 2012.

MAGUIRE, J.D. Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. **Crop Science**, v. 2, n. 1, p. 176-177, 1962.

NASCIMENTO, I. L. D.; ALVES, E. U.; BRUNO, R. D. L. A.; GONÇALVES, E. P.; COLARES, P. N. Q.; MEDEIROS, M. S. D. Superação da dormência em sementes de faveira (*Parkia platycephala* Benth). **Revista Árvore**, v. 33, n. 1, p. 33-45, 2009.

OKSANEN, J.; BLANCHET, F. G.; FRIENDLY, M.; KINDT, R.; LEGENDRE, P.; MCGLINN, D.; MINCHIN, P. R.; O'HARA, R. B.; SIMPSON, G. L.; SOLYMOS, P.; HENRY, M.; STEVENS, H.; SZOEC, E.; WAGNER, H. The vegan Package - Community Ecology Package. **R package Version 2.5-2**. 295p. 2018. Disponível em: <https://cran.r-project.org>, <https://github.com/vegandevs/vegan>. Acesso em: 08 de março. 2019.

OTSUBO, H.C.B.; MORAES, M.L.T.; MORAES, M.A.; JOSÉ NETO, M.; FREITAS, M.L.M.; COSTA, R.B.; RESENDE, M.D.V.; SEBBENN, A.M. Variação genética para caracteres silviculturais em três espécies arbóreas da região do bolsão sul-mato-grossense. **Cerne**, v. 21, n. 4, p. 535-544, 2015.

RAMALHO, A. B.; ROSSI, A. A. B.; DARDENGO, J. F. E.; ZORTÉA, K. É. M.; TIAGO, A. V.; MARTINS, K. C. Diversidade genética entre genótipos de *Bertholletia excelsa* por meio de marcadores moleculares ISSR. **Floresta**, v. 46, n. 2, p. 207-214, 2016.

ROCHA, M.G.B.; PIRES, I.E.; ROCHA, R.B.; XAVIER, A.; CRUZ, C.D. Seleção de genitores de *Eucalyptus grandis* e de *Eucalyptus urophylla* para produção de híbridos interespecíficos utilizando REML/BLUP e informação de divergência genética. **Revista Árvore**, v. 3, n. 6, p. 977-987, 2007.

R CORE TEAM. R: **A language and environment for statistical computing**. Vienna. Áustria: R Foundation for Statistical Computing. 2018. Disponível em: <<https://www.r-project.org/>>. Acesso em: 20 ago. 2020.

Silva, D. Y. B. D. O. **Variabilidade genética de teste de procedências e progênies de *Parkia platycephala* Benth.** 2020. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal)-Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Botucatu, 2020.

SILVA, R.B.; MATOS, V.P.; FARIAS, S.G.G.; SENA, L.H.M.; SILVA, D.Y.B.O. Germinação e vigor de plântulas de *Parkia platycephala* Benth. em diferentes substratos e temperaturas. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 48, n. 1, p. 142-150, 2017.

SILVA, A. R.; MALAFAIA, G.; MENEZES, I. P. P. biotools: an R function to predict spatial gene diversity via an individual-based approach. **Genetics and Molecular Research**, v. 16, p. gmr16029655, 2017.

SILVA, R.J.N.; SILVA, I.; MARTINS, C.C. Formação de coletores de sementes nativas da Mata Atlântica. **Revista NERA**, v.17, n.24, p.122- 132, 2014.

TAMBARUSSI, E. V.; BOSHIER, D.; VENCOSKY, R.; FREITAS, M. L. M.; SEBBENN, A. M. Inbreeding depression from selfing and mating between relatives in the Neotropical tree *Cariniana legalis* Mart. Kuntze. **Conservation Genetics**, v. 18, p. 225–234, 2017.

ZARUMA, D.U.G.; CANUTO, D.; PUPIN, S.; CAMBUIM, J.; SILVA, A.M.; MORI, E.S.; SEBBENN, A.M.; MORAES, M.L.T. Variabilidade genética em procedências e progênies de *Dipteryx alata* vogel para fins de conservação genética e produção de sementes. **Scientia Forestalis**, v. 43, n. 107, p. 609-615, 2015.

WICKHAM, H. **ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis**. Springer-Verlag New York. 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/978-0-387-98141-3>.

# CAPÍTULO 19

## LAPSUS TRÓPICUS E A DIALÉTICA DO ANTHROPOCENO

Data de aceite: 03/05/2021

Data de submissão: 05/02/2021

**Karen Aune**

Universidad de los Andes, Facultad de  
Arquitectura y Diseño  
Bogotá – Colombia  
<https://orcid.org/0000-0002-8399-4981>  
[https://scienti.minciencias.gov.co/cv/lac/  
visualizador/generarCurriculoCv.do?cod\\_  
rh=0001264923](https://scienti.minciencias.gov.co/cv/lac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod_rh=0001264923)

**RESUMO:** O presente projeto é derivado de uma pesquisa a partir da prática criativa que teve como objetivo a concepção de uma obra de arte que reflexionasse sobre a relação entre o ser humano, a tecnologia e a natureza mediante o processo criativo de *Lapsus Trópicus*, uma instalação cujo origem se encontra na hipótese fictícia sobre o que passaria se um *glitch* -um erro informático- transformasse um ecossistema específico. A pesquisa tem em conta os aspectos conceituais, formais e técnicos do processo artístico que dialoga com referentes como arte design, arquitetura, ficção científica e alguns momentos históricos importantes no desenvolvimento da ciência.

**PALAVRAS-CHAVE:** Arte, Ciência, Tecnologia, Desing Paramétrico.

### LAPSUS TRÓPICUS AND THE ANTHROPOCENE DIALECTIC

**ABSTRACT:** This Project is derived from a research through the creative practice, that aims at the conception of an artwork that reflects on the relationship between the human being, technology and nature. This is shown through the creation process of *Lapsus Trópicus*, an installation whose origin lies in the hypothesis of what would happen if a *glitch* -a computer error - began to transform a specific ecosystem. The research took into account the conceptual, formal and technical aspects of an artistic process that dialogues with references such as art, design, architecture, science fiction and key historical moments in the development of science.

**KEYWORDS:** Art, Science, Technology, Parametric design.

### 1 | INTRODUCCIÓN

El presente proyecto parte de una investigación desde la practica creativa, y tiene como objetivo generar una reflexión sobre la relación entre el ser humano, la tecnología y la naturaleza, mediante el proceso de concepción y desarrollo de la obra *Lapsus Trópicus*, cuyo origen se encuentra en la hipótesis ficticia, sobre qué pasaría si un *glitch* —un error informático— empezara a transformar un ecossistema específico. La obra llama la atención a las causas y consecuencias de la evolución del ser humano mediante las tecnologías que ha creado, su

impacto sobre la naturaleza y las posibles consecuencias de la era del Antropoceno.

*Lapsus* es la palabra en latín para error o imprevisto, y a la vez *glitch*, significa lo mismo el ámbito informático. Mientras la palabra *tropicus* tiene un origen grecolatino que significa vuelta, y también hace referencia a la zona tropical, consecuencia de la combinación de la inclinación del planeta y su vuelta al sol, lo que da como resultado una región que tiene la mayor diversidad ecológica del planeta. De este modo, el título de la obra, *Lapsus Trópicus*, habla de un *glitch* en un ecosistema biológico, pero a la vez artificial y virtual en donde los límites entre el ser humano y la naturaleza se diluyen en este universo imaginario.

Este texto tiene como objetivo aclarar algunos de los aspectos conceptuales, derivados del proceso creativo llevado a cabo para la concepción de la obra, que dialoga con referencias como el arte, el diseño, la arquitectura, el cine de ciencia ficción y momentos históricos claves en el desarrollo de la ciencia.

## 2 I DE LA PRAXIS ARTISTICA A LA MATRIX

Esta investigación tiene la obra de arte como su eje central, debido a que “la obra incorpora las respuestas de tal investigación por medio de una expresión simbólica” (Haseman, 2006), y tal obra “produce un conocimiento muy específico mediante la práctica con los materiales, ya que esta induce un cambio en el pensamiento, y que hay una reciprocidad entre la teoría y la praxis” (Bolt, 2007). De esta manera esta investigación desde la practica creativa tiene tres ejes desde los cuales se pueden plantear varios interrogantes que se complementan. El eje teórico-conceptual, que apoya las metáforas visuales de la obra; el eje formal, mediante la creación de elementos estéticos y comunicacionales coherentes al concepto; y el eje técnico que implica la materialización de ideas mediante la experimentación de materiales y tecnologías, considerando que no hay una frontera rígida entre pensamiento y materialización.

La ciencia ficción ha sido un referente importante para la concepción de mi obra debido a su constante especulación sobre el futuro de cada tecnología, los modos en que nos adaptamos a estas y los posibles efectos de su evolución, mediada por la naturaleza humana. En la ciencia ficción es factible explorar las utopías y las distopías mediante la creación de universos únicos, así, hay espacio para lo inimaginable, pero también lo hay para la reflexión sobre temas muy vigentes y necesarios, como anticipar el futuro a través de las acciones del presente. Por esta razón he desarrollado la reinterpretación visual de problemáticas relacionadas con los encuentros entre el tiempo y el espacio, lo virtual y lo real, lo orgánico y lo mecánico, y los acoplamientos entre lo digital y la biología. Técnicamente, he trabajado la apropiación fotográfica y videográfica en las construcciones pictóricas, escultóricas y espaciales de mi obra, valiéndome, entre otros recursos, del diseño y la fabricación digital para resaltar las traducciones del trabajo manual a las tecnologías de



reproducción de imágenes: de lo inmaterial a lo material; de crear a replicar; de la mente humana a la inteligencia artificial.



Figura 1: Karen Aune - *Lapsus Trópicus* Intervención en espacio de 153 m<sup>2</sup>, pintura sobre muro y en cortes de MDF de 3 mm sobre piso, espejos cóncavos en acrílico de 2 mm sobre muro. Pieza principal: corte numérico en triplex de 12 mm y acrílico de 3 mm - 95 x 182 x 1.600 cm. 2015

¿Cuál es el lugar del cuerpo o de la tecnología? ¿Cómo interpretar visualmente nuestra experiencia vital en un entorno dominado por tecnologías que nos desterritorializan y nos llevan cada vez más a la virtualidad? ¿Qué tan frágiles, o tan inmersos estamos en este universo paralelo que conquistamos y nos conquista a cada día? ¿En qué lado del *Matrix*<sup>1</sup> vivimos finalmente?

### 3 | LAPSUS TRÓPICUS: LA MUTACIÓN ESPACIO TEMPORAL

La obra *Lapsus Trópicus* fue desarrollada para el espacio de la Fundación El Faro de Tiempo en Bogotá en el año 2015, y consistió en una instalación *site specific*, que estimulaba al espectador a través de los sentidos a reconstruir en su mente un universo alterno y expandido.

Las paredes del espacio se extendían al suelo mediante formas orgánicas, como sombras imaginarias de un lugar infinito y artificial, que al continuar a través de los espejos ligeramente cóncavos ubicados en los extremos de la sala, distorsionaban la imagen de

<sup>1</sup> La utilización de la palabra *matrix* en el texto es una metáfora para pensar el espacio virtual desde el punto de vista de la película *The Matrix* que es una trilogía de películas de ciencia ficción dirigida por las hermanas Wachowski (1999-2003), que narra un mundo dominado por las máquinas e inteligencias artificiales que se alimentan de la conectividad de los humanos que viven en una ilusión colectiva inmersos un espacio virtual conocido como *Matrix* (The Matrix, s. f.).

la pieza escultórica principal, fabricada digitalmente en madera triplex y acrílico, que se desplazaba de forma invasiva por el espacio como un organismo vegetal mutante en un constante movimiento visual, que pareciera volver a salir del piso al otro extremo del espacio, a través de una segunda escultura paramétrica que ascendía como una planta en búsqueda de luz.

La experiencia se complementaba mediante una atmósfera sonora<sup>2</sup>, concebida a partir de grabaciones realizadas en florestas tropicales en el momento en que la fauna diurna empezaba a dar lugar a la nocturna y los sonidos a transformarse como consecuencia del cambio lumínico. La grabación se modificó utilizando como base el código genético del *Light Harvesting Complex*<sup>3</sup> que funciona como antenas procesadoras de luz en las *Monocotiledonia*<sup>4</sup>— clase botánica de las especies utilizadas para el diseño de la obra—, con el fin de tener una base numérica para modificar el sonido bajo la misma lógica de parámetros de las piezas escultóricas.

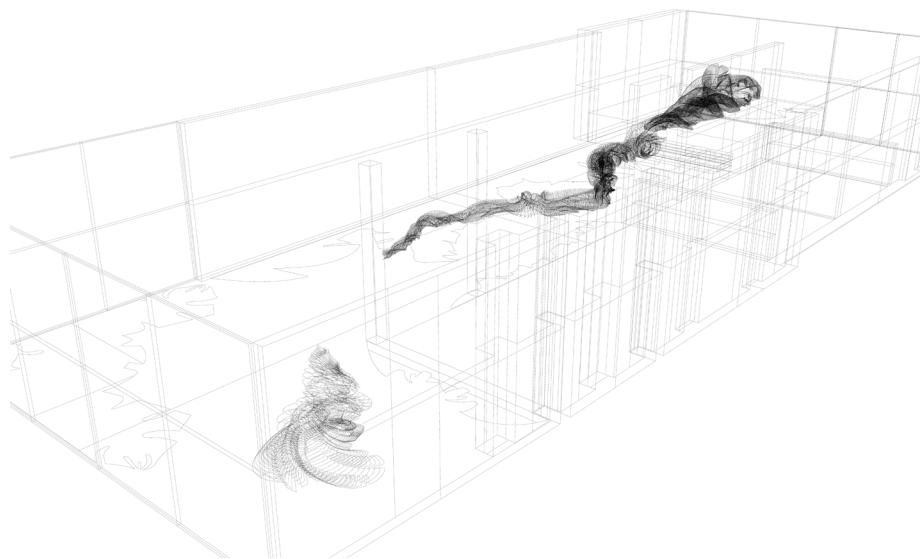


Figura 2: Karen Aune - *Lapsus Trópicus*: Planos Impresión digital sobre papel Hahnemühle Photo Matt Fiber 50 x 80 cm. 2015

Cada elemento formal presente en la obra, responde a un eje comunicacional, el acrílico amarillo lumínico, a la fotosíntesis mediante el plástico; la madera triplex artificial,

2 Diseño de sonido en colaboración con Alejandro Zuluaga y Pol Moreno.

3 Light Harvesting Complex es un complejo de pigmento y proteína que recolecta energía de la luz y la convierte en energía de excitón que puede migrar al centro de reacción fotosintética donde se produce la fotosíntesis. La luz es absorbida por las moléculas de pigmento que están unidas a la proteína (Light Harvesting Complex, s. f.).

4 Monocotiledóneas es una de las dos clases de plantas con flor (angiospermas). Son casi siempre herbáceas y a ella pertenecen plantas muy conocidas, como lirios, azucenas, orquídeas, gramíneas (trigo, maíz, caña de azúcar) y palmeras (s. f.).

a la bioética; la morfología del giro, a la transformación del ADN; los espejos cóncavos, a la dualidad mutante del *doppelgänger*<sup>5</sup> y su continuidad simétrica en el espacio virtual; el espacio gris como sombra, al espacio infinito de un *render*; y, por último, el sonido como eco del ADN de las plantas que mutan en tiempo real.

#### 4 I LA EXPERIENCIA TECNESTÉTICA

En los últimos 19 años mi obra empezó a incorporar elementos en los que se podía leer una especie de fusión entre el espacio orgánico y el numérico, lo real y su réplica expandida, como si este fuera la continuación de un universo virtual. Al borrar estos límites, se inicia una conversación sobre quiénes somos y cómo experimentamos o habitamos el planeta. Por un lado, tenemos la búsqueda de lo artificial como el paradigma de la perfección, por el otro, el cuestionamiento sobre la imperfección de la existencia misma.

El concepto de *glitch* como una falla digital que altera la organización del píxel, siendo este la síntesis de la imagen a partir del cálculo se complementa con la teoría de la “experiencia *tecnestética*” planteada por Couchot (2003). El autor reflexiona sobre los cambios sucesivos en la tecnología y cómo estos han modificado los modos de percepción, teniendo en cuenta que las técnicas son parte de un conocimiento complejo del que las opera, llevando siempre su trazo o singularidad. Por consiguiente, este proceso parte de una experiencia esencialmente sensible, donde el autor comparte la subjetividad de la obra con una tecnología que le aporta y la modifica perceptualmente.

En suma, la tecnología no es un mero canal para la solución de un problema creativo, se trata de un elemento vivo con el cual se establece un intercambio, debido a que esta modifica, interfiere y transforma no solo el producto final, sino la misma percepción del artista, así como la del espectador. Couchot afirma que las técnicas no son apenas medios de producción sino de percepción, debido a que el autor como operador, la controla y la manipula teniendo una experiencia íntima que transforma su percepción del mundo: la experiencia *tecnestética*. De esta manera, considera la idea del autor como una unidad con la tecnología, un conjunto que evoluciona en la manera de hacer y crear.

Es importante recordar las distintas tecnologías que han sido transformadas a través de los siglos y que ahora hacen parte de las herramientas que utilizamos los artistas. La introducción de artefactos ópticos como apoyo a los procesos de pintura (1420 y 1430) fue un hecho importante que evolucionó hacia la materialización de la primera imagen fotográfica. Según la investigación de Hockney y Falco es posible comprobar cuando se ha usado un artefacto óptico en la realización de una pintura, cuando se identifica el vestigio característico de un error óptico, siendo este el rastro de la impronta de una tecnología que la pone en evidencia.

5 La palabra *doppelgänger* significa “doble andante” en alemán, el término se utiliza para designar a cualquier doble (gemelo) de una persona o al fenómeno de la bilocación. El término es común en obras de ciencia ficción, en forma de ciber gemelos, *bots* (programas informáticos que imitan nuestro comportamiento), en este caso podría ser nuestro rastro de información virtual (Krotoski, 2016).

Los experimentos realizados por Marey (1899) y Muybridge (1872-1873) con el objetivo de hacer visible lo invisible, hicieron posible tener una huella de la esencia del movimiento, al mostrar la relación espacio y tiempo en una única imagen, permitiendo algo que los sentidos humanos no podían percibir. Sus inventos llevaron al desarrollo del cine a partir de toda una evolución de aparatos que vienen cambiando de forma significativa la manera como percibimos el mundo y como creamos a partir de ellos.

Russel A. Kirsch (1957), Ken Knowlton y Leo Harmon (1966), crearon la primera imagen digital procesada de la historia, esta representa la intersección entre la tecnología y el arte en donde la serendipia y la poética, jugaron un papel fundamental en la consolidación de esta alianza que llevó la fotografía al espacio numérico, ampliando sus posibilidades creativas modificando por completo la forma como entendemos la imagen. Igualmente paradójico, es el hecho que la fresadora de control numérico desarrollada por el MIT (1952) en el período de la guerra fría, con el objetivo de hacer más precisa la fabricación de piezas de aviones y artefactos militares, ha basado la evolución de su desarrollo actual en los sofisticados requerimientos de fabricación de las obras del artista Jeff Koons que está empujando las barreras de la ingeniería como nunca se había hecho antes, contribuyendo a cambios significativos en la tecnología (Nadya Peek, 2016).

El colectivo multimedia panGenerator realizó *Float* en 2012, una instalación que consistía en una pecera rodeada de dos cámaras, las cuales rastreaban y traducían los movimientos de un pez contenido en ella para materializar su comportamiento en una impresión 3D. Krystof Golinski (2012), miembro del colectivo, cuenta que “la instalación ofrece un buen ejemplo de cómo la tecnología puede servir para ampliar nuestra percepción de belleza, descubrir capas de realidad que antes eran inalcanzables y proporcionarnos una interfaz entre nuestros sentidos y lo imperceptible”. Esto me lleva a la búsqueda de Muybridge y Marey que pretendían hacer “hacer visible lo invisible”. Lo que me hace entender la impronta tecnológica de cada época y su evolución con base en el concepto de la experiencia tecnestética sugerida por Couchot.

Un objeto tridimensional puede habitar el mundo virtual mediante *renders* o animaciones pensadas para existir solo en la pantalla, los modelos arquitectónicos son un ejemplo claro de esto, hoy en día es difícil discernir a simple vista una simulación de un proyecto real. Hay una cierta belleza en la perfección numérica, quizás por su tangible imposibilidad, por esto, tal vez, estamos modificando todo en nuestro entorno en la búsqueda de este ideal. Todo es un producto recién salido de la máquina que lo crea y lo capitaliza. Las frutas no tienen bichos, las personas no envejecen, las casas no se deterioran, las plantas no se marchitan, los animales son dóciles, las nubes de lluvia no inundan las ciudades inmaculadas y el sol nunca calienta. ¿Todo es perfecto? Finalmente, un mundo sin órganos, sin carne, sin putrefacción, miseria o dolor...

Este sería el sueño del *cyborg*, o la pesadilla propuesta por Critical Art Ensemble (2001) “(CsO) el cuerpo sin órganos sueña con un cuerpo que jamás existió”.

Los inventos mencionados transformaron radicalmente la historia de las imágenes y de los objetos, y aunque sus propósitos fueran inicialmente alejados del arte, la manera como se manifestaron estas tecnologías no solo ejerció una gran influencia en los artistas, sino que dejó en evidencia su impronta en las obras mediadas por ellas, y esta fue más que un rastro técnico, sino que un *statement* de una época impregnado de sus valores. A lo largo de los años, distintas herramientas tecnológicas complementaron significativamente mi proceso creativo. Por esta razón entendí que el proceso de elaboración de mi obra constituye una gran parte de mi propia *experiencia tecnestética*, que en colaboración con dicha tecnología y su impronta, se extiende al espectador que, a su vez, es capaz de descifrar de forma poética los códigos estéticos implícitos en el objeto creado.



Figura 3: Karen Aune - *Lapsus Trópicus* Detalle de la pieza principal: corte numérico en triplex de 12 mm y acrílico de 3 mm - 95 x 182 x 1.600 cm. 2015

## 5 | LA TECNOLOGÍA DE LA MENTE

La bióloga colombiana Brigitte Baptiste plantea de manera muy sensible, sobre la relación que tenemos, con el medio ambiente y las plantas como mediadoras de la acción colectiva. Ella reflexionó sobre el conocimiento del yagé<sup>6</sup>, entre otros enteógenos<sup>7</sup>, utilizados por distintas culturas indígenas y se refirió a este como: una “tecnología de la mente”,

6 La ayahuasca o yagé, es una mezcla de dos plantas: la enredadera de ayahuasca (*Banisteriopsis caapi*) y un arbusto llamado chacruna (*Psychotria viridis*), que contiene el alucinógeno dimetiltriptamina (DMT). Es utilizada desde hace más de 5.000 años por los chamanes o curanderos del Amazonas como un camino para obtener la expansión de la conciencia (¿Qué es ayahuasca?, s.f.).

7 Un enteógeno es una sustancia vegetal utilizado en contextos ritualísticos y chamánicos. Tiene propiedades psicotrópicas y puede causar un estado modificado de conciencia. Su efecto es el de trasladarnos a una realidad, que se percibe más auténtica que el mundo habitual, una dimensión cargada de profundo significado religioso e impregnada de un sentimiento de lo sobrenatural (Wagner, 2010).

un invento increíble por sus propiedades neurológicas, una tecnología para la gestión ambiental que parte del cuerpo, debido a que se trata de una sustancia que disuelve el ego.

Baptiste aclara que la cultura del vicio realmente es la adicción al alimento continuo del ego, como por ejemplo la legitimación de las relaciones sociales, y la necesidad de probar el éxito y la felicidad constantemente, como la noción de triunfo desde un ego desbordado. Para Baptiste (2011), estas “tecnologías de la mente”, promueven la cooperación y la interacción entre las personas, además de una comprensión del entorno.

Los modos de percepción, al ser alterados mediante la experiencia en los espacios creados por algunos artistas, pueden ser comparables a una experiencia enteógena, la cual nos conecta con el entorno, ampliando nuestra noción de ser y estar, a una noción colectiva del pertenecer y existir como parte de un sistema complejo y sofisticado: la naturaleza.

Algunos artistas tienen la particularidad de que sus obras se presentan de forma experiencial, al *hackear* los sentidos y la percepción de un espectador que, al entrar, experimentar y participar de la pieza instalativa, comprende de forma emocional y corporal los aspectos comunicacionales de tales piezas. De esta manera, se aprende a través de los sentidos y no de la razón.

En su más reciente obra, el artista brasileño Ernesto Neto generó una reflexión sobre el conocimiento ancestral de distintas comunidades indígenas que se relacionan con el entorno de una manera simbiótica, y cómo estos nos pueden ayudar a recuperar la conexión perdida con el todo, para entendernos como parte de un contexto y no como un espectador de la vida, siendo esta una experiencia compleja. Neto llevó a la Bienal de Venecia del 2017 la obra *Un sagrado lugar*, que consistió en la recreación de un Cupixawa, una tienda ceremonial de los indígenas huni kuin, habitantes de la selva amazónica brasileña en el estado de Acre. La obra consistía en una experiencia, lo que suele ser característico del trabajo de Neto; sin embargo, en esta intervención particular, el asunto trascendía fronteras, en tanto los espectadores eran invitados a participar de los rituales de aprendizaje, sanación y conexión con la naturaleza practicados por los huni kuin, mediante cantos ceremoniales y el uso de la ayahuasca. En una entrevista, Neto dice que nos estamos alejando de la naturaleza y nos estamos enfermando, que no entendemos que esta no es algo externo, sino que hacemos parte de ella. En efecto, somos naturaleza.

De igual forma, el artista brasileño Henrique Oliveira hace parte de esa generación encargada de aportar nuevos elementos a la propuesta de Helio Oiticica y Lygia Clark, y, a su vez, de dar una continuación transversal a la obra de Ernesto Neto. Oliveira declara que parte del universo pictórico, de la experimentación con la materia, la cual encuentra en los *tapumes* —planchas de triplex de baja calidad, utilizados en Brasil para tapar provisionalmente espacios donde hay una construcción en proceso—. Los *tapumes* son la materia prima de la obra de Oliveira, quien los maneja con una plasticidad impresionante, como si fueran brochazos de pintura, para construir ambientes tridimensionales que

dialogan y se expanden en el espacio. Sus instalaciones dan al espectador la posibilidad de una exploración sensorial compleja, desde el olor a la madera vieja, hasta la multiplicidad de colores táctiles presentes en el interior y en el exterior de los espacios creados. De esta forma, la obra propone una metamorfosis que, a partir de los *tapumes* encontrados en los espacios urbanos, se desplaza hacia su origen, el árbol. Árbol que a la vez es y toma la arquitectura del espacio de forma voraz e invasiva y a través de un constante movimiento que parece retomar lo que es suyo. Pasear adentro de estas raíces y troncos es sentirlos vivos, expandiéndose cada segundo.

Por otro lado, me parece importante resaltar la forma de manejo del espacio del artista danés de ascendencia islandesa Olafur Eliasson. Creador de obras que apelan a los sentidos como forma de generar colectividad, Eliasson busca que el espectador experimente la obra desde su inteligencia emocional y sensorial, para lo cual recurre a los fenómenos naturales como parte importante del concepto de su trabajo. Al igual que Neto y Oliveira, Eliasson guía al participante de la obra mediante los sentidos, encargados de generar sentimientos que, a su vez, generan conocimiento. La emoción es un gran canal de conversación y la participación es el medio para generar el diálogo.

Este artista interdisciplinar es absolutamente coherente en todos sus proyectos, los cuales tienden hilos entre arte, diseño y arquitectura, de forma tan espectacular como sensible. En el Estudio Olafur Eliasson se han gestado proyectos de diferentes índoles, mediante la colaboración de un equipo de más de 100 personas. Tales proyectos van desde la creación de la fachada estructural del Harpa Concert Hall en Reykjavik (2011), hasta un libro de recetas vegetarianas, en el cual se expresa la importancia del cocinar, comer y crear en comunidad, o el proyecto *Little Sun* que, desde el 2012 lleva luz mediante un pequeño artefacto captador de energía solar a comunidades que aún no tiene acceso a este recurso.

En el año 2003, Eliasson realizó *The Weather Project*, intervención que tuvo lugar en la Turbine Hall de la Tate Modern de Londres. En esa ocasión, el artista instaló la mitad de un sol, realizado con lámparas de monofrecuencia, que reflejado en el techo cubierto de espejos no solo completaba su circunferencia, sino que transformaba las dimensiones del ambiente, incitando la participación de las personas que se encontraban en el lugar. Espacio en el cual se disipaba una especie de niebla, lo que creaba un hermoso paisaje en el ambiente, mediante un efecto duotono. Además de bellísima, la intervención generaba un sentido de colectividad y participación. Para este artista es importante que se pueda vivir y experimentar la obra en comunidad, sin necesariamente estar de acuerdo o entender algo de la misma manera, pensamiento —bastante escandinavo— que está siempre presente en su obra. Eliasson, de forma similar a Ernesto Neto, cree en la experiencia a través de los sentidos y las emociones, así como en el gesto corporal, como una forma de entender y aprender un mensaje o captar una idea poética.

Radicado en Canadá, el arquitecto inglés Philip Beesley realiza un trabajo

experimental que atraviesa y trasciende nociones de la arquitectura, el arte digital, la tecnología, el diseño, la biología, la moda y la ingeniería. Desde hace varios años, Beesley trabaja con un equipo de investigación multidisciplinar llamado Living Architecture Systems Group en la Universidad de Waterloo en Canadá. Su proyecto consiste en crear arquitecturas sensibles o responsivas, por medio de ambientes interactivos desarrollados de forma que se asimilen a ecosistemas con la capacidad de moverse, responder y aprender, con sistemas metabólicos que puedan renovar sus entornos, de forma adaptativa y empática hacia sus habitantes. Según Beesley (2012), su investigación se plantea como una arquitectura viva y puede integrar comportamientos basados en máquinas e intercambios químicos, además de tratar de entender las respuestas cognitivas, fisiológicas y emocionales de los habitantes. A largo plazo, se trata de encontrar estrategias prácticas para lograr la resiliencia y la adaptabilidad en estados de desequilibrio, como los que ocurren actualmente en el entorno natural, preparando una nueva generación de diseñadores con habilidades críticas y capacidad para trabajar con ambientes complejos.

Si la arquitectura de Beesley pretende aprender de la naturaleza para comunicarse con nosotros, la arquitectura, Neri Oxman, profesora de artes y ciencias de medios del MIT, muestra cómo esta naturaleza puede enseñarnos a trascender nuestra existencia actual. En varias de sus conferencias, ella afirma: “en la naturaleza no encontramos ensambles”, todo está formado mediante una variación inteligente de la misma materia. Su trabajo busca unir dos perspectivas, la tecnología y la naturaleza, mediante un proceso que se aleje del ensamble y se acerque al crecimiento. Oxman acuñó el término *material ecology*, que, en sus palabras, “considera que la computación, la fabricación y el material en sí, son dimensiones inseparables del diseño”. La arquitecta tiene, entonces, como objetivo aumentar la relación entre el diseño y los entornos naturales mediante principios inspirados y diseñados por la naturaleza, a través de nuevas tecnologías de fabricación y construcción digital que van de microescalas a macroescalas.

Los proyectos que desarrolla Oxman entienden los procesos biológicos como una tecnología sofisticada de la cual debemos aprender y que nos lleva a reflexionar sobre nuestros propios procesos de vida. En el 2013, con su grupo de investigación en el MIT, Mediated Matter, realizó un pabellón encargado de explorar la relación entre la fabricación digital y la biológica desde un producto de escala arquitectónica. Primero, el grupo realizó estudios sobre la capacidad del gusano de seda para generar un capullo tridimensional a partir de un único hilo, indagando en los patrones de construcción. Una vez finalizadas las inquisiciones preliminares, la investigación procedió a utilizar un algoritmo para construir la estructura hexagonal del pabellón, con el fin de que un conjunto de 6.500 gusanos la pudiera tejer de forma plana y además, llegar a su proceso de metamorfosis natural. Finalmente, instalaron esta estructura en un espacio con condiciones de luz y sombra que pudieran informar sobre el comportamiento de los gusanos y la densidad de su tejido, conforme los ciclos de luminosidad. De esta manera, el resultado fue un bellissimo pabellón



tejido por estas pequeñas criaturas. Además, el experimento generó una profunda reflexión sobre los procesos de la naturaleza y cómo debemos aprender más de ellos.

Los artistas, arquitectos y diseñadores a los cuales me refiero tienen en común el sentido participativo e interdisciplinar en sus proyectos, sus obras son informadas por la naturaleza, algunas son responsivas y empáticas como si fueran vivas, otras buscan alterar los sentidos mediante la percepción. Estos proyectos son elaborados de una manera tal que consiguen borrar el límite entre obra y espectador, con el objetivo de que este último entienda que es una parte importante de ella, específicamente, al complementar el sentido de los múltiples mensajes que conforman casi una conversación privada con cada uno de los individuos que habita o recorre la obra, aun cuando esta relación suceda en un espacio colectivo. De esta manera, considero que mi trabajo a lo largo de los años se ha enmarcado en una búsqueda similar. Las piezas que he mencionado son instalaciones y estas tienen ciclos de vida, se transforman según el nuevo lugar en el cual ocasionalmente vuelven a existir, a veces desaparecen por completo y la memoria parece apenas quedar en el registro visual tomado. Es interesante pensar la magnitud de estos proyectos y la vida corta que tienen en el sentido material, no obstante la vida larga que tienen en la memoria de aquellos que los experimentaron, en un proceso de aprendizaje completamente novedoso y particular.

## 6 | CONCLUSIONES

La reflexión realizada durante el proceso creativo para la realización de *Lapsus Trópicus*, me hizo entender la conexión entre las obras que he realizado en los últimos años y su pregunta implícita: cómo hemos evolucionado mediante nuestros inventos, cómo estos nos han transformado como seres humanos y, en consecuencia, cómo hemos cambiado nuestro entorno.



Figura 4: Karen Aune - *Lapsus Trópicus*: Peça secundaria Corte numérico en tríplex de 12 mm y acrílico de 3 mm 92 x 86 x 120 cm. 2015

Un concepto similar lo vengo a encontrar en la película de ciencia ficción: *Annihilation* del director Alex Garland (2018), basada en la novela homónima de Jeff VanderMeer (2014), que especula sobre la capacidad autodestructiva del ser humano al crear una metáfora sobre la interconectividad entre todos los elementos presentes en un ecosistema, mediante un fenómeno que refracta el código genético de sus habitantes y los muta entre si. El término *annihilation* puede significar erradicación o extinción, pero también la rendición del yo en un sentido místico, y desde la física, es la conversión de la materia en energía.

La materialización de la obra, además de ser un problema técnico o práctico, conllevaba a problemáticas y soluciones conceptuales. Consecuentemente, este proceso

de investigación mediado por la práctica creativa me llevó a reflexionar sobre cómo la tecnología que construye y a la vez modifica una obra mediante su rastro, va mucho más allá, en el sentido en que esta también modifica lo que somos en términos éticos y filosóficos.

Mi búsqueda en los distintos recursos tecnológicos para resolver la obra, como el diseño y la fabricación digital, viene de la intención de hacer presente el concepto de “la experiencia *tecnestética*” sugerida por Couchot (2003), “donde autor y tecnología se complementan”, lo cual deja en evidencia las posibilidades y límites de esta tecnología implícita en la elaboración de casi todas las cosas que experimentamos en la actualidad.

Esto se da con el motivo de abrir la discusión sobre las posibilidades presentes en la unión entre ser humano, tecnología y naturaleza, explorando los debates sobre biotecnología y mundos virtuales versus la fragilidad del universo biológico, apuntando y cuestionando la ficción de un futuro por venir. De esta manera, es posible entender lo que afirma Neri Oxman (2015), cuando dice que “en la naturaleza no hay ensamblajes, sino una continuidad inteligente en la materia, de modo tal que la tecnología debería ser utilizada para crear diseños biológicamente informados por, con y para la naturaleza”.

La metáfora propuesta por Brigitte Baptiste (2011) es muy poderosa al definir el *yagé* como una “tecnología de la mente”, que al amplificar la percepción diluye el ego y nos conecta con el entorno. Tal tecnología dejaría, mediante una nueva experiencia *tecnestética*, una distinta impronta sobre nuestro entorno, que nos modificaría y nos reconectaría con los ecosistemas mediante nuestros sentidos, al recordarnos que somos parte de un mundo real y responsables por nuestra propia *sintropía*<sup>8</sup>, la reorganización y el equilibrio. Si permitimos a nuestros cuerpos electrónicos disolverse en la *Matrix* del ego deseante, lo único que nos quedaría sería la entropía, la desorganización sin regreso.

Así que, *Lapsus Trópicus* busca *hackear* los sentidos con el fin de que entendamos de una manera poética el impacto que tenemos sobre el medio ambiente, recordándonos que somos parte de ello, y no meramente un espectador que racionaliza sus posibilidades o utilidades desde los extraños valores de la era del Antropoceno, la actual era geológica que ha sufrido el impacto de las actividades de los seres humanos sobre los ecosistemas.

La pandemia es la consecuencia de la intervención brutal del ser humano en un delicado ecosistema. Los efectos del cambio climático serán más devastadores que la pandemia. La violencia que el ser humano ejerce contra la naturaleza se está volviendo contra él con más fuerza. En eso consiste la dialéctica del Antropoceno: en la llamada Era del Ser Humano, el ser humano está más amenazado que nunca. (Han, 2020)

---

8 El matemático italiano Luigi Fantappiè, que trabajó con Einstein, descubrió que la solución causal se rige por la ley de la *entropía*, mientras que la solución retrocausal se rige por una ley simétrica la cual denominó *sintropía*, combinando las palabras griegas *syn* que significa convergencia, y *tropos*, que significa tendencia. La entropía implica la tendencia de la energía hacia la disipación, también conocida como la ley de la muerte térmica o el desorden. Por el contrario, la *sintropía* implica la tendencia a concentrarse y absorber energía, el aumento de las temperaturas, la diferenciación, la complejidad, la formación de estructuras y organizaciones. La ley de la *sintropía* explica las sincronicidades y cómo estas pueden considerarse la causalidad fundamental que gobierna la vida (Di Corpo, 2015).

En suma, *Lapsus Trópico* se materializa como una floresta digital, un ecosistema transformado por la tecnología; un mundo artificial, sensorialmente virtual, donde es importante la idea de lo fractal; un espacio fragmentado, simbiótico, orgánico e invasivo que proporciona la inmersión del espectador y a la vez le da la sensación de ser un explorador en un mundo por venir. Un territorio alterado por un *glitch*, generado desde su propio medio de producción en el cual cada elemento botánico es clonado y muta digitalmente una y otra vez hacia otro elemento más complejo. Esta floresta pretende ser la *matrix* entre un mundo virtual y su simulacro: el biológicamente real.

## REFERENCIAS

Adam, H. C. (2010). *Eadweard Muybridge: The Human and Animal Locomotion Photographs*. Köln: Taschen.

Annihilation. IMDb (s. f.). Recuperado de <https://www.imdb.com/title/tt2798920/>

Baptiste, B. (2011). *El jaguar y la telepática del yagé - Amazonía Perdida*. Parque Explora. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=gK3BWngw7oI>

Baudrillard, J. (2002). *Cultura y simulacro*. Barcelona: Kairós.

Williams, J. H. (2008). *Employee engagement: Improving anticipation in safety*. Professional Safety, 53(12), 40-45.

Baudrillard, J. (1999). *Tela total*. Porto Alegre: Sulina.

Beesley, P. (s. f.). Recuperado de <http://philipbeesleyarchitect.com/>

Bolt, B. (2007). *The magic is in handling*, en E. Barret and Bolt (ed.), *Practice as Research: Approaches to Creative Arts Enquiry*, London and New York: I.B. Tauris

Couchot, E. (2003). *A tecnologia na arte da fotografia à realidade virtual*. Porto Alegre: Editora da UFRGS.

Critical Art Ensemble. (2001). *Distúrbio Eletrônico*. São Paulo: Conrad.

Di Corpo, U., y Vannini, A. (2015). *Syntropy: The Spirit of Love*. New Jersey: ICRL Press.

Engberg-Pedersen, A. (ed.). (2012). *Studio Olafur Eliason: An Encyclopedia*. Köln: Taschen GmbH.

Gómez, M. (2017). *Historia(s) de la imagen digital*. Interartive. Recuperado de <https://interartive.org/2017/04/historias-de-la-imagen-digital-marisa-gomez>

Haseman, B. (2006). *A manifesto for performative research, Media International Australia Incorporating Culture and Policy*. Recuperado de <http://www.emsah.uq.edu.au/mia/issues/miacpl18.htm>

Henrique Oliveira (s. f.). Recuperado de <http://www.henriqueoliveira.com>

Hockney, D. (2001). *El conocimiento secreto: el descubrimiento de las técnicas perdidas de los grandes maestros*. Barcelona: Ediciones Destino.

Knowlton, K. C. (2001). *On the Frustrations of Collaborating with Artists*. Ken Knowlton. Recuperado de <http://dada.compart-bremen.de/item/agent/203>

Knowlton, K. C. (2004). *Portrait of the Artist as a Young Scientist by Ken Knowlton*. Digital Art Guild. Recuperado de <http://www.digitalartguild.com/content/view/26/26/>

Krotoski, A. (2016). *¿Qué es un doppelgänger y dónde está el tuyo?* BBC Mundo. Recuperado de [https://www.bbc.com/mundo/noticias/2016/05/160427\\_doppelgangers\\_gemelos\\_extranos\\_fantasmagoricos\\_selfies\\_finde\\_dv](https://www.bbc.com/mundo/noticias/2016/05/160427_doppelgangers_gemelos_extranos_fantasmagoricos_selfies_finde_dv)

Ernesto Neto Venice Biennale 2017. Judith Benhamou-Huet Reports. (2017). Recuperado de [https://www.youtube.com/watch?v=A\\_3FqcP\\_\\_I8](https://www.youtube.com/watch?v=A_3FqcP__I8)

Oxman, N. (n.d.). Recuperado de <http://www.materialecology.com/neri-oxman>

Oxman, N. (2015). *Diseño en la intersección de la tecnología y la biología*. TED Talks. Recuperado de [https://www.ted.com/talks/neri\\_oxman\\_design\\_at\\_the\\_intersection\\_of\\_technology\\_and\\_biology?language=es](https://www.ted.com/talks/neri_oxman_design_at_the_intersection_of_technology_and_biology?language=es)

Pangenerator. (s. f.). Recuperado de <http://pangenerator.com>

Peek, N. (2016). *Historia y aplicaciones de la fabricación digital con Nadya Peek y Manuel Martínez Torá*. La hora maker. Recuperado de <http://lahoramaker.com/2016/11/07/lhm-056-historia-y-aplicaciones-de-la-fabricacion-digital-con-nadya-peek-y-manuel-martinez-toran/>

Rendules, C. (2020). *Byung-Chul Han: El dataísmo es una forma pornográfica de conocimiento que anula el pensamiento*. Recuperado de: [https://elpais.com/cultura/2020/05/15/babelia/1589532672\\_574169.html](https://elpais.com/cultura/2020/05/15/babelia/1589532672_574169.html)

Studio Olafur Eliasson. (s. f.). Recuperado de <http://www.olafureliasson.net>

The Science of Digital Fabrication.mit. (2013). Recuperado de <http://cba.mit.edu/events/13.03.scifab/>

The Matrix. IMDb (s. f.). Recuperado de <https://www.imdb.com/title/tt0133093/>

Towers, M. Muybridge y Marey. *Mariana Phone Home*. (s. f.). Recuperado de <https://marianaphonehome.wordpress.com/2014/02/02/muybridge-y-marey/>

Vander-Meer, J. (2014). **Books: Best of 2014 Lists Galore**. Jeff Vander-Meer. Recuperado de <http://www.jeffvandermeer.com/2014/12/>

Vannini, A. (2005). **Entropy and Syntropy: From Mechanical to Life Science**. *Neuroquantology*. Recuperado de <https://www.neuroquantology.com/index.php/journal/article/view/64>

Zampaglione, F., y Jules Marey, E. (s. f.). **Projecto Movimiento Humano**. Recuperado de <http://proyectomovimientohumano.zampaglione.com.ar/etienne-jules-marey-1830-1904/>

## TESTES DE CISALHAMENTO SIMPLES PARA ANÁLISE DA INTERFACE ADESIVA CONCRETO/ PRF ATRAVÉS DE ESTUDOS NUMÉRICOS

Data de aceite: 03/05/2021

Data de submissão: 11/02/2021

### Maicon de Freitas Arcine

Universidade Estadual de Maringá,  
Departamento de Engenharia Civil  
Maringá, PR

### Nara Villanova Menon

Universidade Estadual de Maringá,  
Departamento de Engenharia Civil  
Maringá, PR

**RESUMO:** O uso de materiais poliméricos reforçados com fibras (PRF) em reforços estruturais é limitado devido à sua falha por descolagem repentina e precoce, o que pode comprometer a segurança da estrutura. Nos diversos estudos sobre estruturas reforçadas a flexão e ao cisalhamento os esforços ao cisalhamento são mais nocivos à estrutura reforçada e são capazes de causar com mais facilidade o descolamento do compósito do que em estruturas reforçadas à flexão. Este artigo tem como objetivo avaliar, por meio de simulações numéricas, as características do deslizamento da interface concreto/PRF submetidas a esforços de cisalhamento. Foi utilizado o teste de cisalhamento simples (*Pull-Out Test* ou *Single-Shear Test*) para avaliar tal situação, que consistiu em aplicar uma força de tração no PRF aderido em um prisma de concreto. Desenvolveu-se um modelo numérico 3D com o software ABAQUS, com a geometria, condições

de contorno e propriedades do material conforme ensaios experimentais. O modelo CDP (*Concrete Damage Plasticity*) foi utilizado neste trabalho para modelagem do concreto. O material polimérico usado foi o PRFC (Polímero Reforçado com Fibra de Carbono). O modelo ortotrópico elástico linear foi adotado para os materiais poliméricos e um modelo de superfície coesiva para a interface (adesivo). Os resultados numéricos foram validados com base em dados experimentais e apresentaram grande semelhança. A evolução do dano foi da extremidade carregada do PRFC até a extremidade livre, mostrando um desempenho semelhante em todas as simulações. A descolagem do reforço foi a principal falha do sistema. O material de reforço que resistiu maior carga no sistema, maior resistência ao cisalhamento e a descolagem foi o PRFC. Observa-se que dificilmente será atingido a ruptura do PRF, pois ocorre primeiramente o colapso da camada adesiva.

**PALAVRAS-CHAVE:** Cisalhamento simples. PRF. ABAQUS. Descolamento. Simulação Numérica.

### NUMERICAL STUDIES FOR CONCRETE ADHESIVE/FRP INTERFACE THROUGH SIMPLE SHEAR TESTS

**ABSTRACT:** The use of fiber-reinforced polymeric materials (FRP) in strengthened structures is limited due to their failure by early debonding, which can compromise the safety of the structure. In various studies about flexural and shearing strengthened structures, shearing stresses are more harmful to the strengthened structures and they are able to cause debonding

of the composite more easily than in structures strengthened to bending. This article aims to evaluate, through FE simulations, the sliding characteristics of the concrete / PRF interface submitted to shear forces. The Pull-Out Test (or Single-Shear Test) was used to evaluate this situation, which consisted of applying a tensile force to the PRF adhered to a concrete prism. A 3D numerical model was developed with the ABAQUS software, with the geometry, boundary conditions and material properties according to experimental tests. The CDP (Concrete Damage Plasticity) model was used in this work for modeling concrete. The polymeric material used was the CFRP (Carbon Fiber Reinforced Polymer). The elastic orthotropic model was adopted for polymeric materials and a cohesive surface model for the interface (adhesive). The numerical results were validated based on experimental data and showed great similarity. The evolution of the damage was from the loaded end of the CFRP to the free end, showing a similar performance in all simulations. The debonding of the strengthening was the main failure of the system. It is observed it will be difficult to reach the rupture of the FRP, as the adhesive layer collapses first.

**KEYWORDS:** Simple shear. FRP. ABAQUS. Debonding. FE simulations.

## 1 | INTRODUÇÃO

A utilização de materiais compósitos em reforço estrutural surgiu como uma técnica inovadora, uma alternativa para os casos em que emprego dos materiais tradicionais como chapas de aço e concreto, não serem adequados. Os FRPs (*Fiber Reinforced Polymer*) ou PRF (Polímeros Reforçados com Fibras) são materiais compósitos (matriz e reforço) constituídos por fibras embebidas em uma matriz polimérica. Dentro da categoria de PRF, pode-se ressaltar as fibras de vidro (PRFV), fibras de aramida (PRFA) e as fibras de carbono (PRFC). Machado e Machado (2015) destacam que estes materiais apresentam elevada resistência à tração, leveza, resistência à corrosão, à fadiga e amortecimento ao choque.

Segundo Machado e Machado (2015), sistemas compostos estruturados com fibras de carbono oferecem várias possibilidades para permitir o reforço ao cisalhamento dos elementos de concreto armado. Ainda segundo os autores, estes sistemas são utilizados para o envolvimento das seções de concreto com as fibras do PRF transversalmente ao eixo do elemento ou perpendicular a fissuras por cisalhamento, que funcionarão como estribos adicionais.

No entanto, apesar do bom desempenho destes materiais como reforço, o risco de colapso da estrutura ainda é uma possibilidade. Colalillo e Sheikh (2014) evidenciaram o descolamento do material de reforço e posteriormente a falha ao cisalhamento da estrutura. Isso pode ser observado entre as extremidades dos laminados, onde há grandes concentrações de tensões nos arredores do reforço. Portanto, é importante realizar análises da interface Concreto-PRF e encontrar uma compreensão sólida do processo de descolagem ao cisalhamento.

O teste de cisalhamento simples (*Pull-Out Test* ou *Single-Shear Test*) é considerado o mais confiável para estudos de descolamento da interface Concreto-PRF. Neste teste, o



estado de tensão de vigas em concreto armado com regiões de descolamento induzidas por fissuras na fase crítica de uma viga em concreto armado é muito semelhante ao sistema de teste de cisalhamento simples (MAZZOTTI; SAVOIA; FERRACUTI, 2009). Nesse sistema, a força aplicada ao compósito é gradualmente transmitida ao substrato por forças de cisalhamento agindo na interface (Figura 1). Estas tensões passam da extremidade carregada para a extremidade livre do PRF, de modo que o comprimento de ligação efetivo (comprimento efetivo de transferência de tensão) varia no decorrer do teste (BARBIERI et al., 2016; ZHANG et al., 2020).

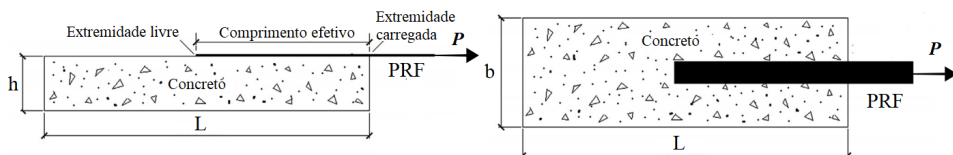


Figura 1 – Teste de cisalhamento simples (Adaptado de ZHANG et al. (2020))

O estudo utilizando o método dos elementos finitos (MEF) se tornou uma grande ferramenta em análises de engenharia. A abordagem incorreta de *softwares* que adotam este método, pode ser desastrosa. Portanto, resultados experimentais precisam ser apresentados para calibrar os modelos adotados e assim, analisar corretamente o problema. O estudo por meio do MEF é amplo, utilizando diversos elementos, vários tipos de carregamentos, condições de contorno e propriedades dos materiais.

Neste artigo, o *software* de elementos finitos ABAQUS foi utilizado para as simulações de testes de cisalhamento simples. O modelo proposto foi calibrado usando os ensaios experimentais de Yao, Teng e Chen (2005). Foi avaliado a influência do comprimento de adesão na interface, largura do compósito, altura do bloco de apoio e  $f_c'$  do concreto.

## 2 | MODELOS CONSTITUTIVOS PARA OS MATERIAIS

### 2.1 Modelo de Plasticidade com Dano Acoplado (CDP)

O modelo multiaxial denominado *Concrete Damage Plasticity* (CDP) ou modelo de plasticidade com dano acoplado proposto por Lubliner et al. (1989) e desenvolvido por Lee e Fenves (1998), é descrito como um modelo na forma de tensão efetiva. De acordo com Lubliner et. al. (1989), qualquer modelo de plasticidade para o concreto deve envolver quatro suposições básicas, são essas: Leis de evolução de dano, Superfície de plastificação inicial (*Yield criterion*), Lei de encruamento/amolecimento (*Hardening/Softening law*) e Regra de escoamento (*Flow rule*).

## 2.1.1 Lei de Evolução do dano

O CDP oferece uma capacidade de modelagem progressiva de dano no material. Este dano é uma variável denominada pela letra “ $d$ ” e seu valor é inicialmente zero quando o material se encontra totalmente íntegro e 1 quando totalmente danificado ( $0 \leq d \leq 1$ ). Os fatores de dano  $d_c$  e  $d_t$  representam a taxa de degradação da rigidez do concreto causada pelo dano no material durante a compressão (esmagamento – *crushing*) e tração (fissuras – *cracking*), respectivamente, sob tensão uniaxial (Figura 2). De acordo com Demin e Fukang (2017) o modelo CDP do concreto no programa ABAQUS é considerado adequado para materiais quase-frágeis (Concreto).

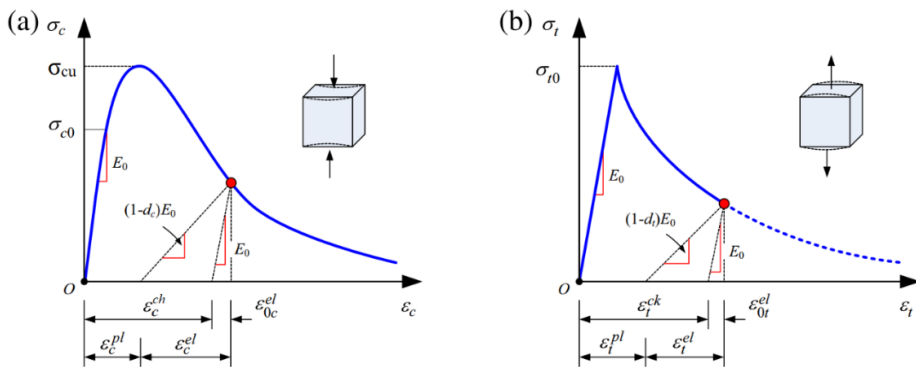


Figura 2 - Tensão x Deformação do CDP do concreto para tensão uniaxial de compressão (a) e de tração (b) (CHI et al. (2017))

A resposta do concreto no diagrama tensão x deformação de compressão uniaxial (Figura 2 (a)) é linear até o valor de tensão de escoamento ( $\sigma_{c0}$ ). A partir desta tensão, inicia-se o regime plástico, ocorre assim um aumento na tensão até ser atingida a tensão última ( $\sigma_{cu}$ ), por consequência, há uma diminuição no módulo de elasticidade. Como resultado, diminui a tensão e aumenta a deformação. Referente a resposta do concreto na tração (Figura 2 (b)) segue uma relação elástico linear até ser alcançado o valor de tensão de falha ( $\sigma_{t0}$ ), no qual a partir deste ponto, inicia-se o surgimento de microfissuras no concreto. Em valores superiores a esta tensão, o gráfico apresenta também uma diminuição do módulo de elasticidade na curva, o que induz a deformação localizada na estrutura de concreto. Consequentemente, diminui a tensão e aumenta a deformação.

Nos diagramas, pode-se notar que há uma mudança de valor no módulo de elasticidade no regime plástico, este valor é denominado de módulo de elasticidade danificado (ou efetivo) ( $\bar{E}$ ), definido por,

$$\bar{E} = (1-d) \cdot E_0 \quad (\text{Equação 1})$$

onde  $E_0$  é o módulo de elasticidade inicial, elástico ou não danificado. As Equações 2 e 3 apresentam a função do estado de tensões em função da elasticidade inicial, dos tensores de deformação e dos danos na compressão ( $d_c$ ) e tração ( $d_t$ ),

$$\sigma_t = (1-d_t)E_0(\varepsilon-\varepsilon^{pl}); \bar{\sigma}_t = E_0(\varepsilon_t-\varepsilon_t^{pl}) \quad (\text{Equação 2})$$

$$\sigma_c = (1-d_c)E_0(\varepsilon-\varepsilon^{pl}); \bar{\sigma}_c = E_0(\varepsilon_c-\varepsilon_c^{pl}) \quad (\text{Equação 3})$$

em que  $\bar{\sigma}_t$  e  $\bar{\sigma}_c$  são valores de tensão efetiva de tração e compressão, respectivamente.  $\varepsilon$  é deformação e  $\varepsilon^{pl}$  é deformação plástica, ambas podem ser de tração ( $\varepsilon_t$  e  $\varepsilon_t^{pl}$ ) ou compressão ( $\varepsilon_c$  e  $\varepsilon_c^{pl}$ ).

### 2.1.2 Critério de Plastificação (Yield criterion)

O modelo CDP faz o uso da função de escoamento de Lubliner et al. (1989), com as modificações propostas por Lee e Fenves (1998). Segundo Chi et al. (2017), esta superfície de escoamento define o estado crítico de tensão, além do qual a deformação plástica se inicia. Os critérios de escoamento que mais são usados para os materiais são os de Mohr-Coulomb e Drucker-Prager e podem ser escritos em termos de tensões efetivas, conforme Equação 4. Esta função faz uso de dois invariantes de tensão do tensor de tensão, tensão hidrostática efetiva  $\bar{p}$  e a tensão desviatória  $\bar{q}$ . As constantes  $\alpha$ ,  $\beta_1$  e  $\gamma_a$  são adimensionais,  $\bar{\sigma}_{\max}$  é o valor algébrico máximo das tensões efetivas principais e  $\langle \cdot \rangle$  é o operador de Macauley definido como  $\langle x \rangle = (|x| + x)/2$ . Percebe-se que para  $F(\bar{\sigma}) = 0$  existe um início de deformação plástica, enquanto que para deformações elásticas tem-se  $F(\bar{\sigma}) < 0$

$$F(\bar{\sigma}) = \frac{1}{1-\alpha} (\bar{q} - 3\alpha\bar{p} + \beta_1(\varepsilon^{pl})\langle \bar{\sigma}_{\max} \rangle - \gamma_a \langle \bar{\sigma}_{\max} \rangle) - \bar{\sigma}_c(\varepsilon_c^{pl}) = 0 \quad (\text{Equação 4})$$

### 2.1.3 Leis de Encruamento e Amolecimento (Hardening/Softening law)

De acordo com Chi et al. (2017), a regra de encruamento/amolecimento define a forma e a localização da superfície de carga, bem como a resposta do material após escoamento plástico inicial. Para uma compressão e tensão uniaxial (Figura 2), a relação entre a tensão de escoamento e a deformação inelástica é expressa como,

$$\varepsilon_c^{ch} = \varepsilon_c - \varepsilon_{c0}^{el}; \varepsilon_{c0}^{el} = \frac{\sigma_c}{E_0}; \varepsilon_t^{ck} = \varepsilon_t - \varepsilon_{t0}^{el}; \varepsilon_{t0}^{el} = \frac{\sigma_t}{E_0} \quad (\text{Equação 5})$$

em que  $\varepsilon_c^{ch}$  e  $\varepsilon_t^{ck}$  são as deformações de esmagamento (*crushing*) a compressão e fissuramento (*cracking*) a tração, respectivamente.

### 2.1.4 Regra de Escoamento (Flow rule)

De acordo com Lubliner et al. (1989), para materiais granulares, como o concreto, devido as mudanças de deformações plásticas, este material pode exibir mudanças significativas de volume. Para isso, o modelo CDP assume uma função para o potencial

plástico com regra não associativa. A função adotada para o potencial plástico  $Q$  para este modelo é baseado na função hiperbólica de Drucker-Prager, dada genericamente pela Equação 6.

$$Q = \sqrt{(mf_t \tan \psi)^2 + \bar{q}^2} - \bar{p} \tan \psi \quad (\text{Equação 6})$$

em que  $\psi$  é o ângulo de dilatação medido no plano  $p - q$ ,  $f_t$  é a tensão de tração de falha uniaxial e  $\bar{q}$  é um parâmetro identificado como a excentricidade. Estes três parâmetros indicam a função hiperbólica do escoamento potencial de Drucker-Prager.

## 2.2 Modelo Constitutivo para o PRF

No ABAQUS, os compósitos de PRF podem ser nomeados como transversalmente isotrópico, definido pela função *Engineering Constants*. Assim, este material pode ser caracterizado como ortotrópico. De acordo com *Abaqus User's Guide* (2012), sob condições de tensões aplicadas no plano de um elemento *Shell*, somente os valores de  $E_{11}$ ,  $E_{22}$ ,  $\nu_{12}$ ,  $G_{12}$ ,  $G_{13}$  e  $G_{23}$  são necessários para definir um material ortotrópico (no estado plano de tensões a condição  $\sigma_{33} = 0$  deve ser satisfeita). O coeficiente de Poisson  $\nu_{21}$  é implicitamente dado como  $\nu_{21} = (E_{22}/E_{11}) \nu_{12}$ . Os módulos de cisalhamento  $G_{13}$  e  $G_{23}$  estão incluídos porque podem ser necessários para modelar a deformação de cisalhamento transversal no elemento *Shell*. Estes dados podem ser encontrados usando a Lei de mistura definida por Piggott (2002). Piggott (2002) informa que o volume de fibras de um compósito reforçado com fibras (PRF) pode variar de 60 - 70 %.

## 2.3 Modelo Constitutivo para o Adesivo (Superfície Coesiva)

Baseado nos princípios da mecânica da fratura, Yuan et al. (2004) desenvolveram um modelo teórico que descreve completamente a descolagem do sistema concreto/PRF. Este é um modelo bilinear chamado de *bond-slip*. A tensão de cisalhamento da ligação aumenta linearmente com a deformação da interface até que atinge o pico de tensão ( $\tau_{pico}$ ) e conseqüentemente o início do deslizamento interfacial. Posteriormente, ocorre um amolecimento interfacial (ou surgimento de microfissuras) que reduz a tensão de cisalhamento linearmente com o deslizamento. Quando esta tensão reduz a zero, tem-se o valor do máximo deslizamento suportado pelo sistema ( $\delta_{ult}$ ) e, a partir deste ponto, não é mais possível transferir tensões entre os substratos, caracterizando então o descolamento. Este modelo é descrito na Figura 3.

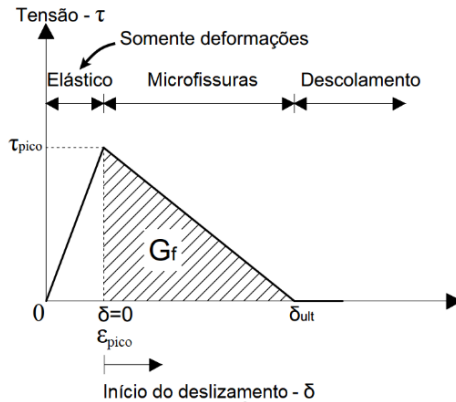
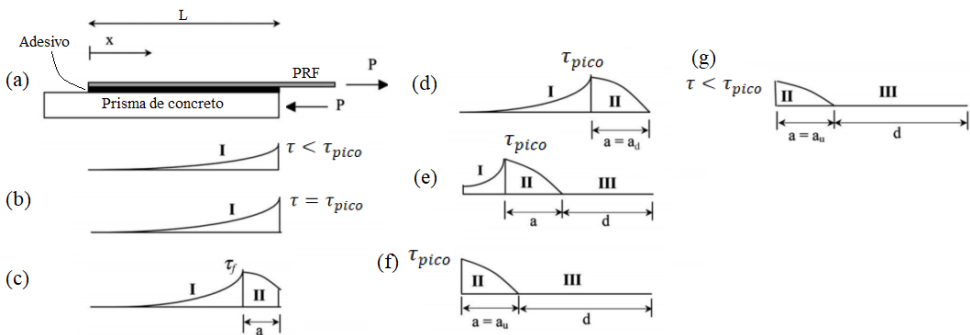


Figura 3 - Modelo bilinear *bond – slip* para a interface adesiva (Adaptado de YUAN et al. (2004))

$G_f$  é a área da região descendente do modelo e significa a energia de fratura da interface. Com o modelo definido, serão apresentados os estágios de descolamento referente a este modelo e a distribuição de tensão de cisalhamento interfacial. Para isso, foi considerado um prisma de concreto e uma amostra de PRF colada ao longo do comprimento (Figura 4).



\* em que:  $a$  é comprimento de amolecimento,  $a_u$  e  $a_d$  são comprimentos finais de ligação e na descolagem, respectivamente,  $d$  é comprimento descolado.

Figura 4 - Distribuição das tensões de cisalhamento e propagação da descolagem no modelo *bond-slip* (Adaptado de YUAN et al. (2004))

- *Estágio Elástico* (Figura 4 (a) e (b)): Neste ponto não há amolecimento interfacial ou descolagem ao longo da interface PRF/concreto, pois todo o comprimento da interface está em um estado de tensão elástica (Estado I). Isto é verdade desde que a tensão de cisalhamento interfacial em  $x = L$  seja menor que  $\tau_{pico}$ .

- *Estágio Elástico/Amolecimento* (Figura 4 (c) e (d)): Quando a tensão de cisalhamento e o deslizamento atingem valores de pico em  $x = L$ , o surgimento de microfissuras começa na extremidade carregada do PRF (Estado II) enquanto o restante permanece em fase elástica (Estado I). A carga última ( $P_u$ ) é atingida pela primeira vez;
- *Estágio Elástico/Amolecimento/Descolamento* (Figura 4 (e)): Neste estágio, a descolagem (ou microfissuras) começa a se propagar ao longo da interface. Conforme a descolagem avança, o pico de cisalhamento se move na direção  $x = 0$ . Dependendo da localização, a interface pode estar em estado elástico (Estado I), amolecimento (Estado II) ou estado de descolamento (Estado III);
- *Estágio Amolecimento/Descolamento* (Figura 4 (f) e (g)): A máxima tensão de cisalhamento interfacial em diminui com a aplicação de carga.

As expressões a seguir foram desenvolvidas no intuito de representar este comportamento de deslizamento na interface, disponível em trabalhos de Colalillo e Sheikh (2014).

$$\tau_{\text{pico}} = 1,5\beta_w f_t; \beta_w = \sqrt{\frac{2,25 - w_f/S_f}{1,25 + w_f/S_f}} \quad (\text{Equação 7})$$

$$\delta_{\text{ult}} = \frac{2G_f}{\tau_{\text{pico}}}; G_f = 0,308\beta_w^2 \sqrt{f_t}; \varepsilon_{\text{pico}} = 0,0195\beta_w f_t \quad (\text{Equação 8})$$

Em que,  $w_f$  é a largura do compósito,  $S_f$  o espaçamento do reforço e  $f_t$  a resistência a tração do concreto. Segundo Camanho e Dávila (2002), o início do amolecimento (dano ou deslizamento interfacial) pode ser previsto por um critério de falha quadrático, expresso por,

$$\left(\frac{\langle \sigma_n \rangle}{\sigma_n^{\text{pico}}}\right)^2 + \left(\frac{\tau_s}{\tau_s^{\text{pico}}}\right)^2 + \left(\frac{\tau_t}{\tau_t^{\text{pico}}}\right)^2 = 1 \quad (\text{Equação 9})$$

### 3 I PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O experimento usado nas simulações foi o de Yao, Teng e Chen (2005). Os autores estudaram experimentalmente a resistência ao cisalhamento da ligação Concreto/PRFC em um total de 72 testes. A pesquisa consistiu em avaliar um prisma de concreto com uma faixa de PRF colada em uma das faces do paralelepípedo sendo puxada por uma carga  $P$  (teste *pull-out*) (Figura 5). Os parâmetros avaliados foram: comprimento de ligação  $L_{PRF}$ , relação entre largura do PRF e largura do prisma de concreto  $b_{PRF}/b_p$  e altura livre de concreto  $h_c$ .

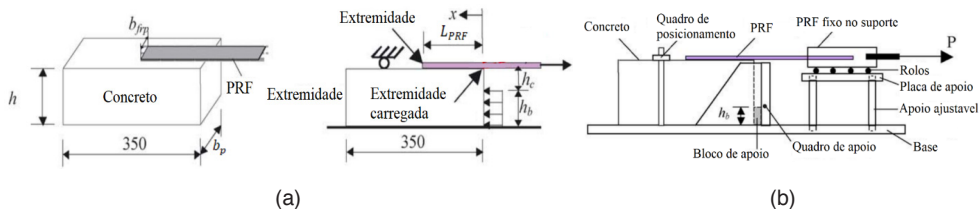


Figura 5 - Configurações do experimento (Dimensões em mm) (Adaptado de YAO, TENG, CHEN (2005))

O tipo de PRF usado foi o polímero reforçado com fibra de carbono (PRFC), com uma espessura de 0,165 mm e módulo de elasticidade de 256 GPa. A concentração do compósito foi adotada como 70% para as fibras e 30% para a matriz (PIGGOTT, 2002) por falta de informações do fabricante. A partir destes dados, foi possível obter os parâmetros do PRFC de acordo com Piggott (2002). Esses valores são apresentados na Tabela 1.

Módulo de elasticidade (GPa)		Módulo de elasticidade transversal (GPa)		Coeficiente de Poisson	
$E_{11}$	$E_{22} = E_{33}$	$G_{12} = G_{13}$	$G_{23}$	$\nu_{12} = \nu_{13}$	$\nu_{23}$
256,0	16,6	6,2	5,9	0,24	0,42

Tabela 1 - Dados do PRFC para as análises (Os autores (2020))

Uma carga  $P$  (Figura 5 (b)) foi aplicada em um suporte que fixa o PRF até que um modo de falha seja observado, seja esse por *Debonding in Concrete* (DB-C) ou descolagem com retirada de camadas de concreto, *Debonding at adhesive-concrete interface* (DB-I) ou descolagem na interface concreto/adesivo ou ainda por *Concrete Prism Failure* (CPF) ou falha no prisma de concreto. Yao, Teng e Chen (2005) separaram os 72 testes em 7 séries (I, II, III, IV, V, VI, VII), ao qual, para cada série foi variado um parâmetro. Neste artigo, foram escolhidos os testes I-1, I-9, II-5, III-1, V-11, VI-2, VI-3 e VI-7 para as simulações, por apresentarem alguns dos métodos de falha, além de gráficos e fotos dos resultados. Os valores dos parâmetros usados e os resultados obtidos pelos autores se encontram na Tabela 2.

Testes	$f'_c$ (MPa)	$b_p$ (mm)	$b_{PRF}$ (mm)	$L_{PRF}$ (mm)	$h_c$ (mm)	Carga última do teste (kN)	Modo de falha do teste
I-1	23,0	150	25	75	5	4,75	DB-C
I-9	23,0	150	25	190	5	6,35	DB-C
II-5	23,0	150	25	190	120	7,07	DB-C
III-1	27,1	150	25	100	120	5,94	DB-C
V-11	21,1	100	100	95	30	15,57	CPF
VI-2	21,9	150	25	95	60	5,85	DB-I
VI-3	21,9	150	25	145	60	5,76	DB-I
VI-7	21,9	150	25	240	60	5,91	DB-I

Tabela 2 - Detalhes dos testes e resultados experimentais (YAO, TENG, CHEN (2005))

É apresentado na Figuras 6 (a) as condições de contorno do teste e na Figura 6 (b) a discretização dos elementos. As análises foram feitas aplicando uma força pontual em um ponto de referência (*reference point* – RP) nas extremidades do PRFC, criado a partir de um corpo rígido. O algoritmo usado para resolver este tipo de problema foi o *Arc-length*.

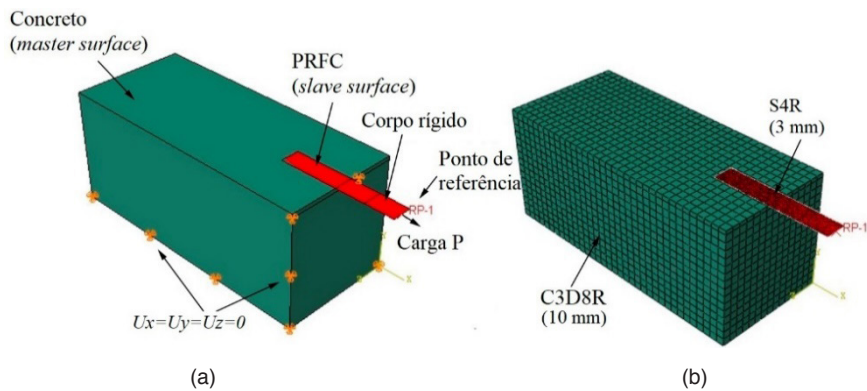


Figura 6 - Condições de contorno (a) e discretização dos elementos (c) (Os autores (2020))

A curva tensão x deformação na compressão foi obtida conforme Carreira e Chu (1986) e tensão x abertura de fissura na tração de acordo com Hordjik (1992). A resistência a tração do concreto foi calculada usando a Equação de Genikomsou e Polak (2015) ( $f_t = 0,33 \sqrt{f_{ck}}$ ) com Poisson igual a 0,2. O módulo de elasticidade foi estimado usando a norma americana ACI 318 (2014) e a deformação de pico na compressão de acordo com Carreira e Chu (1986). Já a evolução do dano foi calculada conforme Birtel e Mark (2006). Os parâmetros  $b_c$  e  $b_t$  foram 0,6 e 0,9 respectivamente. Os parâmetros do CDP adotados para a simulação foram de  $38^\circ$  para o ângulo de dilatação ( $\psi$ ), 0,1 para a excentricidade ( $m$ ),  $f_{bo} / f_{co}$  igual a 1,16,  $K_c$  igual a 0,667 e viscosidade ( $\mu$ ) igual a 0,00001. O critério de tensão



nominal quadrática (Equação 11) foi usado como critério de início de dano. Nos ensaios experimentais, Yao, Teng e Chen (2005) encontraram os valores das energias de fratura e as tensões de pico para cada teste. Todos estes dados são apresentados na Tabela 3.

Testes	Rigidez (MPa)		Tensões (MPa)		Energia de Fratura (mJ/mm <sup>2</sup> )
	$K_{nm}$	$K_{ss} = K_{tt}$	$\sigma_n^{pico}$	$\tau_s^{pico} = \tau_t^{pico}$	$G_f$
I-1	3610	1388,5*	39,4	4,13	0,395
I-9	3610	1388,5*	39,4	5,03	0,523
II-5	3610	1388,5*	39,4	7,26	0,580
III-1	3610	1388,5*	39,4	5,20**	0,694**
V-11	3610	1388,5*	39,4	5,10**	0,690**
VI-2, VI-3, VI-7	3610	1388,5*	39,4	6,00**	0,745**

\* Calculado por  $K_{nm} / 2(1+\nu)$ .

\*\*Não fornecido pelos autores. Calculado pelas Equações 7 e 8.

Tabela 3 - Dados para a simulação da superfície coesiva (YAO, TENG, CHEN (2005))

## 4 | RESULTADOS

### 4.1 Calibração do Modelo Numérico

Os resultados das simulações numéricas foram analisados e comparados com os experimentais, em termos da carga de falha experimental pela numérica. É exibido na Tabela 4 uma comparação entre as cargas de falha experimental com a numérica. Nota-se uma boa concordância dos resultados.

Testes	Carga de falha experimental $P_{exp}$ (kN)	Carga de falha numérica $P_{num}$ (kN)	Processam. (h)	$P_{exp} / P_{num}$
I-1	4,75	5,25	00:10	0,91
I-9	6,52	7,00	00:07	0,93
II-5	7,07	6,80	00:12	1,04
III-1	5,94	4,87	00:06	1,22
V-11	15,57	18,90	00:10	0,82
VI-2	5,85	6,09	00:12	0,96
VI-3	5,76	5,90	00:07	0,98
VI-7	5,91	6,36	00:13	0,93
<b>Média aproximada</b>			<b>00:10</b>	<b>0,97</b>

Tabela 4 – Comparação dos testes experimentais com as simulações (Os autores (2020))

As curvas carga x deslocamento dos testes VI-2, VI-3 e VI-7 são mostradas na Figura 7. O deslocamento foi medido a partir do ponto de aplicação de carga, ou seja, o ponto de referência criado para a simulação. A evolução do carregamento foi obtida a partir do *History output*, ao gerar uma curva adimensional de fator de proporcionalidade de carga (LPF) pelo *Arc-length*.

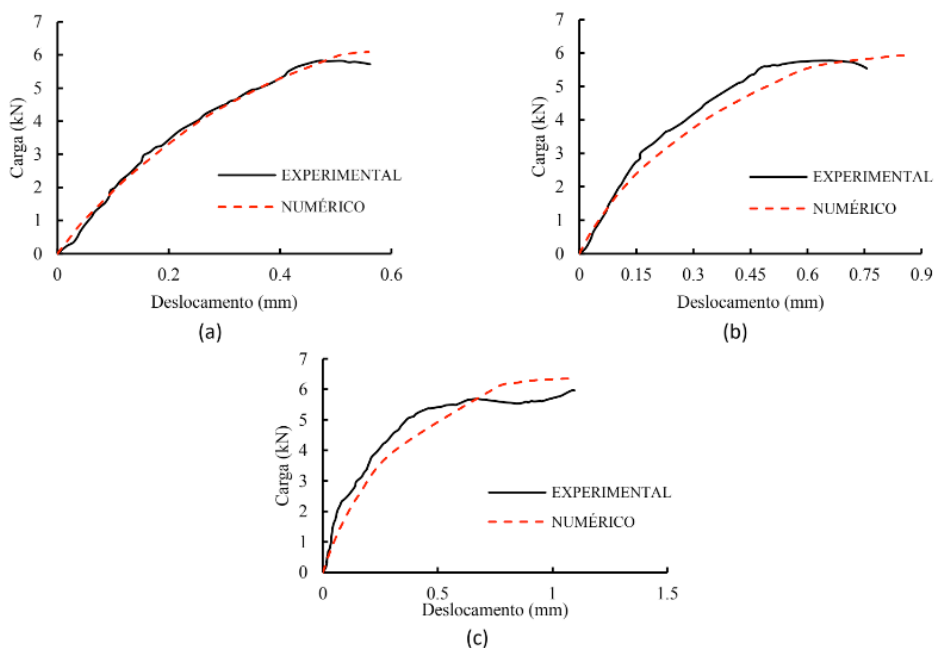


Figura 7 - Curvas carga x deslocamento dos testes VI-2 (a), VI-3 (b) e VI-7 (c) (Os autores (2020))

Daud, Cunningham e Wang (2017) por meio de simulações numéricas e observações experimentais, afirmam que ao aumentar o comprimento aderido à carga final e a tensão de descolagem aumentam. Além disso, Barbieri et al. (2016) alegam que a largura do PRFC também tem grande contribuição na resistência adesiva, como é o caso do teste V-11.

## 4.2 Modos de Falha

### 4.2.1 Descolagem com retirada da camada de concreto

Nos testes experimentais I-1, I-9, II-5 e III-1 foi observada a descolagem com retirada da camada de concreto. Como estes testes tiveram o mesmo modo de falha, foi escolhido para representar a simulação o experimento II-5, por apresentar o melhor resultado. Os resultados das simulações mostraram que na região colada, o concreto não atingiu valores

consideráveis de dano a tração, cerca de 0,53. Já o dano a compressão foi bem menor, na faixa de 0,04 nesta mesma região. Neste caso pode-se supor que não houve a falha do concreto e sim, a retirada da massa superficial do prisma, como ocorreu na análise experimental. Esse fato, foi observado principalmente na extremidade de aplicação da carga, onde existiram maiores danos a tração no concreto. A comparação dos resultados desse teste referente ao dano neste material é mostrada na Figura 8.

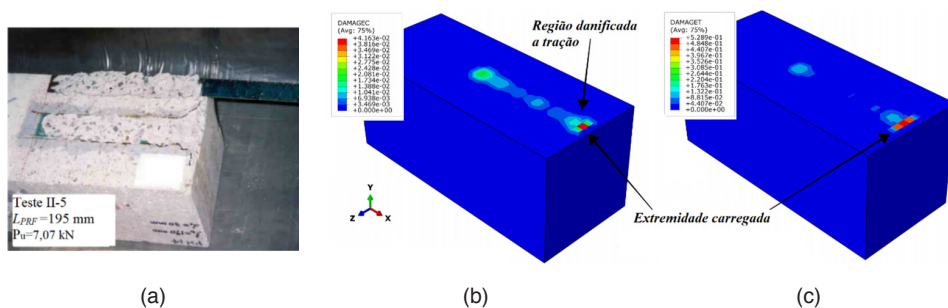


Figura 8 - Falha experimental do teste II-5 (a) e dano a tração (b) e compressão (c) do concreto (YAO, TENG E CHEN (2005); os autores (2020))

Durante o processo de carregamento, as tensões de cisalhamento paralelas a direção de aplicação da carga é definida por  $.S_{12}$ . Essas, na região colada, apresentam uma evolução de tensões de cisalhamento até atingir valores próximos da tensão máxima de ligação, como mostrado na Figura 4 e também observado por Barbieri et al. (2016). Essa evolução é ilustrada na Figura 9.

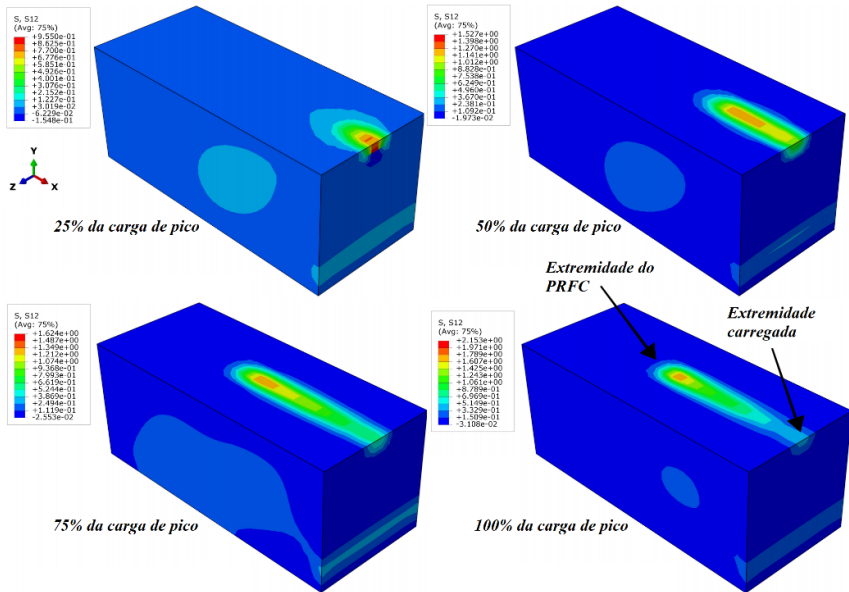


Figura 9 - Evolução das tensões cisalhantes  $S_{12}$  ( $\tau_{xy}$ ) no concreto (Teste I-1) (Os autores (2020))

A descolagem (coloração vermelha na Figura 10) tem início pela extremidade carregada do PRFC. Com o aumento das tensões de cisalhamento, o dano tende a aumentar na direção longitudinal do compósito, como na Figura 9. Ao comparar estas duas situações, nota-se que na região descolada, a transferência de tensões  $S_{12}$  diminui à medida que o dano avança. A evolução do dano na interface pode ser observada pela Figura 10.

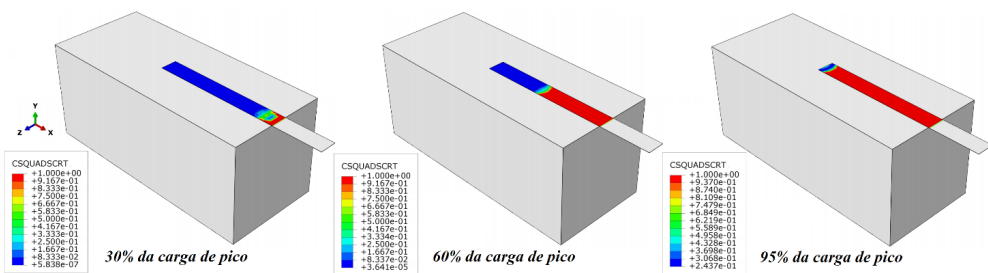


Figura 10 - Evolução do dano na interface adesiva (Teste I-1) (Os autores (2020))

#### 4.2.2 Falha no Prisma de Concreto

Assim como ocorreu no ensaio experimental, a simulação do teste V-11 rompeu no prisma de concreto antes que pudesse ser observada a falha na interface adesiva. É apresentado na Figura 11 a comparação do dano a tração e compressão. Nessa, o dano

a tração foi mais evidente desde o início do carregamento com 0,77 em 25% da carga de pico e 0,93 com 100% do processo. Praticamente não houve dano a compressão, sendo atingido apenas 0,20 de dano.

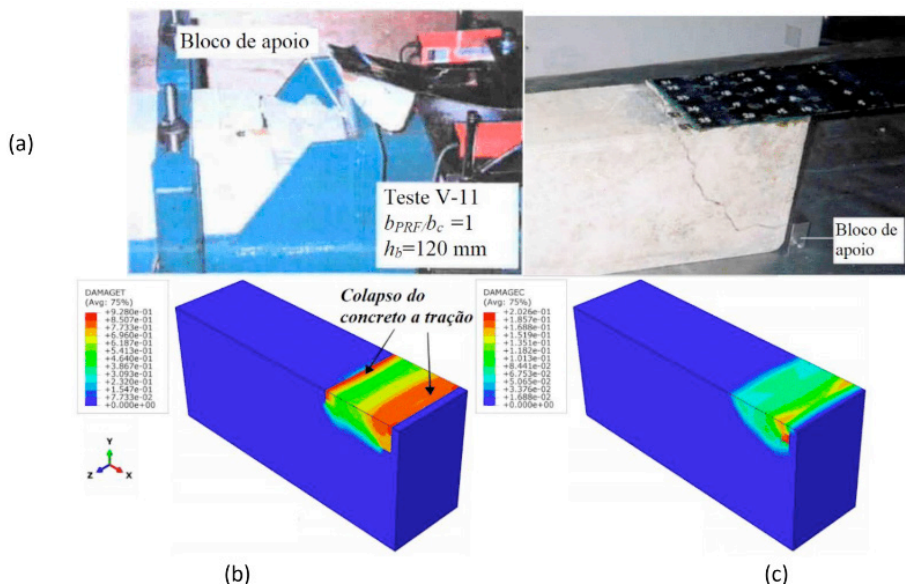


Figura 11 - Falha experimental do teste V-11 (a) e evolução do dano na tração (b) e compressão (c) (YAO; TENG; CHEN (2005); os autores (2020))

A evolução das tensões  $S_{12}$  no prisma de concreto é mostrado na Figura 12 (a). Ao contrário dos resultados anteriores, a simulação do ensaio V-11 não obteve uma propagação das tensões de cisalhamento tão evidente. Esse fato pode ser comprovado comparando a evolução do dano na interface (Figura 13) com o desenvolvimento do dano a tração no concreto (Figura 11 (b)). Ocorreram grandes concentrações de tensão de tração no concreto desde a extremidade do PRFC até a extremidade carregada. A formação de um plano de fratura entre a extremidade do compósito e a parte superior do bloco de apoio pode ser observada na Figura 12 (b). Segundo resultados experimentais, a falha tem início com fissuras no prisma de concreto próximas a extremidade do PRFC. Ao aparecer as primeiras fissuras, estas se propagaram quase que imediatamente em direção a borda superior do bloco de apoio.

Desde o início do carregamento, o concreto sofreu grandes danos de tração e com pouco mais de 50% do carregamento, o prisma atingiu um dano pouco maior de 0,8. Se comparado com a evolução da descolagem na Figura 13, só foi observada esta falha depois de ter sido aplicado o carregamento máximo ao sistema.

Mesmo com o concreto danificado e provavelmente em colapso, o *software* continua

a incrementar carregamento ao PRFC, pois o compósito ainda se encontra aderido a face do prisma. A característica do desenvolvimento da descolagem é semelhante ao teste I-1.

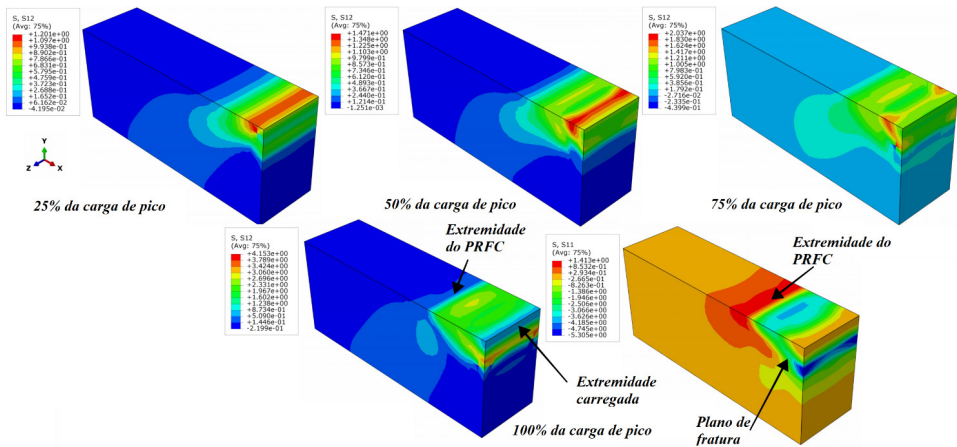


Figura 12 - Evolução das tensões normais  $S_{11}$  ( $\tau_{xx}$ ) (a) e cisalhantes  $S_{12}$  ( $\tau_{xy}$ ) (b) no concreto (Teste V-11) (Os autores (2020))

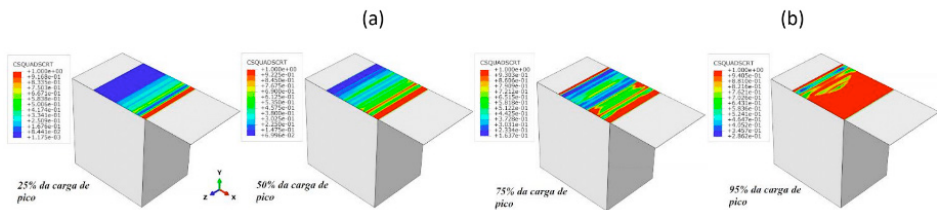


Figura 13 - Evolução do dano na interface adesiva (Teste V-11) (Os autores (2020))

#### 4.2.3 Descolagem na interface concreto/adesivo

Os testes VI-2, VI-3 e VI-7 sofreram o colapso da interface concreto/adesivo. Os três obtiveram o mesmo modo de falha, logo optou por apresentar os resultados apenas de uma simulação. Os resultados escolhidos foram do teste VI-2, por apresentar um comportamento muito semelhante ao experimental da curva carga x deslocamento. Como nos testes com resultados DB-C, houveram pequenos valores de dano a tração, cerca de 0,63. Já a compressão, esse parâmetro foi ainda menor, cerca de 0,08. Assim, o comportamento do prisma de concreto foi muito semelhante aos testes I-1, I-9, II-5 e III-1, não sendo possível observar grandes diferenças. Confrontando com o experimental, também foi observado um arrancamento da extremidade de aplicação da carga, onde existiu maiores danos a tração no concreto. A comparação dos resultados do teste VI-2 referente ao dano no material é ilustrada na Figura 14. Como Yao, Teng e Chen (2005) não disponibilizaram a foto do

experimento, esta verificação procedeu com as fotos dos testes VI-3 e VI-7.

Com relação aos demais resultados, dano no adesivo e evolução das tensões de cisalhamento  $S_{12}$  ( $\tau_{xy}$ ), o comportamento permaneceu quase idêntico aos testes com descolagem e retirada da camada de concreto (DB-C).

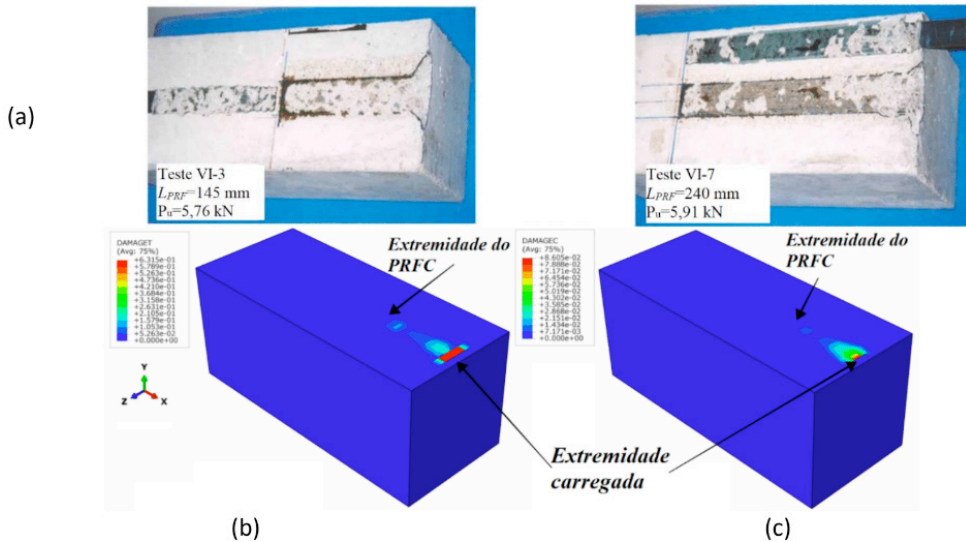


Figura 14 - Falha experimental do teste VI-3 e VI-7 (a) e dano a tração (b) e compressão (c) do concreto (YAO; TENG; CHEN (2005); O autor (2020))

## 5 I CONCLUSÃO

O presente estudo é uma contribuição à verificação do comportamento da interface adesiva, representação do cisalhamento em concreto e a interação com as lâminas de reforço em estruturas reforçadas externamente ao cisalhamento com PRFC. O trabalho se desenvolveu por meio de simulações numéricas usando o *software* ABAQUS, baseadas em estudos experimentais.

As simulações dos testes de cisalhamento simples foram realizadas com o intuito de verificar o comportamento da interface adesiva frente ao modelo utilizado. Os resultados foram muito satisfatórios e apresentaram grande semelhança ao experimental. Assim como a evolução das tensões no modelo *bond - slip* para o adesivo, foi possível notar esse fato nos resultados das simulações por meio das tensões de cisalhamento. A evolução do dano foi da extremidade carregada do PRFC até a extremidade livre, mostrando um desempenho semelhante em todas as simulações. À medida que o dano avança, as tensões de cisalhamento diminuam, o que comprova novamente o modelo exemplificado anteriormente. Pode ser observado que a resistência ao descolamento está relacionada ao comprimento de adesão no substrato (neste caso, o concreto) e a largura do compósito.

Além disso, quanto maior a largura do PRFC, maior o dano gerado no substrato.

## AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

## REFERÊNCIAS

ACI COMMITTEE 318. **ACI 318-14**: Building Code Requirements for Structural Concrete and **ACI 318R-14**: Commentary. American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich., 2014, 443 p.

BARBIERI, G. et al. Size and shape effect in the pull-out of FRP reinforcement from concrete. **Composite Structures**, v. 143, p. 395–417, 2016.

BIRTEL, V.; MARK, P. Parameterised Finite Element Modelling of RC Beam Shear Failure. **Abaqus User's Conference**, p. 95–108, 2006.

CAMANHO, P. P.; DÁVILA, C. G. Mixed-Mode Decohesion Finite Elements for the Simulation of Delamination in Composite Materials. **Nasa/Tm-2002-211737**, p. 42, 2002.

CARREIRA, D. J.; CHU, K. H. Stress-Strain Relationship for Plain Concrete in Compression. **ACI Structural Journal**, n. 82-72, p. 797–804, 1986.

COLALILLO, M. A.; SHEIKH, S. A. Behavior of shear-critical reinforced concrete beams strengthened with fiber-reinforced polymer-Experimentation. **ACI Structural Journal**, v. 111, n. 6, p. 1373–1384, 2014.

CHI, Y. et al. Finite element modeling of steel-polypropylene hybrid fiber reinforced concrete using modified concrete damaged plasticity. **Engineering Structures**, v. 148, p. 23–35, 2017.

DAUD, R. A.; CUNNINGHAM, L. S.; WANG, Y. C. New model for post-fatigue behaviour of CFRP to concrete bond interface in single shear. **Composite Structures**, v. 163, p. 63–76, 2017.

DEMIN, W.; FUKANG, H. Investigation for plastic damage constitutive models of the concrete material. **Procedia Engineering**, v. 210, p. 71–78, 2017.

GENIKOMSOU, A. S.; POLAK, M. A. Finite element analysis of punching shear of concrete slabs using damaged plasticity model in ABAQUS. **Engineering Structures**, v. 98, p. 38–48, 2015.

HORDIJK, D. A. Tensile and tensile fatigue behaviour of concrete; Experiments, modeling and analyses. **TNO Building and Construction Research**, v. 37, n. 1, 79 p. 1992.

LEE, J.; FENVES, G. L. Plastic-damage model for cyclic loading of concrete structures. **Journal of Engineering Mechanics**, v. 124, n. 8, p. 892–900, 1998.



LUBLINER, J.; OLIVER, J.; OLLER, S.; OÑATE, E. A plastic-damage model for concrete. **International Journal of Solids and Structures**, v. 25, n. 3, p. 299–326, 1989.

MACHADO, A. P.; MACHADO, B. A. **Reforço de estruturas de concreto armado com sistemas compostos FRP: Teoria e prática**. São Paulo: PINI, 2015.

MAZZOTTI, C.; SAVOIA, M.; FERRACUTI, B. A new single-shear set-up for stable debonding of FRP-concrete joints. **Construction and Building Materials**, v. 23, n. 4, p. 1529–1537, 2009.

PIGGOT, M. **Load Bearing Fibre Composites**. Toronto: Kluwer Academic Publishers, 2 ed. 2002, 475 p.

YAO, J.; TENG, J. G.; CHEN, J. F. Experimental study on FRP-to-concrete bonded joints. **Composites Part B: Engineering**, v. 36, n. 2, p. 99–113, 2005.

YUAN, H. et al. Full-range behavior of FRP-to-concrete bonded joints. **Engineering Structures**, v. 26, n. 5, p. 553–565, 2004.

ZHANG, P. et al. Experimental and numerical investigation of debonding process of the FRP plate-concrete interface. **Construction and Building Materials**, v. 235, p. 117457, 2020.

## **SOBRE OS ORGANIZADORES**

**JOÃO DALLAMUTA** - Professor assistente da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Graduação em Engenharia de Telecomunicações pela UFPR. MBA em Gestão pela FAE Business School, Mestre pela UEL. Doutorando em Engenharia Espacial pelo INPE, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

**HENRIQUE AJUZ HOLZMANN** - Professor da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Graduação em Tecnologia em Fabricação Mecânica e Engenharia Mecânica pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Mestre em Engenharia de Produção pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Doutorando em Engenharia e Ciência dos Materiais pela Universidade Estadual de Ponta Grossa. Trabalha com os temas: Revestimentos resistentes a corrosão, Soldagem e Caracterização de revestimentos soldados.

**RENNAN OTAVIO KANASHIRO** - Professor na Universidade Norte do Paraná (Unopar). Graduação e Mestrado em Engenharia Mecânica pela UTFPR. Trabalha com temas: Identificação de Sistemas, Problema Inverso e Otimização

## ÍNDICE REMISSIVO

### A

Aerodesign 1, 2, 3, 9

Aeronave 10, 11, 12, 14, 16

Análise CFD 1

Articulação 1, 168

### C

Construção sustentável 103

### D

Degradação 36, 103, 126, 132, 133, 135, 136, 137, 143, 144, 145, 149, 150, 175, 243

Direito ao saneamento básico 124, 125, 126, 128, 129, 130

Dosagem físico-química 151, 152, 154, 155, 159, 160, 161, 162, 163, 164

Drywall 87, 88, 89, 100

### E

Eficiência energética 165, 166, 167, 168, 169, 170, 171, 173

Energia solar fotovoltaica 63, 64, 174, 180

Energias renováveis 63, 73, 165, 166, 167, 169, 170, 171, 173

Estabilidade 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 35, 36, 78, 79, 81, 152, 186

Estabilização 78, 84, 86, 87, 88, 94, 96, 97, 100, 101, 152, 159, 160, 161, 162, 163, 199, 205

### F

Fachada 132, 133, 135, 136, 137, 138, 139, 142, 143, 144, 145, 146, 147, 148, 149, 150, 232

### G

Geossintéticos 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86

Geotecnia 17, 75, 76, 82, 84

Gesso 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 97, 98, 99, 100, 101, 105

Gestão 35, 44, 103, 124, 126, 127, 128, 129, 130, 131, 172, 259

### H

Headcount 49, 53, 55, 57, 60, 61

## **L**

LED 63, 64, 65, 66, 67, 68, 72, 73

Logística ferroviária 49

## **M**

Melhoramento de solos 75

Momento 1, 13, 16, 50, 171, 227

## **P**

Passagem em jornada 49, 51

Pavimento 20, 22, 26, 27, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 40, 42, 43, 45, 46, 48, 76, 81, 84, 105, 151, 152, 163, 164

Plasticidade 78, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 99, 100, 101, 154, 242

Projeto 1, 9, 10, 11, 12, 14, 16, 18, 19, 21, 29, 30, 33, 35, 36, 37, 39, 40, 41, 43, 44, 63, 65, 66, 67, 68, 69, 71, 72, 73, 76, 79, 85, 126, 127, 130, 133, 136, 163, 168, 169, 209, 221, 224

## **R**

Resíduo de construção civil 151, 154

Resíduos 56, 58, 59, 60, 83, 87, 88, 89, 102, 103, 104, 105, 106, 205, 206

Resíduos plásticos 102, 103, 104, 105, 106

Resistência à compressão simples 151, 152, 157, 161, 162, 163

Revestimento cerâmico 132, 133, 137, 138, 139, 140, 142, 143, 144, 147

## **S**

Saneamento básico em São Desidério 124

SERENS 165, 166, 167, 169, 170, 171, 172, 173, 174

Serviços públicos de saneamento básico 124, 125, 127, 128, 130, 131

Simulação numérica 1, 240

Sistemas autônomos puros CC 63

Solo-cimento 151, 152, 155, 156, 157, 158, 159, 160, 161, 162, 163, 164

Solos 35, 46, 47, 75, 76, 78, 80, 85, 87, 89, 90, 91, 93, 96, 97, 101, 151, 153, 154, 156, 158, 159, 161, 162, 163, 164

Sustentabilidade 30, 33, 34, 48, 102, 106, 165, 166, 167, 168, 169, 170, 172, 173, 180

## **T**

Transporte hidroviário 32

## **V**

Volume de cargas 49

## **X**

XFLR5 10, 11, 12, 16

# Engenharias:

Da Genialidade à Profissão e  
seu Desenvolvimento



[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br) 

[contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br) 

[@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora) 

[www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br) 

 **Atena**  
Editora

Ano 2021

# Engenharias:

Da Genialidade à Profissão e  
seu Desenvolvimento



[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br) 

[contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br) 

[@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora) 

[www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br) 

 **Atena**  
Editora

Ano 2021