

# Engenharias:

Da Genialidade à Profissão e  
seu Desenvolvimento

João Dallamuta  
Henrique Ajuz Holzmann  
Rennan Otavio Kanashiro  
(Organizadores)

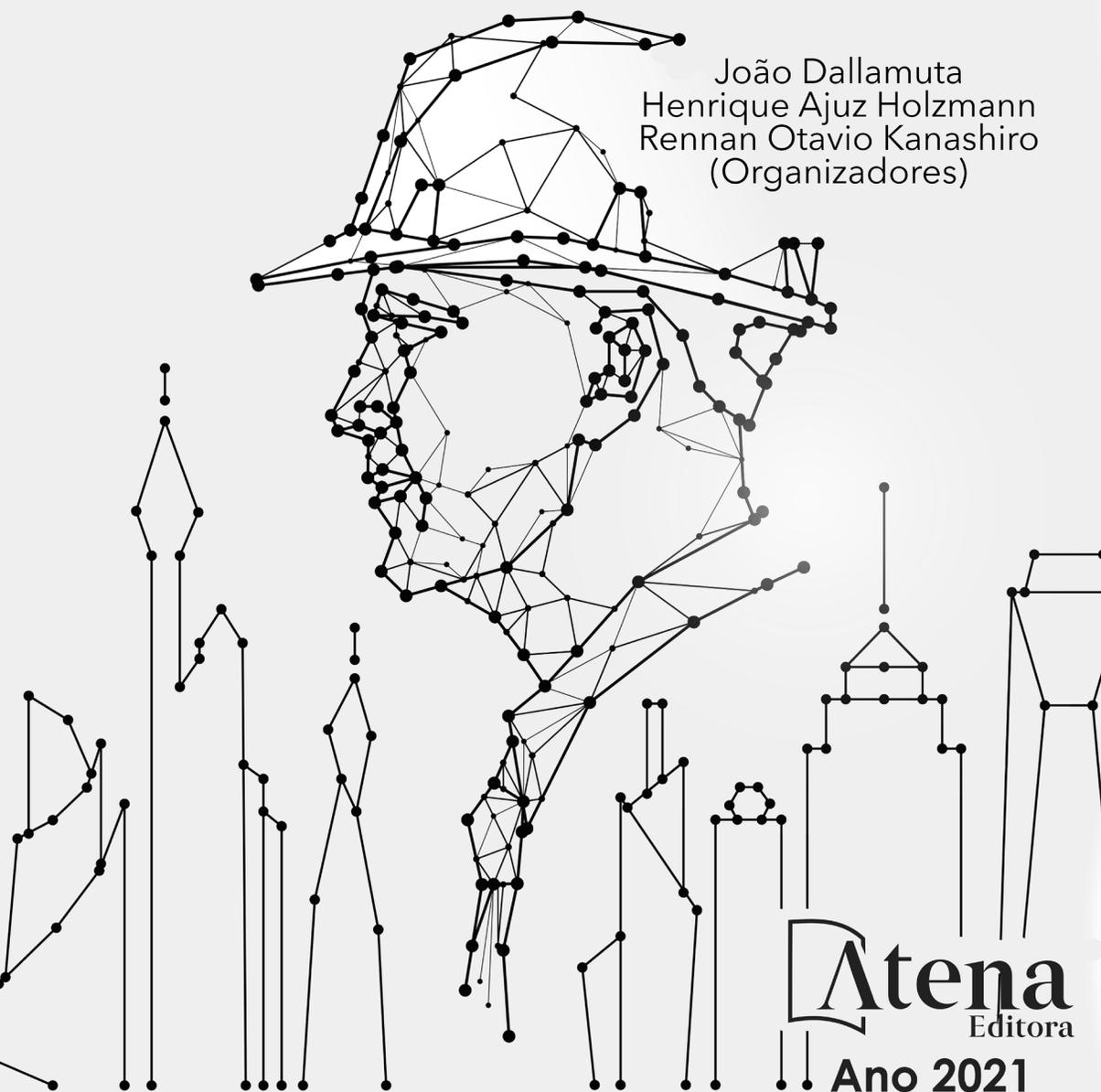


**Atena**  
Editora  
Ano 2021

# 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 Cremo

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

**Imagens da Capa**

Shutterstock

**Edição de Arte**

Luiza Alves Batista

**Revisão**

Os Autores

2021 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2021 Os autores

Copyright da Edição © 2021 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição-Não-Comercial-NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

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

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

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

**Conselho Editorial**

**Ciências Humanas e Sociais Aplicadas**

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

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

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

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

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

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

#### **Ciências Agrárias e Multidisciplinar**

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

### **Ciências Biológicas e da Saúde**

Prof. Dr. André Ribeiro da Silva – Universidade de Brasília  
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    Engenharias: 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	
Grazielle 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>

## 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.

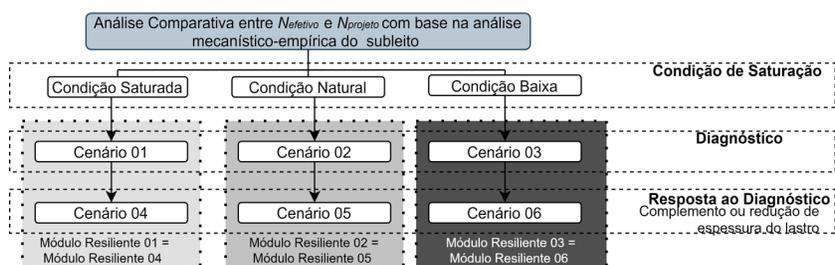


Figura 1: Premissas adotadas e estrutura dos principais critérios para elaboração dos cenários

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.

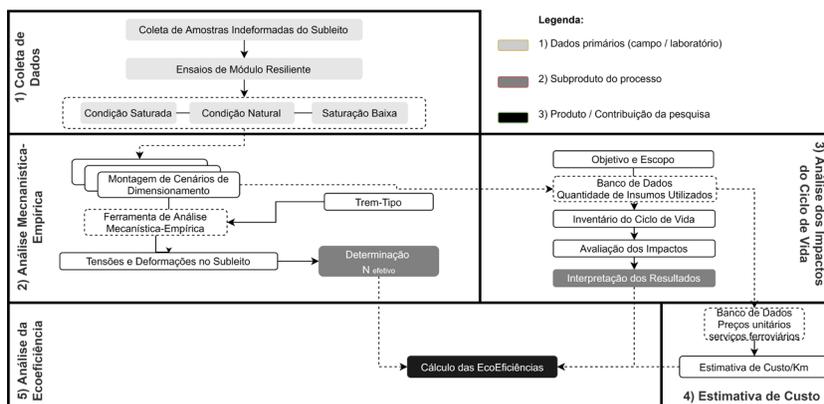


Figura 2: Fluxograma das etapas de metodologia de análise

### 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.

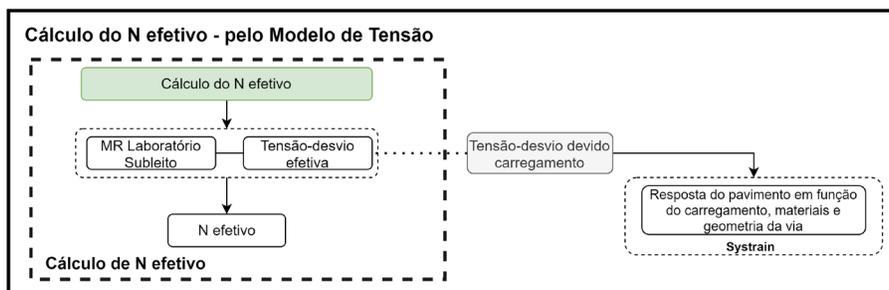


Figura 3: Metodologia de cálculo do Nefetivo pelo Modelo de Tensão

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  $N_{\text{efetivo subleito}}$ .

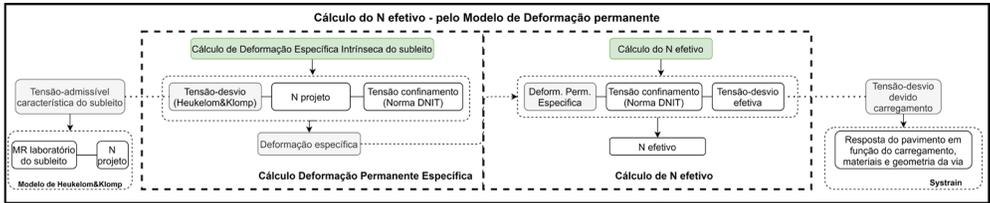


Figura 4: Metodologia de cálculo do N efetivo pelo Modelo de Deformação Permanente

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 (Profillidis, 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 I 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 I Cut-off, U	BYERS (2003); CLASSEN et al. (2009)
3009133	Pré-alinhamento mecanizado da grade		
3009089	Assentamento manual de contratrilhos 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 I 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 I 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 I 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:

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

$$\text{Eficiência de Custo} = \frac{\text{Número N (eixos-padrão)}}{\text{Custo de construção (R\$)}} \quad (4)$$

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 analisa 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

## 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