

COLEÇÃO

DESAFIOS DAS ENGENHARIAS:

ENGENHARIA DE TRANSPORTES



CARLOS EDUARDO SANCHES DE ANDRADE
(ORGANIZADOR)

Atena
Editora
Ano 2021

COLEÇÃO
DESAFIOS
DAS
ENGENHARIAS:

ENGENHARIA DE TRANSPORTES



CARLOS EDUARDO SANCHES DE ANDRADE
(ORGANIZADOR)

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

iStock

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.

Open access publication by Atena Editora



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

Profª Drª Andréa Cristina Marques de Araújo – Universidade Fernando Pessoa

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. Arnaldo Oliveira Souza Júnior – Universidade Federal do Piauí
 Prof. Dr. Carlos Antonio de Souza Moraes – Universidade Federal Fluminense
 Prof. Dr. Crisóstomo Lima do Nascimento – Universidade Federal Fluminense
 Prof^a Dr^a Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
 Prof. Dr. Daniel Richard Sant'Ana – Universidade de Brasília
 Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia
 Prof^a Dr^a 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
 Prof. Dr. Humberto Costa – Universidade Federal do Paraná
 Prof^a Dr^a Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
 Prof. Dr. Jadson Correia de Oliveira – Universidade Católica do Salvador
 Prof. Dr. José Luis Montesillo-Cedillo – Universidad Autónoma del Estado de México
 Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
 Prof^a Dr^a Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
 Prof. Dr. Luis Ricardo Fernandes da Costa – Universidade Estadual de Montes Claros
 Prof^a Dr^a Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
 Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Pontifícia Universidade Católica de Campinas
 Prof^a Dr^a Maria Luzia da Silva Santana – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
 Prof. Dr. Miguel Rodrigues Netto – Universidade do Estado de Mato Grosso
 Prof. Dr. Pablo Ricardo de Lima Falcão – Universidade de Pernambuco
 Prof^a Dr^a Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
 Prof^a Dr^a 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
 Prof^a Dr^a Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
 Prof^a Dr^a 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
 Prof^a Dr^a Carla Cristina Bauermann Brasil – Universidade Federal de Santa Maria
 Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – Universidade Federal da Grande Dourados
 Prof^a Dr^a 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
 Prof^a Dr^a 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
 Prof^a Dr^a Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará
 Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa
 Prof^a Dr^a Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
 Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
 Prof^a Dr^a 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 Franca 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 Federal 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 da Fontoura Custódio Monteiro – Universidade do Vale do Sapucaí
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 Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará
 Profª Drª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste
 Profª Drª Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia

Conselho Técnico científico

Prof. Me. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo
 Prof. Me. Adalberto Zorzo – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza
 Prof. Dr. Daylson 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. Alessandro 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 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 Brito 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 Atílio 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 Fenomenologia & Subjetividade/UFPB
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 Livia do Carmo Silva – Universidade Federal de Goiás
Prof. Dr. Lucio Marques Vieira Souza – Secretaria de Estado da Educação, do Esporte e da Cultura de Sergipe
Prof. 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
Prof. Me. Marcos Roberto Gregolin – Agência de Desenvolvimento Regional do Extremo Oeste do Paraná
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
Prof. Dr. Sullivan Pereira Dantas – Prefeitura Municipal de Fortaleza
Profª Ma. Taiane Aparecida Ribeiro Nepomoceno – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Universidade Estadual do Ceará
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

Coleção desafios das engenharias: engenharia de transportes

Bibliotecária: Janaina Ramos
Diagramação: Camila Alves de Cremo
Correção: Mariane Aparecida Freitas
Edição de Arte: Luiza Alves Batista
Revisão: Os autores
Organizador: Carlos Eduardo Sanches de Andrade

| Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) | |
|---|---|
| C691 | <p>Coleção desafios das engenharias: engenharia de transportes / Organizador Carlos Eduardo Sanches de Andrade. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2021.</p> <p>Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia ISBN 978-65-5983-255-2 DOI: https://doi.org/10.22533/at.ed.552211207</p> <p>1. Engenharia de transportes. I. Andrade, Carlos Eduardo Sanches de (Organizador). II. Título. CDD 629.04</p> |
| Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166 | |

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

DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.

DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access*, desta forma não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce*, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.

APRESENTAÇÃO

A obra “Coleção Desafios das Engenharias: Engenharia de Transportes” publicada pela Atena Editora apresenta, em seus 5 capítulos, estudos que mostram como a Engenharia de Transportes enfrenta alguns desafios, em seu objetivo de atender diversas demandas da sociedade.

Uma das demandas da sociedade é o crescimento ordenado da economia das cidades, o que requer soluções eficientes de transporte de bens e pessoas. A Engenharia de Transportes tem como objetivo prover essas soluções.

A Engenharia de Transportes busca soluções que atendam parâmetros de qualidade na prestação de serviços aos usuários, eficiência na utilização de recursos humanos e materiais e que atendam critérios sociais e ambientais.

Os trabalhos compilados nessa obra abrangem diferentes desafios da Engenharia de Transporte.

Os impactos ambientais causados pelo sistema de transportes em um “campus” universitário são abordados, com a proposição de soluções de redução das emissões de gases de efeito estufa.

A qualidade do serviço prestado aos usuários de sistemas metroviários é outro tema abordado, assim como a incidência de acidentes ferroviários, que é analisada através de uma comparação das ocorrências no Brasil e na União Europeia.

A infraestrutura necessária ao transporte e sua importância na competitividade dos países é analisada através da comparação entre o Brasil e a Austrália.

Finalmente, os impactos causados pela pandemia da COVID-19 na mobilidade urbana afetaram bastante os sistemas de transporte, sendo objeto de tema do último estudo desta obra.

Agradecemos aos autores dos capítulos apresentados e esperamos que essa compilação seja proveitosa para os leitores.

Carlos Eduardo Sanches de Andrade

SUMÁRIO

| | |
|---|----|
| CAPÍTULO 1 | 1 |
| ESTIMATIVA DAS EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA DO SETOR DE TRANSPORTES NA CIDADE UNIVERSITÁRIA DA UFRJ | |
| Victor Hugo Souza de Abreu Andrea Souza Santos | |
|  https://doi.org/10.22533/at.ed.5522112071 | |
| CAPÍTULO 2 | 16 |
| O CONTROLE DO DESEMPENHO DO ATRIBUTO CONFORTO EM METRÔS | |
| Carlos Eduardo Sanches de Andrade Márcio de Almeida D'Agosto Alessandro de Santana Moreira de Souza | |
|  https://doi.org/10.22533/at.ed.5522112072 | |
| CAPÍTULO 3 | 26 |
| ACIDENTES FERROVIÁRIOS NO BRASIL: ANÁLISE COMPARATIVA COM A UNIÃO EUROPEIA | |
| Daniel Alfredo Alves Miguel | |
|  https://doi.org/10.22533/at.ed.5522112073 | |
| CAPÍTULO 4 | 40 |
| ANÁLISE COMPARATIVA DA INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE COMO FATOR DE COMPETITIVIDADE ENTRE BRASIL E AUSTRÁLIA | |
| Jean Lucas da Silva Renan Collantes Candia Heitor Pinheiro Mora Otávio Ferreira da Silveira Pedro Henrique Gusmão Chagas | |
|  https://doi.org/10.22533/at.ed.5522112074 | |
| CAPÍTULO 5 | 52 |
| A PANDEMIA DA COVID-19 E OS IMPACTOS PARA A MOBILIDADE URBANA | |
| Cecília de Freitas Vieira Couto Gabriela Dantas Medeiros Maria Fernanda Pereira Alves Clovis Dias Isabelle Yruska de Lucena Gomes Braga Nilton Pereira de Andrade | |
|  https://doi.org/10.22533/at.ed.5522112075 | |
| SOBRE O ORGANIZADOR | 65 |
| ÍNDICE REMISSIVO | 66 |

CAPÍTULO 1

ESTIMATIVA DAS EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA DO SETOR DE TRANSPORTES NA CIDADE UNIVERSITÁRIA DA UFRJ

Data de aceite: 01/07/2021

Victor Hugo Souza de Abreu

Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)
Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia (COPPE)

Andrea Souza Santos

Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)
Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia (COPPE)

RESUMO: Este artigo tem como objetivos estimar as emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE), no âmbito dos transportes, na Cidade Universitária da Universidade Federal do Rio de Janeiro, por meio do Protocolo Global para Inventários de GEE na Escala de Comunidade, e propor medidas para a redução dessas emissões a partir dos dados do inventário. Os resultados indicam que as emissões de GEE, relativas ao setor de transportes, totalizaram 2.006,09 tCO₂Eq/ano, no ano de 2018, e 1.797,33 tCO₂Eq/ano, no ano de 2019. Embora tenha havido uma diminuição de cerca de 10% das emissões de 2018 para 2019, acredita-se que seja necessário investir em medidas que busquem reduzir ainda mais essas emissões, tais como: maior incentivo à utilização do transporte ativo (transporte por bicicleta, por exemplo); eletrificação da frota de ônibus interno; e utilização de um aditivo de combustível na frota de veículos leves.

PALAVRAS-CHAVE: Emissão de Gases de

Efeito Estufa; Setor de Transportes.

ABSTRACT: This paper aims to estimate Greenhouse Gases (GHG) emissions, in the transportscope, in the University City of the Federal University of Rio de Janeiro using the Global Protocol for Community-Scale Greenhouse Gas Emissions Inventories and propose measures to reduce these emissions from the inventory data. The results indicate that GHG emissions, relating to the transport sector, totaled 2,006.09 tCO₂Eq/year, in 2018, and 1,797.33 tCO₂Eq/year, in 2019. Although there was a decrease of about 10% in emissions from 2018 to 2019 it is believed that it is necessary to invest in measures that seek to further reduce these emissions, such as: greater incentive to use active transportation (bicycle transportation, for example); electrification of the internal bus fleet; and use of a fuel additive in the light vehicle fleet.

KEYWORDS: Greenhouse Gas Emissions; Transport Sector.

1 | INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, tem havido esforços mútuos globalizados para superar as graves questões ambientais e aumentar a percepção pública da poluição. Um dessas preocupações refere-se às emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) decorrentes da queima de combustíveis fósseis (SIM *et al.*, 2013). A intensificação das emissões de GEE faz com que parte desses raios solares não volte para o espaço, ocasionando a elevação da temperatura

média do planeta, provocando o aquecimento global e as mudanças climáticas (IPCC, 2007). O poder de aquecimento de um gás é influenciado pelas suas características e sua abundância. Os principais gases de efeito estufa são o dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O) e três grupos de gases fluorados, que são o hexafluoreto de enxofre (SF_6), hidrofluorcarbonetos (HFCs) e perfluorcarbonos (PFCs) (SIM *et al.*, 2013).

Embora o aumento das emissões de GEE possa estar associado a sistemas climáticos caóticos não lineares (Silva & Paula, 2009), as emissões antropogênicas de GEE, conduzidas majoritariamente pelo crescimento econômico e populacional são as principais responsáveis pelo aquecimento global e pelas mudanças climáticas (IPCC, 2007; 2013; 2014a, 2018). As emissões de CO_2 , por exemplo, estão associadas ao uso de combustíveis fósseis e às mudanças de uso do solo, o CH_4 provém de atividades agrícolas e da queima de combustíveis fósseis, enquanto as emissões de N_2O devem-se principalmente à agricultura (IPCC, 2007).

Especialmente, devido à sua abundância, o CO_2 é o mais crítico de todos os GEE, sendo o responsável pela maior contribuição para o aquecimento global. Por isso é utilizado como referência em termos de poder de aquecimento por meio de uma medida denominada de Potencial de Aquecimento Global (do inglês, *Global Warming Potential – GWP*). Em relação ao CO_2 , considerado de valor unitário, o CH_4 tem valor 28 e o N_2O tem valor 265, em um tempo de 100 anos de permanência na atmosfera (IPCC, 2014b).

A consciência ambiental vem crescendo em todo mundo, e os governos vêm implantando políticas de estímulo à redução das emissões de GEE (ANDRADE, 2016). Com a crescente atenção mundial sobre essas emissões, os tomadores de decisão buscam averiguar as questões ambientais e implementar metodologias de medição e sistemas de gerenciamento de emissões de GEE. Uma das metodologias mais utilizadas atualmente para estimar as emissões de GEE é a proposta pelo *World Business Council for Sustainable Development* e *World Resources Institute*, o Protocolo de Gases do Efeito Estufa (do inglês, *Greenhouse Gas Protocol – GHG Protocol*), que para o nível de cidade tem um padrão de estimativas de emissões denominado Protocolo Global para Inventários de GEE na Escala de Comunidade (do inglês, *Global Protocol for Community-Scale Greenhouse Gas Emissions Inventories – GPC*).

O monitoramento da tendência das emissões de GEE urbanas ao longo do tempo, por meio da metodologia do Protocolo GHG, possibilita analisar o progresso da região sob análise da redução de suas emissões (FRY *et al.*, 2018) e planejar estratégias de mitigação e adaptação às mudanças do clima (LOMBARDI *et al.*, 2017). No Brasil, por meio do Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável, essa metodologia está sendo disseminada entre as empresas e instituições de ensino (GHG PROTOCOL BRASIL, 2010).

A Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), primeira universidade do Brasil, hoje em dia é classificada como uma das maiores e melhores universidades do país e

do mundo (UFRJ, 2019). Em seu campus principal, a Cidade Universitária, circulam mais de 100 mil pessoas/dia, onde estudam mais de 40 mil alunos, em aproximadamente 130 cursos. Apesar da grande contribuição acadêmica, técnica e científica que a universidade proporciona, sua pressão ambiental também é grande. Ciente disso, a UFRJ planeja desenvolver um projeto que propõe mitigar, ou compensar, as emissões decorrentes de suas atividades na Cidade Universitária até o ano de 2030. O movimento se alinha à iniciativa de diversas universidades pelo mundo, as quais buscam aplicar o conceito de desenvolvimento sustentável dentro de suas atividades administrativas e acadêmicas. E, com isso, formar os futuros tomadores de decisão dentro de um ambiente socioambiental responsável.

Para alcançar esses resultados, considera-se necessário, primeiramente, elaborar um inventário de emissões de GEE, que é fundamental para mensurar o nível de emissão desses gases, e identificar os principais agentes e setores que contribuem para essas emissões. Nesse sentido, este artigo busca servir a esse propósito ao estimar as emissões de GEE ocorridas no *campus* da Cidade Universitária da UFRJ, por meio da aplicação da Metodologia GPC, para os anos de 2018 e 2019, especificamente para o setor de transportes, que é um dos principais emissores de GEE. Além disso, diante dos resultados também são propostas medidas para mitigar essas emissões.

Para atingir seus objetivos, este estudo está estruturado da seguinte forma. A Seção 1 apresenta a contextualização do assunto, o problema e os objetivos da pesquisa. A Seção 2 trata da descrição da Metodologia GPC. A Seção 3 descreve como se deu o processo para obtenção dos resultados. A Seção 4 apresenta e discute os resultados e indica possíveis medidas de mitigação das emissões de GEE. Finalmente, a Seção 5 contém as considerações finais.

2 | METODOLOGIA

Este artigo foi desenvolvido com base na Metodologia GPC - *Global Protocol for Community-Scale Greenhouse Gas Emissions Inventories* (Protocolo Global para Inventários de GEE na Escala de Comunidade, em tradução livre) (FONG *et al.*, 2014). O GPC tem como base os manuais para inventários de GEE, em escala nacional, publicados pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas – IPCC, adaptando-os para a escala local ou subnacional. Além disso, ele foi desenvolvido de maneira a permitir a comparação e agregação de inventários entre diferentes locais (cidades, estados etc.).

Nessa metodologia as emissões devem ser relatadas por gás, escopo, setor e subsetor e o total deve ser calculado a partir de duas abordagens distintas, mas complementares: (i) por escopo; e (ii) emissões induzidas pela cidade, ou seja, atribuíveis às atividades que ocorrem dentro do limite geográfico da cidade (ou local) em análise.

A abordagem por escopo permite diferenciar as emissões relacionadas às atividades

de uma cidade, mas que podem ocorrer tanto dentro de sua fronteira, inclusive, quanto fora dela. As emissões são categorizadas em três diferentes escopos, tal que: o escopo 1 engloba as emissões que ocorrem fisicamente na cidade (também chamado de escopo territorial); o escopo 2 se refere às emissões a partir do uso de eletricidade, vapor, aquecimento, e/ou resfriamento fornecidos pelo sistema elétrico – no caso do Brasil, o Sistema Interligado Nacional (SIN) –, e que podem ou não cruzar o limite geográfico da cidade; enquanto o escopo 3, por sua vez, engloba as emissões que ocorrem fisicamente fora do limite geográfico estipulado para cidade. Na Figura 1 é apresentada uma ilustração da categorização por escopos de diferentes atividades emissoras de GEE que podem ocorrer em uma cidade.

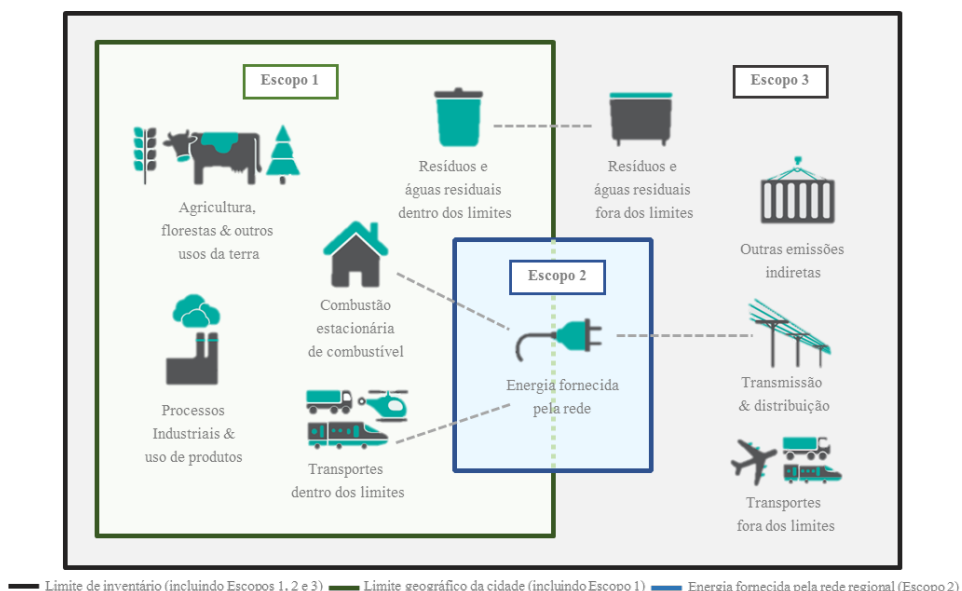


Figura 1: Descrição da divisão de emissões por escopo, extraído do manual GPC.

Fonte: Adaptado a partir de FONG *et al.* (2014).

Já a abordagem por emissões induzidas pela cidade permite que seja adotado entre um e dois possíveis níveis de relatório: *BASIC* ou *BASIC+*, vide Tabela 1. O nível *BASIC* abrange as emissões de energia estacionária e transporte, contemplados em ambos os escopos 1 e 2, bem como, as emissões provenientes de resíduos contempladas nos escopos 1 e 3. O nível *BASIC+*, por sua vez, engloba o escopo no nível *BASIC*, e inclui também as emissões do setor de Processos Industriais e Uso de Produtos (IPPU), de Agropecuária, Florestas e Uso do Solo (AFOLU), dos meios de transporte que cruzam o limite geográfico da cidade (escopo 3 de transporte), e das perdas de transmissão e distribuição de energia (escopo 3 de energia estacionária).

| Setores | Níveis de relatório |
|----------------------|----------------------|
| Energia Estacionária | <i>BASIC/ BASIC+</i> |
| Transporte | <i>BASIC/ BASIC+</i> |
| Resíduos | <i>BASIC/ BASIC+</i> |
| IPPU | <i>BASIC+</i> |
| AFOLU | <i>BASIC+</i> |

Tabela 1: Categorização dos diferentes setores nos dois possíveis níveis de relatório.

Fonte: Adaptado a partir de FONG *et al.*, 2014.

De acordo com o GPC, o setor denominado ‘Transporte’, foco desse estudo, pode ser dividido em cinco subsetores: (2.1) Transporte Rodoviário; (2.2) Transporte Ferroviário; (2.3) Transporte Aquaviário; (2.4) Transporte Aéreo; e (2.5) Transporte Fora de Estrada. Esses subsetores podem ainda ser divididos em diferentes categorias, conforme pode ser identificado na Tabela 2. Salienta-se que a numeração das fontes de emissão, primeira coluna, está de acordo com o estabelecido por FONG *et al.* (2014). Cabe destacar ainda que a Coluna Número (Nº) se refere ao identificador das fontes de emissões utilizada na Metodologia GPC.

| Nº | Escopo | Fonte de Emissão GEE (por setor, subsetor e categoria) |
|-------|--------|---|
| 2 | - | TRANSPORTES |
| 2.1 | - | Transporte Rodoviário |
| 2.1.1 | 1 | Emissões oriundas da combustão de combustíveis, no âmbito do transporte rodoviário, que ocorrem dentro dos limites da cidade |
| 2.1.2 | 2 | Emissões provenientes de energia consumida da rede, dentro dos limites da cidade, para o transporte rodoviário |
| 2.1.3 | 3 | Emissões de parte das viagens transfronteiriças que ocorrem fora dos limites da cidade e perdas de transmissão e distribuição decorrentes do consumo de energia fornecido pela rede |
| 2.2 | - | Transporte Ferroviário |
| 2.2.1 | 1 | Emissões oriundas da combustão de combustíveis, no âmbito do transporte ferroviário, que ocorrem dentro dos limites da cidade |
| 2.2.2 | 2 | Emissões provenientes de energia consumida da rede, dentro dos limites da cidade, para o transporte ferroviário |
| 2.2.3 | 3 | Emissões de parte das viagens transfronteiriças que ocorrem fora dos limites da cidade e perdas de transmissão e distribuição decorrentes do consumo de energia fornecido pela rede |
| 2.3 | - | Transporte Aquaviário |
| 2.3.1 | 1 | Emissões oriundas da combustão de combustíveis, no âmbito do transporte aquaviário, que ocorrem dentro dos limites da cidade |
| 2.3.2 | 2 | Emissões provenientes de energia consumida da rede, dentro dos limites da cidade, para o transporte aquaviário |
| 2.3.3 | 3 | Emissões de parte das viagens transfronteiriças que ocorrem fora dos limites da cidade e perdas de transmissão e distribuição decorrentes do consumo de energia fornecido pela rede |

| Nº | Escopo | Fonte de Emissão GEE (por setor, subsetor e categoria) |
|-------|--------|---|
| 2.4 | - | Transporte Aéreo |
| 2.4.1 | 1 | Emissões oriundas da combustão de combustíveis, no âmbito do transporte aéreo, que ocorrem dentro dos limites da cidade |
| 2.4.2 | 2 | Emissões provenientes de energia consumida da rede, dentro dos limites da cidade, para o transporte aéreo |
| 2.4.3 | 3 | Emissões de parte das viagens transfronteiriças que ocorrem fora dos limites da cidade e perdas de transmissão e distribuição decorrentes do consumo de energia fornecido pela rede |
| 2.5 | - | Transporte Fora de Estrada |
| 2.5.1 | 1 | Emissões oriundas da combustão de combustíveis, no âmbito do transporte fora de estrada, que ocorrem dentro dos limites da cidade |
| 2.5.2 | 2 | Emissões provenientes de energia consumida da rede, dentro dos limites da cidade, para o transporte fora de estrada |

Tabela 2: Transporte - Subsetores e categoria de acordo com o GPC.

Fonte: Adaptado a partir de FONG *et al.* (2014).

Ressalta-se ainda que há um modelo de relatório padrão a ser seguido, tanto para os setores e subsetores a serem abordados, quanto para os gases que devem ser considerados. No entanto, há casos em que os dados não estão disponíveis, ou em que o modelo não se enquadra na realidade da cidade. Nesses casos, há um padrão de notação que deve ser usado no inventário, e seguido de uma justificativa para exclusão de algum setor, subsetor ou gás, ou contabilização parcial deles. Essas notações foram definidas pelo IPCC, e são mostradas na Tabela 3.

| Notação | Descrição |
|---------|---|
| IE | Emissão incluída em outra categoria (<i>Included Elsewhere</i>) |
| NE | Emissão existe, mas não foi estimada (<i>Not Estimated</i>) |
| NO | Atividade não ocorre na cidade (<i>Not Occurring</i>) |
| C | Confidencial (<i>Confidential</i>) |

Tabela 3: Notações para os dados.

Fonte: Adaptado de IPCC (2006).

Ainda, é necessário informar todas as fontes de dados usadas, bem como, todas as premissas adotadas, a fim de estimar as emissões dos GEE, seja no dimensionamento, na extrapolação ou no modelo, de maneira a garantir total transparência dos dados. Para classificar a precisão e a complexidade da metodologia para cálculo dos fatores de emissões e da aquisição dos dados, o IPCC utiliza o conceito de *Tier* (camadas) (IPCC, 2006), conforme exposto na Tabela 4.

| Tiers | Descrição |
|-------------------|--|
| 1 (básico) | Dados provenientes de estatísticas nacionais ou internacionais, e fatores padrões. Qualquer cidade pode aplicar. |
| 2 (intermediário) | Similar ao <i>Tier</i> 1, mas com fatores específicos do país. |
| 3 (complexo) | Utiliza modelos e fatores específicos da tecnologia, e medidas. |

Tabela 4: *Tier* - classificação.

Fonte: Adaptado de IPCC (2006).

Além disso, também é proposta uma classificação com base no grau de detalhamento em que os dados refletem a localização geográfica da atividade, o tempo ou a idade da atividade e qualquer tecnologia utilizada, o limite de avaliação e a fonte de emissão, e se os dados foram obtidos de fontes confiáveis e verificáveis, conforme exposto na Tabela 5.

| Qualidade do dado | Dados das atividades | Fator de emissão |
|-------------------------------------|---|--------------------------------|
| Alta (H, do inglês <i>High</i>) | Dados detalhados | Fatores de emissão específicos |
| Média (M, do inglês <i>Medium</i>) | Dados modelados, usando suposições robustas | Fatores de emissão gerais |
| Baixa (L, do inglês <i>Low</i>) | Dados modelados de maneira incerta | Fatores de emissão padrão |

Tabela 5: Qualidade dos dados - classificação.

Fonte: Adaptado de IPCC (2006).

3 I APLICAÇÃO

Os sistemas de transporte urbano são projetados para deslocar pessoas e mercadorias dentro e além das fronteiras da cidade. Veículos e equipamentos ou máquinas móveis produzem emissões de GEE diretamente, queimando combustível, ou indiretamente, consumindo eletricidade fornecida pela rede.

Para o nível *BASIC* deve-se reportar todas as emissões de GEE da combustão de combustíveis, no âmbito dos transportes, que ocorrem dentro do limite da cidade, no escopo 1, e as emissões de GEE da eletricidade fornecida pela rede utilizada para o transporte dentro do limite da cidade, no escopo 2. Além disso, se a análise for do nível *BASIC+*, também devem ser consideradas as emissões associadas ao transporte transfronteiriço, no escopo 3. Nesse sentido, um resumo das premissas adotadas para estimativa das emissões de GEE, no âmbito dos transportes, na Cidade Universitária da UFRJ é apresentado na Tabela 6.

| Nº | Escopo | Fonte de Emissão GEE (por setor, subsetor e categoria) | Notação dados |
|-------|--------|---|---------------|
| 2 | - | TRANSPORTES | - |
| 2.1 | | Transporte Rodoviário | - |
| 2.1.1 | 1 | Emissões oriundas da combustão de combustíveis, no âmbito do transporte rodoviário, que ocorrem dentro dos limites da cidade | |
| 2.1.2 | 2 | Emissões provenientes de energia consumida da rede, dentro dos limites da cidade, para o transporte rodoviário | NO |
| 2.1.3 | 3 | Emissões de parte das viagens transfronteiriças que ocorrem fora dos limites da cidade e perdas de transmissão e distribuição decorrentes do consumo de energia fornecido pela rede | NE |
| 2.2 | - | Transporte Ferroviário | NO |
| 2.3 | - | Transporte Aquaviário | NO |
| 2.4 | - | Transporte Aéreo | NO |
| 2.5 | - | Transporte Fora de Estrada | NO |

Tabela 6: Transporte - Subsetores e categorias da Cidade Universitária da UFRJ.

Fonte: Adaptado a partir de FONG *et al.* (2014).

De acordo com a Tabela 6, tem-se que, no contexto da Cidade Universitária da UFRJ, os subsetores (2.2) a (2.5) não se aplicam, pois são atividades que não ocorrem no perímetro em análise e, por isso, foram identificados com a notação 'NO' (*Not Occurring*). Analisando as categorias do subsetor (2.1) tem-se que: atividades relacionadas à emissão em (2.1.2) não ocorrem na cidade, dessa forma, também foram identificadas com a notação 'NO'; e atividades relacionadas à emissão em (2.1.3) não foram consideradas por fazerem parte somente do nível *BASIC+* (não do nível *BASIC*), dessa forma, utilizou-se a notação 'NE' (*Not Estimated*). Sendo assim, para o caso da Cidade Universitária da UFRJ, as emissões contabilizadas associadas ao setor 'Transporte' são oriundas da combustão de combustíveis, no âmbito do transporte rodoviário, que ocorrem dentro dos limites da cidade.

As emissões provenientes das fontes do subsetor 'Transporte Rodoviário' são calculadas multiplicando seus dados de consumo por tipo de combustível pelo fator de emissão correspondente, considerando uma parcela de combustível fóssil e outra parcela de biocombustível, caso haja. Nesse sentido, as próximas subseções descrevem detalhadamente os procedimentos adotados para estimar as emissões de GEE, no âmbito dos transportes, da Cidade Universitária da UFRJ.

3.1 Determinação da quantidade de combustível consumido

O total de combustível consumido foi obtido por meio de dados, disponibilizados pela Prefeitura Universitária, relativos à frota própria da UFRJ (que utiliza etanol, gasolina e diesel) e da linha de ônibus circular interno (que utiliza apenas diesel). Para cálculo do

combustível consumido considerou-se a Equação 4.1:

$$C_i = \sum c_i \tag{1}$$

Onde:

- ♦ i = Tipo de combustível [adimensional];
- C = Combustível consumido total [L];
- c = Combustível consumido unitário [L];

Nota-se, com a Equação 1, que a quantidade de combustível consumido é determinada para cada tipo de combustível considerado na pesquisa (ou seja, etanol, gasolina e diesel). Isso ocorre porque o fator de emissão, apresentado na Subseção 3.2, é definido para cada tipo de combustível.

3.2 Determinação dos fatores de emissão de GEE

Basicamente, os fatores de emissão de GEE utilizados para essas estimativas foram obtidos por meio da ferramenta disponibilizada pelo GHG *Protocol* Brasil. Nesse sentido, a Tabela 7 e a Tabela 8 apresentam os fatores de emissão separados, respectivamente, por tipo de combustível fóssil e biocombustível.

| Combustível | Unidade | Fatores de Emissão (kg GEE/un.) | | |
|----------------------------------|---------|---------------------------------|-----------------|------------------|
| | | CO ₂ | CH ₄ | N ₂ O |
| Gasolina Automotiva (pura) | l | 2,212 | 0,0008 | 0,00026 |
| Óleo Diesel (puro) | l | 2,603 | 0,0001 | 0,00014 |
| Gás Natural Veicular (GNV) | m³ | 1,999 | 0,0034 | 0,00011 |
| Gás Liquefeito de Petróleo (GLP) | kg | 2,932 | 0,0029 | 0,00001 |
| Óleo Combustível | l | 3,106 | 0,0004 | 0,00002 |

Tabela 7: Fatores de emissão por utilização de combustíveis fósseis em fontes móveis.

Fonte: Elaboração própria.

| Combustível | Unidade | Fatores de Emissão (kg GEE/un.) | | |
|------------------|---------|---------------------------------|-----------------|------------------|
| | | CO ₂ | CH ₄ | N ₂ O |
| Etanol Hidratado | l | 1,457 | 0,0004 | 0,00001 |
| Biodiesel (B100) | l | 2,431 | 0,0003 | 0,00002 |
| Etanol Anidro | l | 1,526 | 0,0002 | 0,00001 |

Tabela 8: Fatores de emissão por utilização de biocombustível em fontes móveis.

Fonte: Elaboração própria.

Como podem ser observados, os fatores de emissão para fontes móveis devem ser estimados considerando uma parcela de combustível fóssil e outra de biocombustível, caso haja, presente em cada tipo de combustível. Além disso, destacam-se os fatores de emissão apresentados na Tabela 7 e na Tabela 8 que foram convertidos para kg GEE/un., de modo a facilitar os cálculos de emissão de GEE.

3.3 Determinação da quantidade de Emissão de GEE

As estimativas de emissão de GEE, realizadas nesse artigo, conforme já discutido anteriormente, baseiam-se na quantidade de combustível consumido e nos fatores de emissão, conforme pode ser identificado na Equação 2.

(2)

$$E = \sum \frac{FE_{ij} \cdot \%_j \cdot C_i + FE_{ik} \cdot \%_k \cdot C_i}{1000}$$

Onde:

- i = Tipo de combustível [adimensional];
- j = Tipo de combustível fóssil de [adimensional];
- k = Tipo de biocombustível de [adimensional];
- % = porcentagem [adimensional];
- E = Emissão por tipo de GEE [ton GEE];
- FE = Fator de Emissão de GEE [kg GEE/l];
- C = Combustível consumido total [l];

Com a Equação 2, nota-se que se faz necessário determinar, quais e em que proporção, são os combustíveis fósseis e biocombustíveis, caso haja, por cada tipo de combustível analisado nesse inventário, conforme apresentado na Tabela 9.

| Combustível | Sustâncias | P ¹ 2018 | P ¹ 2019 |
|--------------------------|----------------------------|---------------------|---------------------|
| Gasolina Comum | Gasolina Automotiva (pura) | 73% | 73% |
| | Etanol Anidro | 27% | 27% |
| Etanol | Etanol Hidratado | 100% | 100% |
| Óleo Diesel Comercial | Óleo Diesel (puro) | 92% | 92% |
| | Biodiesel (B100) | 8% | 8% |

Nota: (1) Prefere-se as proporções das substâncias contidas em cada combustível analisado.

Tabela 9: Parcela de combustível fóssil e de biocombustível de cada combustível analisado por ano.

Fonte: Elaboração própria.

3.4 Determinação da quantidade de emissão de CO₂ equivalente

Para o CH₄ e o N₂O, os resultados da Equação 4.2 são multiplicados pelo GWP correspondente, conforme já mencionado na Seção 1. Assim, a quantidade de emissão de CO₂ equivalente é obtida de acordo com a Equação 3.

$$E_{CO_2\ Eq} = E_{C_2O} + 28 \cdot E_{CH_4} + 265 \cdot E_{N_2O} \quad (3)$$

4 | RESULTADOS

Esta seção tem como objetivo apresentar os resultados obtidos com a aplicação da Metodologia GPC para estimativa das emissões de GEE, oriundas do setor de transportes da Cidade Universitária da UFRJ, referente aos anos de 2018 e 2019. Nesse sentido, na Tabela 10 são apresentados os consumos de combustível, por tipo, referente aos anos de 2018 e 2019, respectivamente.

| Combustível | L/ano 2018 | L/ano 2019 |
|--------------|------------------|------------------|
| Gasolina | 164346,92 | 151169,65 |
| Etanol | 6427,96 | 7141,36 |
| Diesel | 628742,40 | 558103,57 |
| Total | 799517,28 | 716414,57 |

Tabela 10: Consumo de combustível por ano.

Conforme nota-se na Tabela 10, o consumo de diesel, tanto em 2018, quanto em 2019, foi bem superior aos demais tipos de combustíveis. Isso se dá pela expressiva participação dos ônibus de circulação interna, destinados a movimentação de alunos e funcionários pelos centros de ensino espalhados pelo Campus da Cidade Universitária. Além disso, menciona-se a pequena participação do etanol. Isso demonstra que a universidade não é capaz de aproveitar o grande potencial do país na produção desse tipo de combustível, mesmo grande parte dos veículos, que compõem a frota, apresentando motor *flex*, o que permite tanto o uso de gasolina, quanto de etanol.

Com os consumos de combustível, por tipo, presentes na Tabela 10, e seguindo os passos apresentados na Seção 3, é possível determinar a emissão de GEE por ano, no âmbito dos transportes, conforme identificado nas Tabelas 11 e 12 que correspondem aos anos de 2018 e 2019, respectivamente.

| Combustível | tCO ₂ /ano 2018 | tCH ₄ /ano 2018 | tN ₂ O/ano 2018 | tCO ₂ Eq/ano 2018 |
|--------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|
| Gasolina | 333,10 | 0,1068 | 0,0316 | 344,46 |
| Etanol | 9,37 | 0,0025 | 0,0001 | 9,46 |
| Diesel | 1627,96 | 0,0968 | 0,0811 | 1652,18 |
| Total | 1970,43 | 0,2061 | 0,1128 | 2006,09 |

Tabela 11: Emissão de GEE referente ao ano de 2018.

| Combustível | tCO ₂ /ano 2019 | tCH ₄ /ano 2019 | tN ₂ O/ano 2019 | tCO ₂ Eq/ano 2019 |
|--------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|
| Gasolina | 308,46 | 0,1000 | 0,0298 | 319,16 |
| Etanol | 10,40 | 0,0027 | 0,0001 | 10,51 |
| Diesel | 1446,02 | 0,0849 | 0,0727 | 1467,66 |
| Total | 1764,89 | 0,1876 | 0,1026 | 1797,33 |

Tabela 12: Emissão de GEE referente ao ano de 2019.

Com as Tabelas 11 e 12 nota-se, além da expressiva participação do diesel nas emissões de GEE, o que já era de se esperar por causa de sua elevada contribuição para o consumo de combustível, que de 2018 para 2019 houve uma queda de 2006,09 tCO₂Eq/ano para 1797,33 tCO₂Eq/ano, ou seja, ocorreu uma redução de 10% das emissões de GEE.

Salienta-se que para estimar as emissões de GEE do subsetor ‘Transporte Rodoviário’, aplicou-se o *Tier 2* para CO₂ e o *Tier 1* para N₂O e CH₄. Isso ocorre porque para fontes móveis, tratando-se das emissões de N₂O e CH₄, existe a necessidade de um maior nível de informação, como tipo do veículo e tipo de tecnologia utilizada para o controle das emissões. Além disso, a qualidade dos dados foi alta (H, do inglês *High*) porque os dados são detalhados com Fatores de Emissão obtidos pelo Ministério do Meio Ambiente e pela ferramenta GHG *Protocol* Brasil.

A partir da obtenção dos dados das estimativas, parte-se para a avaliação de opções de mitigação das emissões de GEE. Nesse sentido, acredita-se que, como uma possível medida, pode-se mencionar um maior incentivo ao uso do transporte ativo, mais especificamente ao transporte não motorizado por bicicleta, aproveitando o traçado das ciclovias já existentes na região e as bicicletas disponibilizadas pelo Projeto “Integra UFRJ – compartilhamento de bicicletas e carros elétricos” do Fundo Verde, para viagens entre os centros de ensino, principalmente para aquelas com percurso inferior a 2 km. Isso reduziria a utilização dos ônibus internos que são os maiores consumidores de diesel. Para isso, faz-se necessário que seja realizada uma propaganda mais intensiva em busca de novos adeptos à utilização das bicicletas, bem como fornecimento de benefícios, como horas de atividades extracurriculares ou descontos em restaurantes da universidade, aos praticantes

mais assíduos, ou seja, aqueles que fazem mais uso das bicicletas em seus deslocamentos diários entre os centros de ensino da universidade.

Outra medida de mitigação das emissões de GEE, no âmbito dos transportes, e provavelmente a mais efetiva, é a eletrização da frota de ônibus interno. Essa medida acarretaria uma minimização significativa no consumo de diesel e, consequentemente, de emissões de GEE. Isso porque, a frota de ônibus, consumidora de diesel, representou 72% e 79% das emissões de GEE referentes ao ano de 2018 e 2019, respectivamente. Entretanto, cabe mencionar que essa medida exige investimentos expressivos que podem, em curto prazo, serem inviabilizados devido a limitação dos recursos disponíveis na UFRJ. Além disso, torna-se importante fazer alusão a eventuais emissões de GEE por utilização de veículos elétricos (direta e/ou indiretamente).

Outra medida que pode ser mencionada é a utilização de um combustível de transição energética, que se baseia na incorporação de um aditivo, denominado *Green Plus*, no combustível, que melhora o desempenho dos veículos em até 7% (*Superb Crew*, 2020). O *Green Plus* é uma espécie de catalizador que funciona ao nível molecular para levemente “desaglomerar” complexos moleculares de hidrocarboneto - é completamente miscível a todos os combustíveis com base de hidrocarboneto - e permite que o oxigênio alcance o combustível e reaja mais facilmente. O fato de melhorar o processo de combustão resulta em um “efeito dominó positivo” – isto é, em uma queima mais completa, mais linear e mais fria. Isto em consequência, adiciona mais força, mais torque, melhor economia de combustível e menor emissão de substâncias prejudiciais.

5 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

As atividades antrópicas em todo o mundo relacionadas com a produção, consumo e o uso de energia, principalmente para os transportes, são as principais responsáveis pelo aumento das emissões de GEE, que intensificam o fenômeno do aquecimento global e, consequentemente, as mudanças climáticas. Isso motiva os tomadores de decisão a estimarem essas emissões e, a partir disso, implantarem ações de mitigação, em vários setores, incluindo o de transportes.

Servindo a esse propósito, este artigo teve como objetivos estimar as emissões de GEE, no âmbito dos transportes, na Cidade Universitária da UFRJ por meio da Metodologia GPC e propor medidas de mitigação dessas emissões a partir dos resultados encontrados. Salienta-se que essas estimativas foram feitas com base no nível *BASIC*, que no setor de transportes engloba os escopos 1 e 2.

Os resultados indicam que as emissões de GEE, no âmbito dos transportes, da Cidade Universitária da UFRJ foi de 2006,09 tCO₂Eq/ano, no ano de 2018, e 1797,33 tCO₂Eq/ano, no ano de 2019. Embora tenha havido uma diminuição de cerca de 10% das emissões de 2018 para 2019, acredita-se que seja necessário investir em medidas que

busquem reduzir a trajetória dessas emissões, tais como: (i) um maior incentivo à utilização do transporte não-motorizado por bicicleta; (ii) eletrização da frota de ônibus interno; e (iii) utilização de um combustível de transição energética nos veículos da frota da UFRJ. Salienta-se que essas propostas não excluem a existência de outras, de igual importância, que podem ter ficado de fora das considerações.

O desenvolvimento deste artigo visa contribuir com as discussões e no planejamento para uma gestão estratégica das emissões de GEE em *campi* universitários. Para isso, é importante realizar estimativas ou inventários de emissões de GEE e atualizar os dados anualmente, de forma a ser possível a obtenção de uma série histórica e facilitar uma avaliação do desempenho e sobre o alcance de metas de redução de emissões estabelecidas.

REFERÊNCIAS

Andrade, C. E. S. (2016). *Avaliação da Emissão de Dióxido de Carbono e do Uso de Energia no Ciclo de Vida de Sistemas Metroferroviários de Passageiros: Aplicação na Linha 4 do Metrô do Rio de Janeiro*. Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Transportes, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Disponível em: http://www.pet.coppe.ufrj.br/images/documentos/teses/Tese_Carlos__Andrade_08-07-2016.pdf.

Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC. (2006). *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. The National Greenhouse Gas Inventories Programme.

Fry, J.; Lenzen, M.; Jin, Y.; Wakiyama, T.; Baynes, T.; Wiedmann, T.; Malik, A.; Chen, G.; Wang, Y.; Geschke, A.; & Schandl, H. (2018). Assessing carbon footprints of cities under limited information. *Journal of Cleaner Production*, v. 176, p. 1254-1270.

Fong, W. K. *et al.* (2014). *Global Protocol for Community-Scale Greenhouse Gas Emission Inventories. An Accounting and Reporting Standard for Cities*. Disponível em: https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards/GHGP_GPC_0.pdf.

GHG Protocol Brasil. (2019). *Programa Brasileiro GHG Protocol*. Disponível em: <https://www.ghgprotocolbrasil.com.br/>

Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC. (2007). *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.

Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC. (2013). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC. (2014a). *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Geneva and Switzerland.

Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC. (2014b). *Climate Change 2014: Summary for Policymakers*, In: *Climate Change 2014, Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC. (2018). *Climate Change 2018: Summary for Policymakers. Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty*. In Press.

Lombardi, M.; Laiola, E.; Tricase, C.; & Rana, R. (2017). Assessing the urban carbon footprint: An overview. *Environmental Impact Assessment Review*, v. 66, p. 43-52.

Silva, R. W. C., & Paula, B. L. (2009). Causa do aquecimento global: antropogênica versus natural. *Terra e Didática*, v. 5, n. 1, p. 42-49.

Sim, S., Oh, J., & Jeong, B. (2013). Measuring greenhouse gas emissions for the transportation sector in Korea. *Annals of Operations Research*, v. 230, n. 1, p. 129–151. doi:10.1007/s10479-013-1452-y

Superb Crew. (2020). *Biofriendly Provides A 7% Reduction in Greenhouse Gases with Green Plus, The World's Only UN Eco-Labeled Energy Transition Fuel Additive*. Disponível em: <https://www.superbcrew.com/biofriendly-provides-a-7-reduction-in-greenhouse-gases-with-green-plus-the-worlds-only-un-eco-labeled-energy-transition-fuel-additive/>

UFRJ. (2019). *UFRJ se mantém entre as melhores universidades do mundo*. Disponível em: <https://ufrj.br/noticia/2019/06/24/ufrj-se-mantem-entre-melhores-universidades-do-mundo>

ÍNDICE REMISSIVO

A

Acidentes ferroviários 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 37, 38

Atributo conforto 16, 17, 18, 19, 20, 23, 24

C

Ciclovias 12, 59, 61, 63

Cidade universitária 1, 3, 7, 8, 11, 13

Competitividade 40, 41, 42, 49, 50

Concessionárias ferroviárias 34

Coronavírus 52, 53, 54, 55, 60, 61, 62, 63

Custo de transporte brasileiro 45

Custos logísticos 40, 50

D

Desempenho 13, 14, 16, 17, 19, 24, 25, 26, 27, 34, 35, 36, 40, 45, 65

Deslocamentos 13, 52, 55, 60

E

EFVM 28, 35, 36

Emissões de GEE 1, 2, 3, 7, 8, 11, 12, 13, 14

Estradas pavimentadas 42, 44

G

Gases de efeito estufa 1, 2

Global protocol for community 1, 2, 3, 14

GPC 2, 3, 4, 5, 6, 11, 13, 14

I

Impacto 30, 31, 44, 52

Indicadores 16, 17, 19, 24, 25, 45, 65

Índice de desempenho logístico 45

Índice de eficiência logística 45

Índices de eficiência 40, 49

Infraestrutura de transporte 40, 41, 42, 49, 50, 51

Isolamento social 54, 56, 57, 58

L

Lições 30, 52, 53, 57, 58, 60, 61, 64

M

Metrô do Rio de Janeiro 14, 16, 17, 20, 21, 22, 24, 25, 65

Micromobilidade 54, 58

Minério de ferro 41, 49, 50

Mobilidade urbana 52, 53, 54, 55, 57, 58, 60, 61, 63

N

Nível BASIC 4, 7, 8, 13

O

Operação 16, 17, 18, 20, 21, 22, 49, 65

P

Programação da oferta 17, 18

R

Regulação 26

S

Segurança ferroviária 26, 29, 33, 34, 35, 36, 38, 39

Sistema de gestão de segurança 26, 38

Sistema ferroviário federal brasileiro 27

Sistemas metroviários 16, 17, 18, 19, 20, 24

T

Taxa de lotação dos trens 16, 20, 21, 22, 24

Transporte aéreo 5, 6, 8

Transporte aquaviário 5, 8

Transporte ferroviário 5, 8

Transporte fora de estrada 5, 6, 8

Transporte público 18, 25, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 63, 65

Transporte rodoviário 5, 8, 12, 42

COLEÇÃO **DESAFIOS** DAS **ENGENHARIAS:**

ENGENHARIA DE TRANSPORTES



www.atenaeditora.com.br



contato@atenaeditora.com.br



[@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)



facebook.com/atenaeditora.com.br

Atena
Editora

Ano 2021

COLEÇÃO **DESAFIOS** DAS **ENGENHARIAS:**

ENGENHARIA DE TRANSPORTES



www.atenaeditora.com.br



contato@atenaeditora.com.br



[@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)



facebook.com/atenaeditora.com.br

Atena
Editora

Ano 2021