

COLEÇÃO
DESAFIOS
DAS
ENGENHARIAS:

ENGENHARIA CIVIL



CARLOS AUGUSTO ZILLI
(ORGANIZADOR)

Atena
Editora
Ano 2021

COLEÇÃO
DESAFIOS
DAS
ENGENHARIAS:

ENGENHARIA CIVIL



CARLOS AUGUSTO ZILLI
(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 Cremona

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
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
Prof. Dr. Humberto Costa – Universidade Federal do Paraná
Profª Drª 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
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. Miguel Rodrigues Netto – Universidade do Estado de Mato Grosso
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 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 Federaci do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Dr. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados
Profª Drª Regiane Luz Carvalho – Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino
Profª Drª Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora
Profª Drª Vanessa 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 Gonçalo 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. 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 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 Ramirez – 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/UFPR
Prof. Me. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Ma. Lillian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará
Profª Ma. Lillian 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 civil

Bibliotecária: Janaina Ramos
Diagramação: Camila Alves de Cremo
Correção: Flávia Roberta Barão
Edição de Arte: Luiza Alves Batista
Revisão: Os autores
Organizador: Carlos Augusto Zilli

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

C691 Coleção desafios das engenharias: engenharia civil /
Organizador Carlos Augusto Zilli. – Ponta Grossa - PR:
Atena, 2021.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5983-302-3

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.023211407>

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

CDD 624

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

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

Esta obra, intitulada “Coleção Desafios das Engenharias: Engenharia Civil”, em seu primeiro volume, apresenta 18 capítulos que abordam pesquisas relevantes sobre os desafios enfrentados pela engenharia civil mundo afora, tais como: Otimização e Dimensionamento de Peças Estruturais, Concreto em Situações de Incêndio, Confiabilidade Estrutural, Prevenção de Danos em Estruturas, Estudos de Materiais Alternativos para Construção Civil, Concreto Ecológico e Descarte de Resíduos.

Desta forma, esta obra se mostra potencialmente disponível para contribuir com discussões e análises aprofundadas acerca de assuntos atuais e relevantes, servindo como base referencial para futuras investigações relacionadas à estruturas de concreto armado e materiais de construção civil.

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

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

Carlos Augusto Zilli

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

DIMENSIONAMENTO OTIMIZADO DE LAJES NERVURADAS, UTILIZANDO ALGORITMO GENÉTICO

Jessyca Priscylla de Almeida Nunes

Giuliana Furtado Franca Bono

Gustavo Bono


 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0232114071>

CAPÍTULO 2..... 16

DIMENSIONAMENTO DE VIGAS DE CONCRETO ARMADO EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO CONFORME MÉTODO TABULAR E PRINCÍPIO DE CÁLCULO DAS ZONAS

Diogo Raniere Ramos e Silva

Maria de Lourdes Teixeira Moreira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0232114072>

CAPÍTULO 3..... 28

CONSIDERAÇÕES SOBRE PUNÇÃO EM LAJES PLANAS DE CONCRETO ARMADO

Ailton Queiroz Junior

Aurélio de Almeida Abdoral Neto

Eduardo Emilio Martins Pinheiro Câmara

Elsimar Souza Santos

Felipe Vieira Ladislau

Janiele Moreira Roland


Kevin de Matos Costa

Luiz Alfredo Franco Pinheiro

Paola de Kácia de Souza Pinto Silva

Pedro Ignácio Lima Gadêlha Jardim

Raíssa Coelho Almeida

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0232114073>


CAPÍTULO 4..... 43

CONFIABILIDADE ESTRUTURAL DE PÓRTICOS PLANOS DE AÇO

Danilo Luiz Santana Mapa

Marcílio Sousa da Rocha Freitas

Ricardo Azoubel da Mota Silveira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0232114074>


CAPÍTULO 5..... 64

PROJETO ÓTIMO DE VIGAS DE CONCRETO ARMADO COM SEÇÃO T UTILIZANDO OTIMIZAÇÃO POR ENXAME DE PARTÍCULAS

Rubens Silva Correia

Giuliana Furtado Franca Bono

Gustavo Bono


 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0232114075>

CAPÍTULO 6..... 79

A SIMULAÇÃO NUMÉRICA NA RESOLUÇÃO DE DESAFIOS DA ENGENHARIA ESTRUTURAL

Tainá Mascarenhas Borghi


Ana Lucia Homce de Cresce El Debs

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0232114076>

CAPÍTULO 7..... 93

EXPERIÊNCIAS PARA A PREVENÇÃO DE DANOS NAS ESTRUTURAS DE CONCRETO PÓS-TENSIONADO

Sergio Gavilán

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0232114077>

CAPÍTULO 8..... 108

EMPREGO DE ENSAIOS DE DURABILIDADE EM CONCRETOS COM SINTOMAS DE EXPANSÃO EM FUNDAÇÕES DE SUBESTAÇÕES E LINHAS DE TRANSMISSÃO EM MINAS GERAIS

Marina Munaretto Copetti

Cristiane Carine dos Santos

Ana Paula Maran

Silvane Santos da Silva

Régis Luís Wagner Mallmann

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0232114078>

CAPÍTULO 9..... 125

ANÁLISE DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS, FÍSICAS E DE DURABILIDADE DO CONCRETO POLÍMERO DESENVOLVIDO A PARTIR DA UTILIZAÇÃO DE RESINA POLIURETANA VEGETAL


Alexandre Rodriguez Murari

Giovanna Jacomelli

Victor José dos Santos Baldan

Eduvaldo Paulo Sichieri

Javier Mazariegos Pablos

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0232114079>

CAPÍTULO 10..... 138


AVALIAÇÃO DA SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO CIMENTO PORTLAND POR CINZAS DE OLARIAS NO COMPORTAMENTO MECÂNICO DO CONCRETO ESTRUTURAL

Larissa Barbosa de Lima

Jozilene de Souza

Júlio César Damasceno

José Edivandro de Sousa Júnior


 <https://doi.org/10.22533/at.ed.02321140710>

CAPÍTULO 11..... 151

ESTUDO DO USO DE MATERIAIS ALTERNATIVOS NA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO

CIVIL BRASILEIRA


Marcos David dos Santos
Marco Antônio Assis de Oliveira
Danylo de Andrade Lima
Marcelo Laédson Morato Ferreira
Hosana dos Santos Lima
Jaciera Isabelle Medeiros de Oliveira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.02321140711>

CAPÍTULO 12..... 162

ARTEFATOS DE CONCRETO LEVE E PERMEÁVEL COM A UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL E POLIESTIRENO EXPANSÍVEL


Mariana Venturini
Gabriel Salvador
Carlos Henrique Costa

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.02321140712>

CAPÍTULO 13..... 169

ANÁLISE COMPARATIVA DE MITIGAÇÃO UTILIZANDO OS CIMENTOS CPII – F 32, CPII E-40, CPIV E CPV COM METACAULIM EM AGREGADOS POTENCIALMENTE REATIVOS


Marina Munaretto Copetti
Cristiane Carine dos Santos
Ana Paula Maran
Silvane Santos da Silva
Régis Luís Wagner Mallmann

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.02321140713>

CAPÍTULO 14..... 189

ANÁLISE PRELIMINAR DO COMPORTAMENTO DE PASTAS E ARGAMASSAS DE CIMENTO PORTLAND INCORPORADAS COM PÓ À BASE DE CACTO

Gabriella Cavalcante Souza
João Victor de Paiva Rodrigues
Yasmim Medeiros Rocha
Heber Sivini Ferreira




 <https://doi.org/10.22533/at.ed.02321140714>

CAPÍTULO 15..... 201

UTILIZAÇÃO DE MATERIAIS COMPÓSITOS (POLÍMEROS REFORÇADOS POR FIBRAS) NAS PESQUISAS EXPERIMENTAIS EM VIGAS DE CONCRETO ARMADO REFORÇADAS AO CISALHAMENTO

Maicon de Freitas Arcine
Nara Villanova Menon

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.02321140715>

CAPÍTULO 16	223
CONCRETO ECOLÓGICO: SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DA AREIA PELO PÓ DE VIDRO	
Rafael Dantas Ribeiro	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.02321140716	
CAPÍTULO 17	237
RESÍDUO DESCARTADO PELA SIDERÚRGICA DE CORUMBÁ-MS COMO POTENCIAL PARA REAPROVEITAMENTO NA CONSTRUÇÃO CIVIL	
Manoela da Silva Carvalho	
Fábio Kroll de Lima	
Felipe Fernandes de Oliveira	
Robson Fleming Ribeiro	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.02321140717	
CAPÍTULO 18	253
REDES NEURAIS ARTIFICIAIS APLICADAS NA MODELAGEM DA DIFUSÃO DE CO ₂ NO CONCRETO	
Emerson Felipe Felix	
Renan do Vale Leonel de Assis	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.02321140718	
SOBRE O ORGANIZADOR	272
ÍNDICE REMISSIVO	273

CONCRETO ECOLÓGICO: SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DA AREIA PELO PÓ DE VIDRO

Data de aceite: 01/07/2021

Data de submissão: 15/05/2021

Rafael Dantas Ribeiro

Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia do Pará – Campus Santarém
Santarém – PA
<http://lattes.cnpq.br/0784550712804403>

RESUMO: No município de Santarém-PA cerca 150 toneladas de lixo domiciliar são produzidas diariamente. Com o intuito de promover uma reciclagem de baixo custo e amenizar os impactos gerados pela forma inadequada de despejo do lixo, foi utilizado o vidro como agregado miúdo substituindo parcialmente a areia no concreto. O proposto tem por objetivo analisar o comportamento do concreto submetido a solicitações de compressão, para análise de viabilidade do emprego da utilização do concreto modificado, com parcialidade de vidro como agregado fino, em relação ao de referência. O material utilizado para a substituição da areia foram garrafas de vidro “long neck” verdes, as quais foram trituradas e peneiradas. O cimento para a concretagem foi o CII Z 32, sendo o traço calculado por meio do método ABCP com um fck de 20 MPa. A substituição da areia pelo vidro moído deu-se de 50% e os ensaios de resistência a compressão foram feitos com 3, 7 e 28 dias após a concretagem. Observou-se ao romper os corpos de prova no 3º dia que o concreto ecológico apresentou resultados de resistência

aproximadamente iguais do convencional, com uma diferença média aproximada de 1,08 MPa. Destarte, a reciclagem desse material oportuniza cuidar do meio ambiente, bem como gerar maiores lucros para as empresas de concretagem que visam investir em pesquisa e tecnologia na construção civil.

PALAVRAS-CHAVE: Concreto; vidro; agregado miúdo; reciclagem.

ECOLOGICAL CONCRETE: PARTIAL REPLACEMENT OF SAND BY GLASS POWDER

ABSTRACT: In the municipality of Santarém-PA, approximately 150 tons of household waste are produced daily. In order to promote low-cost recycling and mitigate the impacts generated by the inadequate form of waste disposal, glass was used as fine aggregate, partially replacing sand in concrete. The purpose of this proposal is to analyze the behavior of concrete subjected to compression requests, to analyze the feasibility of using modified concrete, with partial glass as a fine aggregate, in relation to the reference. The material used to replace the sand were green long neck glass bottles, which were crushed and sieved. The cement for concreting was CII Z 32, the trace being calculated using the ABCP method with a 20 MPa fck. The replacement of sand with ground glass was 50% and the compressive strength tests were performed 3, 7 and 28 days after concreting. It was observed when breaking the specimens on the 3rd day that the ecological concrete showed resistance results approximately equal to the conventional, with an average difference of approximately 1.08

MPa. Thus, recycling this material makes it possible to take care of the environment, as well as generate greater profits for concreting companies that aim to invest in research and technology in civil construction.

KEYWORDS: Concrete; glass; fine aggregate; recycling.

1 | INTRODUÇÃO

O concreto é um dos compósitos mais utilizado na área da engenharia, seja para a construção de pontes, edifícios, rodovias ou barragens. No seu estado fresco possui grande versatilidade e sua aplicação é variada, sendo observado em elementos estruturais como vigas, pilares ou sapatas (NEVILLE e BROOKS, 2010). Com o crescimento da indústria no setor da construção civil, passou-se a investigar meios pelos quais pudesse mitigar os impactos gerados pelos bens retirados da natureza e buscou-se introduzir, dentre outros mecanismos tecnológicos, o reuso de resíduos sólidos, promovendo a sustentabilidade e a reciclagem de materiais que normalmente não possuíam finalidade (BAPTISTA JUNIOR e ROMANEL, 2013). A substituição parcial dos agregados ou do cimento por materiais reciclados é um dos meios de promover o desenvolvimento sustentável. Pode-se corroborar isso, pois segundo Malassise e Salvalagio (2014) entende-se por desenvolvimento sustentável a garantias do desenvolvimento econômico sem prejudicar as gerações futuras, mantendo reservas de recursos naturais. Com essa perspectiva, substituir uma porcentagem de um dos materiais do concreto convencional por um bem já descartado pela sociedade é oportunizar a diminuição da retirada de matéria-prima da natureza. Nesse intuito, propôs-se substituir parcialmente o agregado miúdo (areia) pelo pó de vidro.

Segundo Callister e Rethwisch (2012) os vidros pertencem a família dos materiais cerâmicos e são silicatos não cristalinos. Nas suas características encontram-se a facilidade de fabricação, bem como sua transparência óptica. As vidrocerâmicas são a transformação desses vidros não cristalinos em cristalinos por meio de um processo térmico chamado cristalização. Dentre suas propriedades pode-se observar, em comparação ao vidro, a resistência relativamente elevada e baixos coeficientes de expansão térmica. Essas propriedades desejáveis conduzem a um grande número de aplicações na área comercial. No entanto, o vidro e as vidrocerâmicas são geralmente frágeis, quebram-se com facilidade. Os vidros passam por um processo de conformação e, normalmente, esse ocorre entre as temperaturas de trabalho e de amolecimento, sendo para o vidro com 96% de sílica em torno de 1600°C.

O vidro é um material que possui como fórmula química básica o SiO_2 e é derivado do processamento da areia. Devido a essas condições são materiais bastante próximos em suas características. Segundo Bauer (2000) a areia é um sedimento inconsolidado de origem mineral, de grãos em quartzosos com diâmetros no intervalo de 0,06 a 2,0mm. Para o uso no concreto pode ser retirada de rios, jazidas e do mar, nesse caso há um

tratamento especial para retirar os sais. Conforme sua granulometria ou seu módulo de finura pode ser classificada em areia grossa, média e fina. Tem a sua variação diametral para a caracterização do agregado entre 4,8 a 0,15 mm. Um dos seus papéis fundamentais é de diminuir os vazios no concreto, ocupar espaço volumétrico, bem como homogeneizar a distribuição de esforços no compósito.

A reciclagem do vidro é muito importante devido esse não ser um material biodegradável e, por não poder ser compactado, gera grandes entulhos em aterros (PENSAMENTO VERDE, 2013). Além disso, não se sabe ao certo o tempo de degradação desse cristal, mas estima-se cerca de 1 milhão de anos, dependendo do meio no qual o material fica sujeito (ANAVIDRO, 2013). O processo de reciclagem do vidro passa, simplificada, por cinco etapas: separação, limpeza, trituração, fundição e moldagem. Os gastos de energia para se fazer uma nova embalagem de vidro por meio da reciclagem são menos consideráveis em relação a produção direta de sua matéria-prima, bem como a emissão de CO₂ (PENSAMENTO VERDE, 2013). Contudo, em uma análise observacional, utilizar o vidro como agregado no concreto oportuniza um impacto ambiental ainda menor que o da reciclagem, pois as etapas para a confecção do agregado são apenas três: separação, limpeza e trituração. A energia gasta advém apenas para as máquinas de moagem e a emissão de CO₂ se limita a ser nula. Desse modo, evidencia-se os benefícios ecológicos do concreto confeccionado com o pó de vidro.

A utilização do vidro como agregado é motivo de vários estudos e vem ganhando repercussão no âmbito científico da construção civil. No trabalho de Ribeiro e Santos (2020), que utilizaram resíduos da lapidação de vidro como agregado fino em argamassas, verificou-se que o ganho de resistência a compressão ocorre, em grande parte, devido as propriedades pozolânicas, ou cimentícias, que o vidro apresenta. Destacam também que a diminuição da resistência em argamassas com mais de 5% de pó de vidro tem como causa o aumento da porosidade. Para o estudo de Trentin *et al.* (2020), sobre a substituição da areia por vidro moído em argamassas, evidenciou-se que as propriedades pozolânicas do vidro são vantajosas no ganho de resistência mecânica. Ressaltam que esses resultados advêm, conjuntamente, da diminuição da porosidade, do aumento do empacotamento, além do favorecimento que a irregularidade das partículas oportuniza para a melhor combinação com outros elementos. Dentre a substituição do agregado miúdo o melhor resultado de resistência a compressão deu-se na faixa de 50% do material, sendo a resistência 27,38% maior que a de referência.

No estudo de Miranda Junior *et al.* (2014) apurou-se o comportamento do pó de vidro plano em substituição da areia, analisando a viabilidade estrutural do concreto. Constataram que o fator *a/c* era um dos principais causadores do aumento da resistência a compressão, haja visto o vidro reduzir a fluidez do compósito. Concluíram que com uma relação *a/c* igual a 0,50, os resultados de resistência em qualquer porcentagem de substituição são considerados adequados para aplicações estruturais. Pontuaram, também, que a atividade

pozolânica do vidro, com a diminuição dos vazios recorrente a formação de CSH e a melhor distribuição das partículas foram fatores que atenuaram os resultados positivos do ganho de resistência do concreto a compressão.

Desse modo, por meio dos resultados favoráveis da utilização do vidro como agregado nos referenciais teóricos supracitados, bem como buscando contribuir para minimizar na cidade de Santarém-PA a quantidade produzida de lixo domiciliar, que segundo Costa (2019) são cerca de 150 toneladas por dia, e o seu descarte inadequado, objetivou-se utilizar o vidro como agregado miúdo no concreto, investigando o comportamento do compósito a ensaios de resistência a compressão, pontuando a viabilidade do emprego na construção civil.

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

O vidro utilizado na substituição parcial da areia era proveniente de garrafas “long neck” obtidas por meio de coletas em lojas de bebidas na cidade de Santarém-PA. Inicialmente, houve a limpeza de cerca de 40 garrafas. Os rótulos foram removidos, bem como os resíduos químicos por meio de enxague. O processamento desse material em seguida deu-se pela trituração no maquinário abrasão Los Angeles (Figura 1), levando-o a uma granulometria máxima de 4,8 mm no primeiro peneiramento.



Figura 1 - Trituração das garrafas de vidro por meio do maquinário abrasão Los Angeles.

O vidro moído passou por um segundo tratamento de moagem para obter-se uma granulometria máxima de 300 μm , haja vista que segundo Mayer *et al.*, apud Shao *et al.* (2000), as reações álcali-agregado reduzem-se evitando a diminuição da resistência (Figura 2). Essas reações são resultado da formação de um gel de expansão formado pela interação dos componentes álcalis do cimento com alguns minerais de sílica, quando hidratados (BARRETO SANTOS, DE BRITO e SANTOS SILVA, 2009). O diâmetro máximo das partículas de vidro em 300 μm influenciam na redução dessas reações de expansão interna no concreto, reduzindo o índice de vazios e, conseqüentemente, elevando a

resistência do concreto a compressão (LOPEZ, AZEVEDO e BARBOSA NETO, 2005).



Figura 2 - Moagem do vidro de forma artesanal.

O agregado miúdo, nos parâmetros de classificação da série de Taylor, caracterizou-se como uma areia predominantemente média, decorrente da maioria dos grãos estarem retidos nos intervalos de 0,20 a 0,60 mm, como mostra a curva granulométrica na figura 3, bem como apresentou um módulo de finura igual a 2,08. Sua massa específica foi de $2,56 \text{ g/cm}^3$ e a massa unitária de $1,19 \text{ g/cm}^3$. Os parâmetros de suporte para a determinação dos valores citados acima encontram-se na NBR 7211:2005 (ABNT, 2005) e NBR NM 52:2003 (ABNT, 2003). O ensaio granulométrico conforme exigido pela NBR 7217:1987 (ABNT, 1987) para a areia está destacado na Tabela 1.

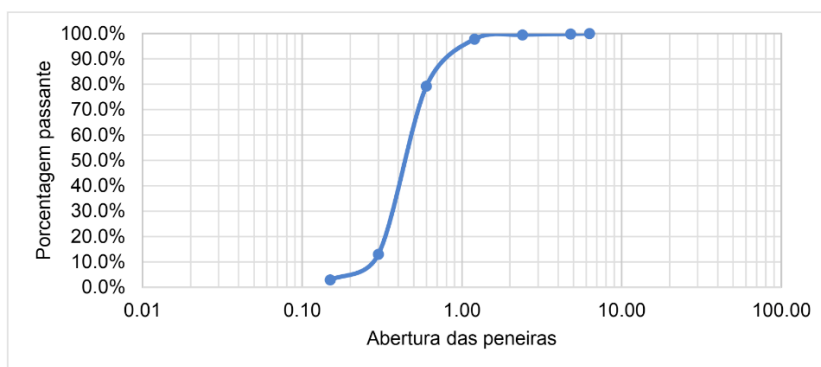


Figura 3 – Curva granulométrica do agregado miúdo.

Diâmetro das Peneiras	Massa Retida (g)	Massa Retida (%)	Massa Retida Acumulada (%)
4.800mm	2	0,20%	0,20%
2.400mm	3	0,30%	0,50%
1.200mm	17	1,70%	2,20%
0.600mm	185	18,50%	20,70%
0.300mm	663	66,30%	87,00%
0.150mm	101	10,10%	97,10%
Grão ≤ 0.150mm	29	2,90%	100,00%
Total	1000	100,00%	...

Tabela 1 – Distribuição granulométrica da areia utilizada.

O agregado graúdo utilizado foi brita basáltica, classificando-se preponderantemente como brita 1. Obteve-se nos ensaios que o diâmetro máximo foi de 19,00 mm, bem como uma massa específica de 3,03 g/cm³ e uma massa unitária de 1,68 g/cm³. Os ensaios para a obtenção desses resultados estão em conformidade com a NBR 7211:2005 (ABNT, 2005) e NBR NM 53:2003 (ABNT, 2003). A Tabela 2 retrata os dados obtidos por meio dos ensaios granulométricos, orientados pela NBR 7217:1987 (ABNT, 1987), para a brita.

Diâmetro das Peneiras	Massa Retida (g)	Massa Retida (%)	Massa Retida Acumulada (%)
19.00mm	54	1,80%	1,80%
12.70mm	2206	73,53%	75,33%
9.500mm	596	19,87%	95,20%
6.300mm	122	4,07%	99,27%
4.800mm	11	0,37%	99,63%
Grão ≤ 4.800mm	11	0,37%	100,00%
Total	3000	100,00%	...

Tabela 2 – Distribuição granulométrica da Brita utilizada.

O cimento utilizado na análise experimental foi o CII Z 32 da marca MIZU com uma massa específica de 3,1 g/cm³. Usou-se o método de dosagem ABCP para calcular o traço do concreto. O F_{ck} solicitado foi de 20 MPa e obteve-se um $F_{c_{j_{28}}}$ de 29 MPa com um desvio padrão de 5,5. A relação água/cimento utilizada foi de 0,53, sendo o resultado do traço 1:1,86:3,25. A tabela 3 representa a quantidade respectiva de cada material usado.

Corpos de Prova	Cimento (kg)	Areia (kg)	Brita (kg)	Água (l)	Vidro (kg)
Referência	5,68	10,55	18,46	3,01	0,00
Modificado	5,68	5,28	18,46	3,01	5,28

Tabela 3 - Quantidade de material usado para a confecção dos CP's.

A substituição do agregado fino por vidro moído deu-se de 50%, fazendo-se aferições do comportamento do concreto modificado com vidro em suas solicitações mecânicas a compressão. Para fins de comparação confeccionou-se corpos de prova (CP's) de referência, com 100% de areia. Os CP's possuíam um formato cilíndrico com diâmetro de 10 cm e altura de 20 cm, constando um volume de 1570,8 cm³ (Figura 4).



Figura 4 - Moldes dos corpos de prova.

Na moldagem, obedecendo os parâmetros estipulados pela NBR 5739:2018 (ABNT, 2018), determinou-se a consistência do concreto por meio do ensaio de abatimento do tronco de cone, ou “Slump test”, (Figura 5) e obteve-se para o concreto de referência um abatimento de $\pm 7,0$ cm e para o modificado, com 50% de areia, $\pm 7,5$ cm.



Figura 5 – Ensaio de abatimento do tronco de cone.

Durante o período dos ensaios os CP's ficaram imersos em água, conforme o que recomenda a NBR 5739:2018 (ABNT, 2018) supracitada. Os rompimentos ocorreram 3, 7 e 28 dias após a concretagem. Para corroborar o valor obtido pelos rompimentos no maquinário de ensaio mecânico a compressão, rompeu-se três corpos de prova e tirou-se a média dos resultados.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados serão discutidos em quatro subtópicos diferentes, fazendo uma análise específica dos rompimentos no 3º, 7º e 28º dia após a concretagem, contendo o estudo do comportamento da resistência a compressão. Por fim, fará um estudo geral dos dados corroborando as observações investigadas.

3.1 Comportamento do concreto submetido ao ensaio de compressão no 3º dia

No terceiro dia após a concretagem observou-se uma linearidade e menor dispersão da resistência do concreto modificado, sendo o desvio padrão ($\bar{\sigma}$) desse de 0,44 MPa e o de referência de 0,63 MPa. Foram feitas análises de seis corpos de provas, com três para cada tipo de concreto. O ganho de resistência mínima do concreto modificado com a substituição foi cerca de 44,41% do estimado para o 28º dia e os valores apontaram aproximações relevantes em comparação ao de referência (Figura 6). A média dos dados apontam uma amplitude de 1,08 MPa entres os resultados adquiridos por meio dos ensaios.

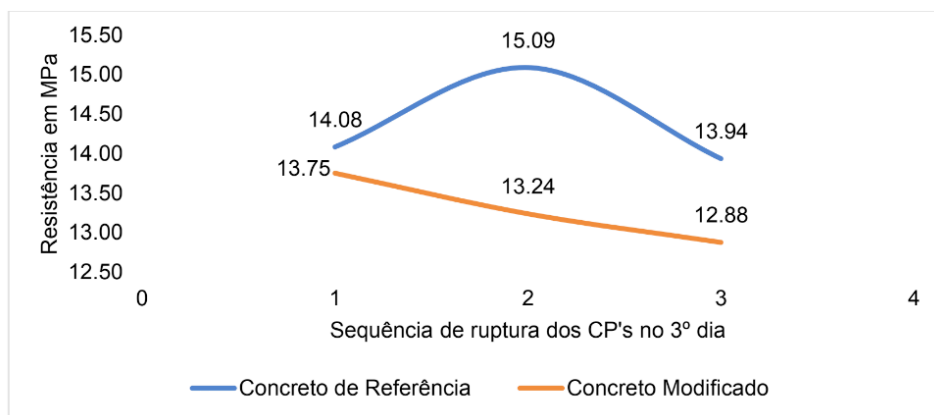


Figura 6 - Comparação dos dados obtidos no ensaio de compressão do concreto no 3º dia.

3.2 Comportamento do concreto submetido ao ensaio de compressão no 7º dia

Segundo Giammusso, apud López, Azevedo e Barbosa Neto (2005), o concreto

alcança uma resistência de aproximadamente 70% no 7º dia após a concretagem. Essa afirmativa é bem válida para uma análise de um betão convencional, haja vista o de referência nesse estudo ter chegado a um valor mínimo de 72,93% do previsto para o 28º dia. Contudo, o resultado mínimo de resistência para o concreto modificado não se encaixa precisamente nesse parâmetro de investigação, pois chegou-se cerca de 64,6% do $F_{cj_{28}}$. Nessa idade de cura o concreto modificado apresentou uma maior variação da resistência dos CP's rompidos, uma vez que o σ desse é de 0,81 MPa comparado ao de referência que é de 0,47 MPa, mostrando-se com um comportamento menos linear. Os valores obtidos no ensaio de resistência a compressão no sétimo dia encontram-se abaixo (Figura 7). Importante ressaltar que a amplitude dos resultados médios é cerca de 2,41 MPa.

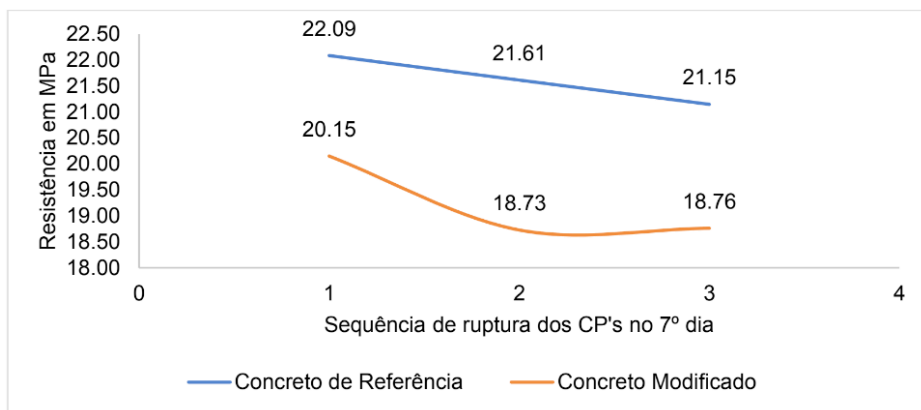


Figura 7 - Comparação dos dados obtidos no ensaio de compressão do concreto no 7º dia.

3.3 Comportamento do concreto submetido ao ensaio de compressão no 28º dia

O concreto de referência apresentou uma resistência mínima aproximada de 85,52% do valor estimado pelo $F_{cj_{28}}$ aos 28 dias, tendo em vista que o valor mínimo apresentado pelos resultados do concreto modificado foi de 81,69%. O σ revela a maior linearidade do ganho de resistência dos CP's com 50% de vidro, sendo o σ cerca de 0,43 MPa em comparação com o de referência, 0,71 MPa. A figura 8 demonstra o comparativo dos resultados de resistência alcançada no 28º dia.

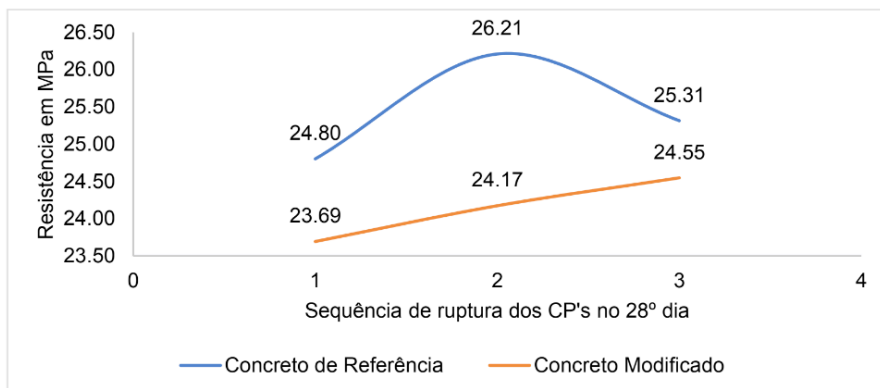


Figura 8 - Comparação dos dados obtidos no ensaio de compressão do concreto no 28º dia.

3.4 Análise geral do comportamento do concreto submetido ao ensaio de compressão

O comportamento dos resultados supracitados obtidos durante os 28 dias de aferições do compósito concreto corroborou que a substituição da areia por vidro moído é viável, haja vista o concreto modificado ter ultrapassado o F_{ck} estimado. Contudo, o concreto de referência mostrou ter maior ganho de resistência, mesmo a variação das médias dos CP's serem pequenas (Figura 9).

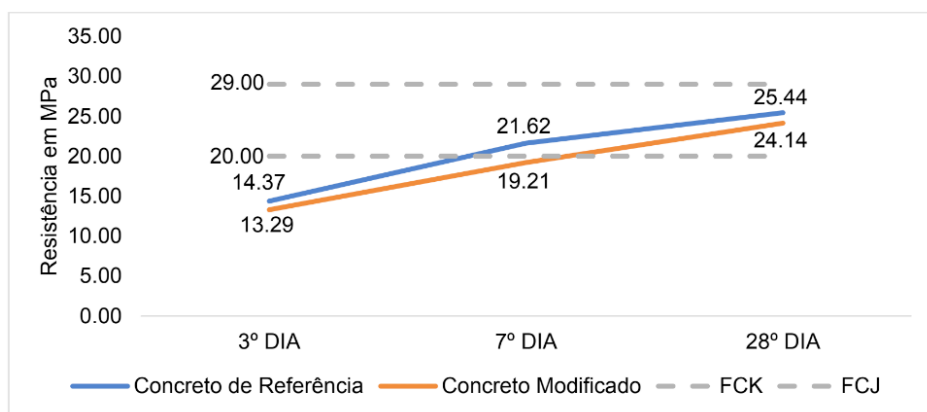


Figura 9 - Média dos dados obtidos nos ensaios de compressão do concreto durante 28 dias.

Os valores observados por meio dos ensaios mostram que ambos os tipos de concreto não alcançaram o $F_{cj_{28}}$ esperado, mas ficaram no intervalo aceitável útil de trabalho. Para Pereira (2016) o motivo da resistência a compressão do concreto com vidro não ultrapassar o de referência em 5%, 10% e 100% de substituição dá-se devido as partículas de vidro

não estarem bem acomodadas e ao pouco atrito gerado pela superfície de contato, haja vista o vidro ser um material liso. Contudo, com 20% de substituição o compósito alcançava as condições desejáveis e conseguia superar a resistência do de referência. O rompimento dos CP's modificados durante os ensaios ocorriam por cisalhamento (Figura 10) e observava-se que o pó de vidro no concreto dava esse comportamento de pouca rugosidade, implicando em uma das possíveis causas para a resistência do concreto modificado ser inferior ao de referência, mas não fora do limite aceitável.



Figura 10 - Concreto modificado submetido ao ensaio de resistência a compressão.

Segundo Callister e Rethwisch (2012) a dimensão do material (macro, micro, nano, pico, etc) influencia diretamente no comportamento de suas propriedades físico-químicas, podendo alterá-las. O vidro é em teoria quimicamente inerte, mas ao passar por um processo de moagem ganha características cimentícias (PEREIRA, 2016). Essas propriedades podem ter influenciado diretamente na relação a/c ocasionando expansões internas no concreto modificado, aumentando o índice de vazios/fissuras (RIBEIRO e SANTOS, 2020) e promovendo uma resistência inferior em comparação ao de referência. Percebe-se também, pelo ensaio de abatimento do tronco de cone, que é maior a consistência do concreto com pó de vidro, comprovando a influência no fator a/c (MIRANDA JUNIOR *et al.*, 2014).

Segundo López, Azevedo e Barbosa Neto (2005) a granulometria do pó de vidro no intervalo de 300 - 150 μm resulta em um melhor preenchimento dos vazios no concreto. A diferença de resistência entre os CP's com agregado miúdo de vidro em relação aos de referência pode ter como causa a granulometria do material, pois o controle do diâmetro do pó de vidro deu-se em fazê-lo apenas passar pela peneira de 300 μm , sem levar em

consideração o intervalo supracitado. Concluem também que abaixo desse parâmetro de diâmetro o betão com pó de vidro apresenta maior absorção de água e porosidade.

O desvio padrão apresentado pelos resultados médios de resistência mostram que a menor dispersão dos valores no ganho de resistência veio pela utilização do vidro como agregado, sendo o desvio padrão do concreto modificado de 5,43 MPa e o de referência 5,62 MPa. Os resultados apontaram uma maior linearidade no ganho de resistência do concreto com vidro moído. Conforme a análise geral demonstrada pela figura 9, tem-se por conclusão que os valores obtidos entre os tipos de concreto são bastante próximos, sendo a diferença média aos 28 dias entre eles de 1,30 MPa. Ambos se encontram em um intervalo aceitável de resistência a compressão.

4 | CONCLUSÃO

Em suma, os resultados conferidos no experimento de substituir 50% da areia por vidro moído satisfizeram quase totalmente as expectativas. Em primeiro lugar, a média de resistência dos corpos de prova modificados não alcançou a resistências estimada pelo $F_{cj_{28}}$. Contudo, o F_{ck} proposto pelo experimento foi de 20 MPa e ambos os tipos de concreto superaram esse valor. Ambos demonstraram estar em uma faixa de resistência mecânica aceitável, sendo 24,14 MPa para o concreto modificado e 25,44 MPa para o de referência no 28º dia.

As causas para a resistência do compósito com pó de vidro ser inferior estão a ser investigadas, mas alguns trabalhos apontam que essa diminuição se dá pelo aumento do índice de vazios (TRENTIN *et al.*, 2020), pela influência na relação a/c (MIRANDA JUNIOR *et al.*, 2014) e a superfície de contato lisa (PEREIRA, 2016). Todavia, uma aferição mais detalhada pode melhorar o controle tecnológico dessas propriedades, oportunizando benefícios para a construção civil e o meio ambiente. De acordo com Pereira (2016) utilizar esse material no concreto traria benefícios ecológicos na diminuição da extração de recursos naturais, bem como favoreceria as empresas com certificações ambientais, valorizando os imóveis com o betão confeccionado com o pó de vidro.

Em uma análise qualitativa a reciclagem do vidro por meio da utilização no concreto apresenta melhor eficiência econômica e ambiental. Pode-se concluir esses benefícios comparando os processos pelos quais a reciclagem convencional e a reciclagem por meio da produção do agregado de vidro, citados inicialmente, passam. Nota-se que os gastos de energia são menores e não há emissão de CO_2 por parte do material. O pó de vidro também ajuda na diminuição da quantidade de cimento na confecção do compósito, levando conseqüentemente a uma redução na produção de cimento e, assim, na emissão de CO_2 pelas indústrias cimentícias (RIBEIRO e SANTOS, 2020). Assim, pode-se concluir que o concreto confeccionado com o agregado miúdo feito de vidro, na substituição de 50% da areia, apresenta benéficos econômicos, ambientais e estruturais, sendo necessário

estudos mais aprofundados do material cerâmico vidro para melhor compreender seu comportamento e aplica-lo eficientemente na construção civil.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211**: Agregados para concreto - Especificação. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 52**: Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7217**: Agregados: Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 53**: Agregado graúdo - Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739**: Concreto: Ensaio de compressão de corpos cilíndricos. Rio de Janeiro, 2018.

BAPTISTA JUNIOR, Joel Vieira; ROMANEL, Celso. **Sustentabilidade na indústria da construção: uma logística para reciclagem dos resíduos de pequenas obras**. urbe, Rev. Bras. Gest. Urbana, Curitiba, v. 5, n. 2, p. 27-37, dic. 2013. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2175-33692013000200004&Ing=es&nrm=iso>. acessado em 07 mayo 2020. <https://doi.org/10.7213/urbe.05.002.SE02>.

BAUER, L. A. Falcão. **Materiais de construção Vol.1**. 5.ed. Rio de Janeiro. LTC. 2000.

BARRETO SANTOS, Miguel; DE BRITO, Jorge; SANTOS SILVA, António. **Métodos de evaluación de las reacciones álcali-sílice en hormigones con áridos reciclados**. Rev. ing. constr., Santiago, v. 24, n. 2, p. 141-152, agosto 2009. Disponible en <https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-50732009000200002&Ing=es&nrm=iso>. acessado em 06 mayo 2020. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-50732009000200002>.

CALLISTER, W.; RETHWISCH, D. **Ciência e engenharia de materiais: uma introdução**. 8.ed. Rio de Janeiro: LTC. 2012.

COSTA, Tracy. **Cerca de 150 toneladas de lixo são produzidas em Santarém diariamente**. G1, Santarém, 09 de junho de 2019. Disponível em: <<https://g1.globo.com/pa/santarem-regiao/noticia/2019/06/09/cerca-de-150-toneladas-de-lixo-sao-produzidas-em-santarem-diariamente.ghtml>>. Acesso em: 11 de dezembro de 2019.

LOPEZ, D. A. R; AZEVEDO, C. A. P. de; BARBOSA NETO, E.. **Avaliação das propriedades físicas e mecânicas de concretos produzidos com vidro cominuído como agregado fino**. Cerâmica, São Paulo, v. 51, n. 320, p. 318-324, Dec. 2005. Available from <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0366-69132005000400003&Ing=en&nrm=iso>. access on 07 May 2020. <https://doi.org/10.1590/S0366-69132005000400003>.

MALASSISE, R.; SALVALAGIO, W. **Introdução à economia**. Londrina: UNOPAR, 2014.

MIRANDA JUNIOR, Edson Jansen Pedrosa de et al. **Increasing the compressive strength of Portland cement concrete using flat glass powder**. Mat. Res., São Carlos, v. 17, supl. 1, p. 45-50, Aug. 2014. Available from <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-14392014000700009&lng=en&nrm=iso>. access on 06 May 2020. Epub May 09, 2014. <https://doi.org/10.1590/S1516-14392014005000058>.

NEVILLE, A.; BROOKS J. **Tecnologia do concreto**. 2.ed. Porto Alegre: BOOKMAN, 2010.

Processo de reciclagem do vidro. Pensando Verde, 2013. Disponível em: <<https://www.pensamentoverde.com.br/reciclagem/processo-de-reciclagem-do-vidro/>>. Acesso em: 20 de fevereiro de 2020.

PEREIRA, A. H. **Avaliação da utilização de vidro comum como pozolana e avaliação da utilização de sucata de vidro temperado como agregado graúdo em concretos**. 46f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização) – UTFPR. Campos Mourão, 2016.

Quanto tempo o vidro leva para se decompor?. Anavidro, 2013. Disponível em: <<https://www.anavidro.com.br/quanto-tempo-o-vidro-leva-para-se-decompor/>> Acesso em: 23 de fevereiro de 2020.

RIBEIRO, UG; SANTOS, DF. **Propriedades potenciais físico-mecânicas de resíduos de polimento de vidro para produção de argamassa como substituição parcial do agregado convencional**. Rev. IBRACON Estrut. Mater. São Paulo, v. 13, n. 1, p. 142-159, fevereiro de 2020. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1983-41952020000100142&lng=en&nrm=iso>. acesso em 05 de maio de 2020. Epub 27 de março de 2020. <https://doi.org/10.1590/s198341952020000100010>.

SHAO, Y.; LEFORT, T.; MORAS, S.; RODRIGUEZ, D. **Studies on concrete containing ground waste glass**. Cement and Concrete Research. Elmsford, v. 30, n. 1, p. 91-100, 2000.

TRENTIN, Priscila Ongaratto et al. **Substituição parcial de agregado miúdo por resíduo de vidro moído na produção de argamassa**. Matéria (Rio J.), Rio de Janeiro, v. 25, n. 1, e-12576, 2020. Available from <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1517-70762020000100331&lng=en&nrm=iso>. access on 05 May 2020. Epub Apr 06, 2020. <https://doi.org/10.1590/s1517-707620200001.0903>.

SOBRE O ORGANIZADOR

CARLOS AUGUSTO ZILLI - Possui graduação em Engenharia Civil e Matemática pela Universidade do Sul de Santa Catarina - UNISUL (2015 e 2005). É doutorando em Engenharia e Gestão do Conhecimento pela Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC (2021) e mestre em Engenharia de Transportes e Gestão Territorial pela Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC (2020). Possui especialização em Avaliação de Imóveis e Perícias de Engenharia pelo Instituto de Pós-Graduação - FAPAN (2018), em Gestão de Obras e Projetos pela Universidade do Sul de Santa Catarina - UNISUL (2017), e em Engenharia de Segurança do Trabalho pelo Centro Universitário de Capivari - FUCAP (2016). É docente no Instituto Federal de Educação de Santa Catarina (IFSC) - Campus São Carlos. Possui experiência na área de Matemática, com ênfase em Educação Matemática e em Engenharia de Avaliações e Perícias, com ênfase em Inferência Estatística. Tem interesse em temas relacionados à Ciência de Dados, Engenharia de Avaliações e Planta de Valores Genéricos.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Adições minerais 123, 124, 169, 171, 173, 174, 175, 184, 185, 187
Aditivo natural 189, 191
Agregado miúdo 109, 117, 118, 119, 137, 138, 142, 149, 170, 223, 224, 225, 226, 227, 233, 234, 235, 236, 237, 239, 240, 251
Agregado reativo 169, 173, 185
Algoritmo genético 1, 5
Análise estrutural avançada 43, 44, 45, 48, 49, 60
Argamassa ecológica 237

C

Cinzas de olaria 138
Cisalhamento 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 40, 41, 42, 92, 150, 201, 202, 203, 206, 207, 208, 209, 210, 211, 212, 213, 214, 215, 216, 217, 218, 221, 233
Concreto 1, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 22, 23, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 36, 41, 42, 62, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 74, 75, 76, 77, 78, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 107, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 115, 116, 118, 119, 120, 121, 122, 123, 124, 125, 126, 127, 130, 131, 132, 133, 136, 138, 139, 140, 143, 146, 147, 148, 149, 153, 162, 163, 164, 167, 169, 170, 171, 172, 173, 174, 175, 176, 180, 184, 185, 186, 187, 190, 194, 199, 200, 201, 202, 203, 206, 208, 209, 210, 211, 212, 213, 215, 216, 217, 218, 220, 221, 223, 224, 225, 226, 227, 228, 229, 230, 231, 232, 233, 234, 235, 236, 251, 253, 254, 255, 256, 257, 260, 262, 266, 267, 268, 269, 270, 271
Concreto armado 1, 3, 6, 7, 8, 14, 15, 16, 17, 18, 26, 27, 28, 29, 31, 34, 41, 42, 64, 65, 66, 67, 68, 70, 71, 74, 75, 77, 78, 88, 170, 201, 202, 203, 206, 209, 210, 212, 213, 216, 217, 218, 220, 221, 253, 254, 268, 270, 271
Concreto leve 162, 163
Concreto permeável 162
Confiabilidade estrutural 43, 44, 45, 51, 52, 53, 56, 57, 59, 61, 62, 63, 270
Construção civil 1, 3, 67, 107, 109, 125, 126, 127, 136, 137, 138, 139, 140, 149, 151, 152, 153, 155, 156, 157, 158, 160, 161, 162, 163, 167, 170, 189, 191, 202, 205, 223, 224, 225, 226, 234, 235, 237, 239, 244, 251, 252, 254

D

Dimensionamento 1, 3, 4, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 15, 16, 18, 19, 20, 22, 23, 26, 27, 28, 29, 33, 34, 36, 41, 64, 65, 69, 74, 77, 78, 210, 211

E

Edificações sustentáveis 152

Engenharia de materiais 137, 152, 189, 235

Engenharia estrutural 2, 79, 80, 82, 83, 91, 92

F

Filler 138, 139, 142

I

Incêndio 16, 17, 18, 19, 20, 22, 23, 25, 26, 27, 130, 133, 136

Inteligência artificial 253, 268

L

Lajes 1, 2, 3, 6, 7, 8, 9, 11, 13, 14, 18, 25, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 39, 40, 41, 42, 65, 67, 84, 87, 93, 206, 244, 245

Lajes lisas 28, 29, 30, 31, 40, 41, 42

Lajes nervuradas 1, 3, 6, 7, 8, 9, 11, 13, 14, 65

Ligações semirrígidas 43, 48, 49, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 60, 61, 62

M

Materiais de construção civil 137, 237

Material compósito 201, 203, 204, 215

Matéria-prima 152, 153, 154, 155, 162, 190, 224, 225, 238, 239

Método de Hertz 16, 18, 19

O

Opuntia ficus-indica 189, 190, 191

Otimização 1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 11, 13, 14, 15, 46, 64, 65, 66, 67, 68, 70, 71, 75, 76, 77, 189

Otimização estrutural 1, 5

Otimização por enxame de partículas 64, 65, 66, 70, 77

P

Patologia 93, 109, 169, 170, 268

Piso misto de pequena altura 79, 80, 83, 89, 90, 92

Pó de balão 237, 238, 239, 240, 241, 242, 243, 244, 245, 246, 247, 248, 249, 250, 251, 252

Polímero 125, 126, 127, 129, 130, 131, 132, 136, 194, 195, 209, 217, 221

Polistireno expansível 162

Pórticos planos 43, 48, 49, 61

Pós-tensionado 93

Propriedades mecânicas e físicas 125, 127, 136

Punção 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 36, 37, 39, 40, 41, 42

R

RAA 108, 109, 110, 119, 123, 169, 171, 172, 173, 175, 176, 184, 185, 187

Reciclagem 137, 155, 159, 160, 163, 223, 224, 225, 234, 235, 236, 251

Reforço 86, 93, 123, 131, 167, 187, 201, 202, 203, 205, 206, 207, 208, 209, 210, 211, 212, 213, 214, 215, 216, 217, 218, 220, 221

Resíduos da siderurgia 237

Resíduos sólidos 126, 137, 162, 163, 224, 238

Resina poliuretana vegetal 125, 127, 135

S

Simulação numérica 79, 80, 81, 83, 85, 87, 91, 92

Spray drying 189, 190, 191

Sustentabilidade 125, 126, 127, 137, 139, 150, 151, 152, 153, 154, 155, 156, 157, 158, 159, 160, 162, 224, 235, 252

V

Vidro 161, 201, 209, 213, 223, 224, 225, 226, 227, 229, 231, 232, 233, 234, 235, 236

Vigas de concreto armado 15, 16, 26, 64, 65, 66, 74, 78, 201, 206, 216, 218, 221

Vigas T 64, 210


COLEÇÃO DESAFIOS DAS ENGENHARIAS:

ENGENHARIA CIVIL



 www.atenaeditora.com.br

 contato@atenaeditora.com.br

 @atenaeditora

 www.facebook.com/atenaeditora.com.br




 **Atena**
Editora

Ano 2021

COLEÇÃO
DESAFIOS
DAS
ENGENHARIAS:

ENGENHARIA CIVIL



-  www.atenaeditora.com.br
-  contato@atenaeditora.com.br
-  [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
-  www.facebook.com/atenaeditora.com.br