

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 Lúvia do Carmo Silva – Universidade Federal de Goiás
Prof. Dr. Lucio Marques Vieira Souza – Secretaria de Estado da Educação, do Esporte e da Cultura de Sergipe
Prof. Dr. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual do Paraná
Profª Ma. Luana Ferreira dos Santos – Universidade Estadual de Santa Cruz
Profª Ma. Luana Vieira Toledo – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados
Prof. Me. Luiz Renato da Silva Rocha – Faculdade de Música do Espírito Santo
Profª Ma. Luma Sarai de Oliveira – Universidade Estadual de Campinas
Prof. Dr. Michel da Costa – Universidade Metropolitana de Santos

Prof. Me. Marcelo da Fonseca Ferreira da Silva – Governo do Estado do Espírito Santo
Prof. Dr. Marcelo Máximo Purificação – Fundação Integrada Municipal de Ensino Superior
Prof. Me. Marcos Aurelio Alves e Silva – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo
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

CAPÍTULO 1

DIMENSIONAMENTO OTIMIZADO DE LAJES NERVURADAS, UTILIZANDO ALGORITMO GENÉTICO

Data de aceite: 01/07/2021

Data de submissão: 31/05/2021

Jessyca Priscylla de Almeida Nunes

Professora Efetiva, Autarquia do Ensino Superior de Garanhuns-AESGA Garanhuns/PE, Brasil

Giuliana Furtado Franca Bono

Professora Adjunto, Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental - PPGECAM, UFPE, Centro Acadêmico do Agreste - CAA Caruaru/PE, Brazil

Gustavo Bono

Professor Adjunto, Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental - PPGECAM, UFPE, Centro Acadêmico do Agreste - CAA Caruaru/PE, Brazil

RESUMO: Diante do desenvolvimento da construção civil e do aumento da concorrência entre as empresas deste setor, faz-se necessário oferecer alternativas estruturais e construtivas que permitam maior eficiência e redução de custos. De modo geral, o dimensionamento convencional das estruturas de concreto armado é um processo iterativo e baseia-se em regras práticas, fundamentado na experiência e intuição do projetista, tornando esse processo exaustivo e apenas eventualmente pode levar à melhor solução estrutural. Nesse contexto, este trabalho teve como objetivo principal desenvolver e

implementar um programa computacional para o dimensionamento otimizado de lajes nervuradas, que atenda à máxima funcionalidade e segurança com o mínimo custo, seguindo as prescrições normativas da ABNT NBR 6118 (2014). O algoritmo de otimização foi implementado, utilizando o toolbox de Algoritmos Genéticos do MATLAB. Para validar o programa de otimização foram comparados os resultados do dimensionamento feito no programa com os resultados de lajes nervuradas existentes na literatura e com um exemplo dimensionado no programa CYPECAD. Com base em todos os resultados obtidos, pode-se concluir que a utilização de ferramentas de otimização permite a obtenção de soluções mais econômicas. O método dos Algoritmos Genéticos apresentou um bom desempenho na otimização e pode-se destacar como pontos positivos: a facilidade de implementação e a flexibilidade em tratar problemas com diversas restrições, funcionando como uma ferramenta que auxilia o engenheiro em sua tomada de decisões.

PALAVRAS-CHAVE: Lajes Nervuradas. Concreto Armado. Otimização Estrutural. Algoritmo Genético.

OPTIMIZED SIZING OF RIBBED SLAB, USING GENETIC ALGORITHM

ABSTRACT: On the development of civil construction and increased competition between companies in this sector, it is necessary to offer structural and constructive alternatives that allows greater efficiency and cost reduction. In general, the conventional structure sizing of reinforced concrete is an iterative process and it's

based on practical rules, based on experience and designer intuition, making this process exhaustive and only eventually lead to the best structural solution. In this context, this work had as main objective to develop and implement a computational program for the optimized sizing of ribbed slab, that meets the maximum functionality and security with minimum cost, in accordance with normative prescriptions of ABNT NBR 6118 (2014). The optimization algorithm was implemented, using genetic algorithms toolbox of MATLAB. In order to validate the optimization program were compared to the results of the sizing done in the program with the results of ribbed slab existing in literature and with the example sizing in the program CYPECAD. Based on all the results obtained, it can conclude that the use of optimization tools allows obtaining more economic solutions. The method of Genetics Algorithms presented a good performance in the optimization and it can highlight as positives points: ease of implementation and flexibility in dealing with problems with various contrasts serving as a tool that assists the engineer in making a decision.

KEYWORDS: Ribbed slab. Reinforced concrete. Structural optimized. Genetic algorithm.

1 | INTRODUÇÃO

Frente ao crescente desenvolvimento tecnológico e com um mercado cada vez mais exigente e competitivo, torna-se necessário buscar métodos construtivos mais econômicos e eficientes. A evolução de métodos construtivos, com a utilização de sistemas industrializados e equipamentos modernos, a qualificação de pessoal, a necessidade de obras econômicas e de mínimo impacto ambiental são alguns fatores que demonstram a necessidade de emprego de técnicas de otimização.

Com a utilização de técnicas de otimização, torna-se possível projetar estruturas ou elementos estruturais mais racionalizados, através da redução do material empregado para produção e conseqüentemente do seu custo final. Estas ações possibilitam o aumento da produção, fator importante devido à alta competitividade do mercado.

Projetos com soluções otimizadas têm sempre atraído pesquisadores da área de Engenharia Estrutural. Uma das técnicas de otimização, que vem ganhando grande destaque, é a técnica dos Algoritmos Genéticos (AG), que foi apresentada na década de 70 pelo pesquisador John Holland, da Universidade de Michigan. Holland desenvolveu uma técnica altamente eficiente e robusta, inspirada nos processos de seleção natural e evolução das espécies. Sua aplicação é extremamente vasta, sendo utilizada em problema de diversas áreas como economia, medicina, biologia, engenharia, entre outras.

Entre os primeiros trabalhos que utilizaram métodos de otimização na engenharia civil destacam-se: o trabalho de Heyman (1951), que utilizou programação linear para minimizar o consumo de material no projeto de vigas e pórticos no regime plástico; o trabalho de Schimit (1960) empregou a programação não linear para minimizar o peso total de projetos estruturais. Desde então, houve um considerável avanço, observado pela quantidade de livros e artigos publicados relacionados ao tema.

Nos edifícios de múltiplos pavimentos, as lajes respondem por elevada parcela do

consumo de concreto. Por esta razão, torna-se oportuno o estudo aprofundado dos critérios de escolha dos tipos de lajes a serem empregadas, tendo em vista a obtenção de soluções técnicas e economicamente otimizadas.

Atualmente, existem diversos sistemas estruturais que empregam lajes de concreto armado, tais como lajes maciças, nervuradas, protendidas, entre outras. Cada sistema possui suas especificidades de aplicação com vantagens e desvantagens.

Inicialmente, as lajes mais empregadas na construção civil foram as lajes maciças. Posteriormente, surgiram as lajes nervuradas como uma evolução natural da maciça, resultantes da eliminação de parte do concreto tracionado que está localizado abaixo da linha neutra. No Brasil, as lajes nervuradas são muito empregadas na construção civil, uma vez que sua fabricação é simples e não envolve equipamentos caros ou de difícil manutenção. Entre as principais vantagens na sua utilização, destacam-se a facilidade de manuseio e economia de materiais.

2 | LAJES NERVURADAS

As lajes são consideradas como elementos estruturais planos bidimensionais, onde duas das dimensões são da mesma ordem de grandeza e muito maiores que a terceira dimensão (espessura). Segundo o item 14.4.2.1 da ABNT NBR 6118 (2014), as lajes são elementos de superfície plana (placas), sujeitos principalmente a ações normais ao seu plano.

A ABNT NBR 6118 (2014) (item 14.7.7) define laje nervurada como “lajes moldadas no local ou com nervuras pré-moldadas, cuja zona de tração para momentos positivos está localizada nas nervuras entre as quais pode ser colocado material inerte”.

As lajes maciças geralmente apresentam uma pequena região de concreto comprimido e, portanto, uma grande quantidade de concreto, localizado abaixo da linha neutra, está tracionado. Desta maneira, o concreto dessa região não colabora para a resistência à flexão. Sendo assim, as lajes nervuradas constituíram-se uma evolução natural da laje maciça, resultantes da eliminação de parte do concreto tracionado que está localizado abaixo da linha neutra. Este tipo de laje proporciona economia de materiais, mão-de-obra e fôrmas, aumentando assim a produtividade e viabilidade do sistema construtivo, além de reduzir cargas.

2.1 Dimensionamento à flexão de Seções Transversais T: Armadura Simples

Uma vez atendidas as prescrições da ABNT NBR 6118 (2014) para lajes nervuradas, o cálculo das armaduras longitudinais deve obedecer às prescrições de cálculo, para vigas com seção transversal em forma geométrica de T. Levando em consideração as hipóteses básicas do item 17.2.2 da ABNT NBR 6118 (2014).

Para o dimensionamento das armaduras longitudinais de seções transversais T,

deve-se verificar a necessidade de consideração de armadura simples ou dupla.

O dimensionamento com armadura simples é realizado quando a seção transversal da laje necessita apenas de armaduras resistentes tracionadas, ou seja, as tensões de compressão são resistidas unicamente pelo concreto. Já o dimensionamento com armadura dupla, além da armadura resistente tracionada, contém também armadura longitudinal resistente na região comprimida, colocada para auxiliar o concreto na resistência às tensões de compressão.

Esta verificação é feita comparando o momento fletor solicitante de cálculo (M_d) com o momento resistente limite ($M_{d,lim}$) para utilização de armadura simples. Se o momento fletor limite ($M_{d,lim}$) for maior que o momento fletor solicitante de cálculo (M_d), a seção transversal consegue resistir ao momento solicitante de cálculo, considerando armadura apenas na região tracionada (armadura simples). Caso o momento fletor limite ($M_{d,lim}$) seja menor que o momento fletor solicitante de cálculo (M_d), serão consideradas armaduras longitudinais tracionadas e comprimidas (armadura dupla).

Obtido o momento fletor limite por nervura, o cálculo da armadura necessária deve analisar duas hipóteses. Na primeira hipótese a linha neutra está localizada na mesa, a seção comporta-se como retangular com seção resistente igual a $B_r \cdot h$. Na segunda hipótese, a linha neutra está contida na alma da seção T, caso de dimensionamento de seções T, o dimensionamento segue a rotina de dimensionamento de vigas de seção T.

3 | OTIMIZAÇÃO

Segundo Haftka e Gürdal (1991) a otimização está interessada em encontrar o melhor resultado de uma determinada operação, ao mesmo tempo em que satisfaz determinadas restrições. Sua estrutura é composta por uma função objetivo que contém uma ou mais variáveis de projeto, e pode, ou não, estar sujeito a restrições de igualdade e/ou desigualdade limitando o espaço de busca (região viável). Matematicamente, um problema de otimização pode ser definido como:

Seja $f: \mathbb{R}, g: \mathbb{R}^m \rightarrow \mathbb{R}^q, h: \mathbb{R}^m \rightarrow \mathbb{R}^p$

Minimizar / Maximizar: $f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$

Sujeito a:

$$h_k(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) = 0 \quad k \in \{1, \dots, p\}$$

$$g_j(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) \leq 0 \quad j \in \{1, \dots, q\}$$

Sendo, $x = [x_1, x_2, x_3, \dots, x_n]$ o vetor de variáveis de projeto, $f(x)$ representa a função objetivo, podendo ser linear ou não linear, as funções $h_k(x)$ e $g_j(x)$ representam as funções de restrição de igualdade e de desigualdade, respectivamente, que definem o espaço de soluções viáveis do problema.

De acordo com Bendsøe e Sigmund (2003), há várias maneiras de classificar a

otimização estrutural, porém a mais geral se divide em três tipos: paramétrica, de forma e topológica.

A otimização paramétrica corresponde à otimização de parâmetros do elemento analisado. Ela visa determinar as características geométricas ótimas da estrutura: área da seção transversal de barras, momento de inércia de vigas, espessura de placas ou cascas, etc.

A otimização de forma tem como objetivo determinar a forma ótima do contorno externo e/ou interno (furo) de uma estrutura. Os contornos da estrutura são parametrizados (por exemplo curvas splines) e os parâmetros dessas curvas constituem as variáveis de projeto. Trata-se de uma abordagem mais genérica que a otimização paramétrica.

Já a otimização topológica determina a distribuição ótima de material no domínio de projeto. O objetivo é retirar o material de maneira iterativa e sistemática. A distribuição ótima está relacionada com um objetivo, que pode ser, por exemplo, a minimização do volume final da estrutura, a maximização da rigidez, visando economia de material.

4 | ALGORITMOS GENÉTICOS

Os métodos de AG fazem analogia à teoria da evolução de Charles Darwin, na qual os indivíduos menos aptos à sobrevivência perecem e os mais aptos sobrevivem e geram descendentes. Os indivíduos carregam informações que são possíveis soluções do problema. Na Figura 1, mostra-se o fluxograma de funcionamento do algoritmo genético.

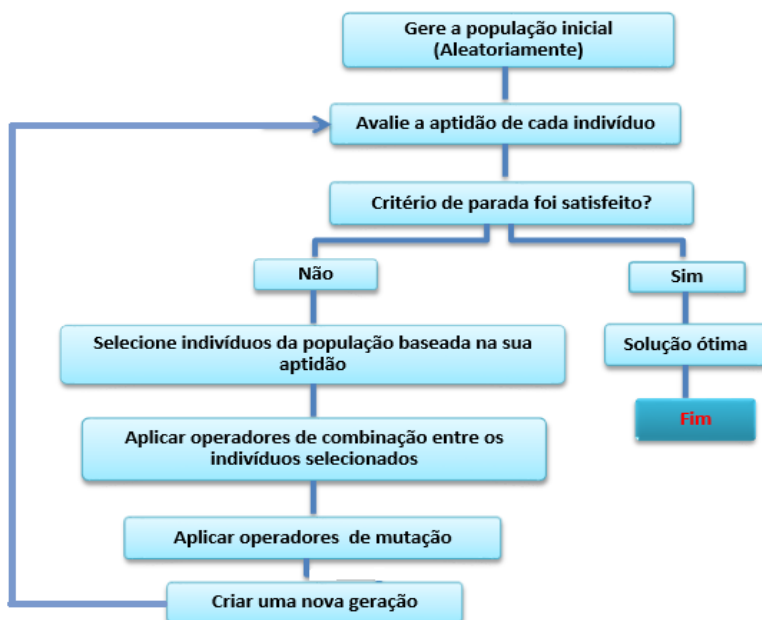


Figura 1– Fluxograma de um algoritmo genético (NUNES (2018)).

Resumidamente, o funcionamento do método dos AG pode ser dado pelos seguintes passos: cada indivíduo representa uma possível solução de um problema. Um grupo de indivíduos forma uma população. A cada indivíduo é atribuído um valor de aptidão que corresponde ao seu grau de proximidade com a solução ótima. Os Indivíduos que possuem um maior valor de aptidão, ou seja, estão mais próximos da solução ótima (mais adaptados) possuem mais chances de se reproduzir, quando comparados a indivíduos com valor de aptidão menores. Para selecionar os indivíduos que irão se reproduzir, o algoritmo utiliza-se de métodos que privilegiam os indivíduos mais bem adaptados.

Após a seleção, é feita então uma recombinação genética, em que indivíduos pais irão se combinar para dar origem a uma nova geração, teoricamente melhor adaptada que a anterior. O algoritmo segue em um processo iterativo até que algum critério de parada seja satisfeito.

5 | METODOLOGIA

Neste trabalho foi implementado no MATLAB um programa de otimização de lajes nervuradas de concreto armado moldadas no local, utilizando o método dos Algoritmos Genéticos (AG). Visou-se desenvolver um programa que auxiliasse o projeto de lajes nervuradas, atendendo às restrições normativas impostas pela ABNT NBR 6118 (2014) descritas no capítulo 2, a fim de minimizar o custo com materiais (concreto e aço). No ambiente de programação do MATLAB, já existem rotinas implementadas para resolver problemas de otimização usando AG, na caixa de ferramenta chamada de toolboxes.

As primeiras implementações estão associadas a entrada dos dados necessários para a execução do programa. No programa são considerados o peso próprio da laje, sobrecarga (a carga permanente adicional) e carga variável, cujos valores devem ser inseridos no arquivo de entrada (.txt). O programa utiliza valores de resistências características à compressão do concreto (f_{ck}) menores ou iguais a 50 MPa. O tipo do aço utilizado é o CA-50. Em todas as análises são consideradas lajes simplesmente apoiadas.

Na segunda parte das implementações são definidas as variáveis de projeto utilizadas na otimização (b_w , h_f , h , A_{sx} , A_{sy} , e_x , e_y), como também são realizadas as chamadas da função objetivo e da função restrição.

$$f = \text{Custo}_{\text{concreto}} + \text{Custo}_{\text{armadura}} \quad (\text{Equação 1})$$

$$\text{Custo}_{\text{concreto}} = (b_{fx} \cdot h_f + b_w \cdot h_w) \cdot l_{efx} \cdot C_c + (b_{fy} \cdot h_f + b_w \cdot h_w) \cdot l_{efy} \cdot C_c \quad (\text{Equação 2})$$

$$\text{Custo}_{\text{armadura}} = (l_{efx} \cdot A_{sx} \cdot \gamma_s \cdot C_{s50}) + (l_{efy} \cdot A_{sy} \cdot \gamma_s \cdot C_{s50}) \quad (\text{Equação 3})$$

onde:

f: Função objetivo (custo linear);

- C_c : preço do concreto por metro cúbico (R\$/cm³);
- C_{s50} : preço do aço CA 50 por quilograma (R\$/Kg);
- l_{ef} : valor do comprimento efetivo da laje nervurada;
- Y_s : peso específico do aço (kg/cm³);
- A_s : área total da seção transversal das barras de aço;
- b_w : espessura da nervura da seção transversal da laje nervurada;
- b_f : largura da mesa da seção transversal da laje nervurada;
- h_f : Altura da mesa da seção transversal da laje nervurada;
- h_w : Altura da nervura da seção transversal da laje nervurada;

Com a função objetivo (@FunObjetivo) implementada neste algoritmo, minimiza-se o custo linear de duas nervuras. Os valores dos custos de aço e concreto foram definidos através da tabela SINAPI para insumos e composições não desonerado em Pernambuco no mês de maio de 2017, já incluindo custo da mão de obra. No processo de minimização da função custo, deve-se respeitar o conjunto de restrições impostas ao problema de acordo com a NBR 6118 (2014) para o dimensionamento das lajes nervuradas de concreto armado.

NBR 6118 (2014)		Catálogos da Atex
$C(1) = 8 - b_w$		$C(2) = b_w - 12$
$C(3) = 5 - h_f$		$C(4) = h_f - 10$
$C(7) = V_d - V_{Rd1}$	Verificação do esforço cortante	$C(5) = 20 - h$
$C(8) = a_i - \frac{1}{350}$	Verificação do Estado Limite de Deformações Excessivas	$C(6) = h - 40$
$C(9) = a_i - \frac{1}{250}$		$C(11) = 30 - e_x$
$C(10) = a_{cn} - \frac{1}{350}$	Limita o valor máximo adotado para a contraflecha	$C(13) = 30 - e_y$
$C(12) = e_x - 65$	Valor máximo do espaçamento entre eixos	
$C(14) = e_y - 65$		
$C(15) = A_{s,minX} - A_{sx}$	Valor mínimo para as áreas de aço A_{sx}	

Tabela 1 - Restrições utilizadas na otimização.

5.1 Validação

Para validação do programa implementado, foi realizado um estudo comparativo entre os resultados do dimensionamento obtidos pelo programa de otimização e os resultados obtidos na literatura para o dimensionamento convencional de lajes nervuradas de concreto armado. Para isso, foram utilizados dois exemplos numéricos, a fim de avaliar a eficiência e a calibração do programa. Para validar as implementações realizadas para o dimensionamento de lajes nervuradas unidirecionais, foi utilizado o exemplo numérico 1.1 de Carvalho e Pinheiro (2009). O exemplo utilizado para validação das implementações para dimensionamento de lajes nervuradas bidirecionais foi obtido de Bocchi e Giongo (2007). A terceira análise feita para validação do programa foi um estudo comparativo entre o dimensionamento de lajes nervuradas realizado com o programa de otimização e o dimensionamento realizado no programa comercial de cálculo estrutural CYPECAD.

6 | RESULTADOS

Para validar o programa desenvolvido nesta pesquisa, consideraram-se exemplos existentes na literatura. Torna-se necessário validar o programa implementado, a fim de garantir a sua funcionalidade e a confiabilidade dos resultados gerados.

6.1 Exemplo de Laje Nervura Unidirecional

Este exemplo (Figuras 2) foi extraído do livro de Carvalho e Pinheiro (2009). Como a relação entre os vãos é maior que dois, esta laje nervurada foi dimensionada como armada em uma direção.

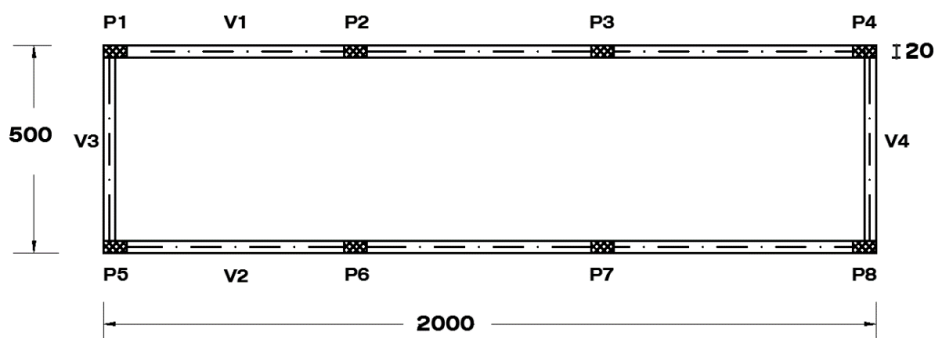


Figura 2 – Exemplo de laje nervurada unidirecional, cotas em centímetros (Autor (2017)).

Descrição	Valor/Unidade
Resistências características à compressão do concreto (f_{ck})	20 MPa
Resistências características ao escoamento do aço (f_{yk})	50 kN/cm ²
Cobrimento	2 cm
Carga variável	0,0003 kN/cm ²
Sobrecarga	0,0001 kN/cm ²
Cargas devido ao peso do enchimento	0,000089 kN/cm ²
Preço do aço CA 50	9,38 R\$/Kg

Tabela 2- Cargas, propriedades mecânicas e geométricas consideradas no exemplo de lajes nervuradas unidirecionais.

Para validar o programa implementado, foram consideradas as mesmas propriedades geométricas da seção transversal da laje nervurada e as mesmas propriedades mecânicas dos materiais empregados por Carvalho (2009). Na Tabela 3, apresentam-se os resultados obtidos pelo programa implementado nesta pesquisa e por Carvalho (2009).

Parâmetro	Carvalho (2009)	Validação	Otimização	Diferença
Largura da nervura (b_w) (cm)	9	9	8,04	-10,67%
Altura da mesa (h_t)(cm)	6	6	5	-16,67%
Altura total da laje (h) (cm)	25	25	34,81	39,24%
Cobrimento (c) (cm)	45	45	30	-33,33%
Espaçamento entre eixos (e_x) (cm)	45	45	59	31,11%
Área de aço (A_{sx}) (cm ²)	1,76	1,94	0,851	-51,65%
Custo concreto (R\$)	62,06	62,06	55,42	-10,7%
Custo aço (R\$)	61,56	67,85	30,08	-51,13%
Custo total (R\$)	123,62	129,91	85,50	-30,84%

Tabela 3 – Comparação entre os resultados obtidos por Carvalho (2009) e pelo programa implementado neste trabalho.

O resultado da etapa de validação apresentou o mesmo valor obtido por Carvalho (2009) para o custo do concreto, uma vez que foram consideradas as mesmas propriedades geométricas e mecânicas para o exemplo analisado. Porém, o custo com armadura apresentou uma pequena diferença nos valores comparados com Carvalho (2009), ocasionando um aumento de 10,22% no custo do aço. Isso se justifica pela utilização de procedimentos diferentes dos adotados por Carvalho (2009) para o cálculo dos esforços e dimensionamento das armaduras longitudinais. Devido às diferenças no dimensionamento

se obteve um custo total com um aumento de 5,09%.

A partir dos valores apresentados na Tabela 3, observa-se que o programa implementado nesta pesquisa obteve uma seção T com maior altura total (h), porém com menor largura da nervura (b_w) e menor altura da mesa (h_f), reduzindo a área dessa seção transversal de concreto. Com estas dimensões otimizadas, obteve-se uma redução de aproximadamente 10,7% no custo do volume de concreto, comparado com as dimensões de pré-dimensionamento propostas por Carvalho (2009). Observa-se que a variação destes parâmetros geométricos da seção transversal afeta de forma moderada o custo total. Uma vez que com o aumento da altura da seção transversal, a área de armadura pode ser reduzida devido ao aumento da contribuição de resistência da seção transversal de concreto. Com isso, obtém-se uma redução no custo final de 30,84%.

6.2 Exemplo de Laje Nervura Bidirecional

Este exemplo (Figuras 3) foi extraído de Bocchi e Giongo (2007). Como a relação entre os vãos é menor que dois, esta laje nervurada foi dimensionada como armada em duas direções.

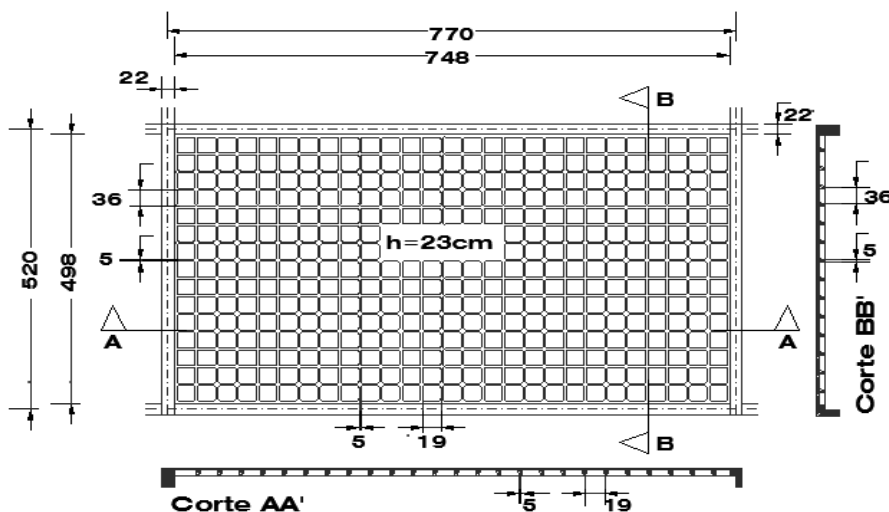


Figura 3 - Exemplo de laje nervurada bidirecional: planta de fôrmas (Autor (2017)).

Descrição	Valor/Unidade
Resistências características à compressão do concreto (f_{ck})	25 MPa
Resistências características ao escoamento do aço (f_{yk})	50 kN/cm ²
Cobrimento	2 cm

Carga variável	0,00015 kN/cm ²
Sobrecarga	0,0001 kN/cm ²
Cargas devido ao peso do enchimento	0,000172 kN/cm ²
Preço do aço CA 50	9,38 R\$/Kg

Tabela 4 - Cargas, propriedades mecânicas e geométricas consideradas no exemplo de lajes nervuradas bidirecionais.

Apresenta-se na Tabela 5, os resultados determinados por Giongo (2007) e aqueles obtidos pelo programa implementado nesta pesquisa.

Parâmetro	Giongo (2007)	Validação	Otimização	Diferença
Largura da nervura (b_w) (cm)	5	5	5	-
Altura da mesa (h_f) (cm)	4	4	4	-
Altura total da laje (h) (cm)	23	23	29,10	26,52%
Espaçamento entre eixos (e_x) (cm)	24	24	20,01	-16,62%
Espaçamento entre eixos (e_y) (cm)	41	41	20	-51,22%
Momento fletor solicitante em X (kN.cm)	322	325,14	472,26	46,66%
Momento fletor solicitante em Y (kN.cm)	278	282,60	238,48	-14,21%
Área de aço (A_{sx}) (cm²)	0,50	0,67	0,43	-14%
Área de aço (A_{sy}) (cm²)	0,50	0,57	0,31	-38%
Custo concreto (R\$)	95,71	95,71	85,34	-10,83%
Custo aço (R\$)	46,85	57,67	33,76	-27,94%
Custo por metro de laje (R\$)	142,56	153,38	119,09	-16,46%

Tabela 5 – Comparação entre os resultados obtidos por Giongo (2007) e pelo programa implementado neste trabalho.

O resultado da etapa de validação apresentou o mesmo valor obtido por Giongo (2007) para o custo do concreto, uma vez que foram consideradas as mesmas propriedades geométricas e mecânicas para o exemplo analisado. Porém, o custo com armadura () apresentou uma pequena diferença nos valores devido à utilização de procedimentos diferentes dos adotados por Giongo (2007) para o cálculo dos esforços e dimensionamento

das armaduras longitudinais. Isto provocou um aumento no custo total de 7,59%. Para os resultados apresentados pelo programa otimizado, observou-se que as únicas variáveis de projeto que tiveram diferenças nos valores comparados com Giongo (2007) foram a altura total da seção que aumentou 26,52% e os espaçamentos entre eixos de nervuras em X e Y que reduziram seus valores em 16,62% e 51,22% respectivamente. Essas reduções acarretaram em uma diminuição de aproximadamente 10,83% no custo do volume de concreto. Sendo assim, pode-se concluir que os espaçamentos entre eixos de nervuras têm uma importância significativa no custo do concreto. Como também, pode-se afirmar com isso que o aumento da altura total (h) da seção transversal da laje não interfere significativamente no aumento do custo do concreto.

6.3 Exemplo de Laje Nervurada Dimensionada no CYPECAD

Nesta análise, considerou-se um painel de laje simplesmente apoiado nas vigas de contorno. Adotou-se classe de agressividade ambiental II. As demais características de projeto estão apresentadas na Tabela 6.

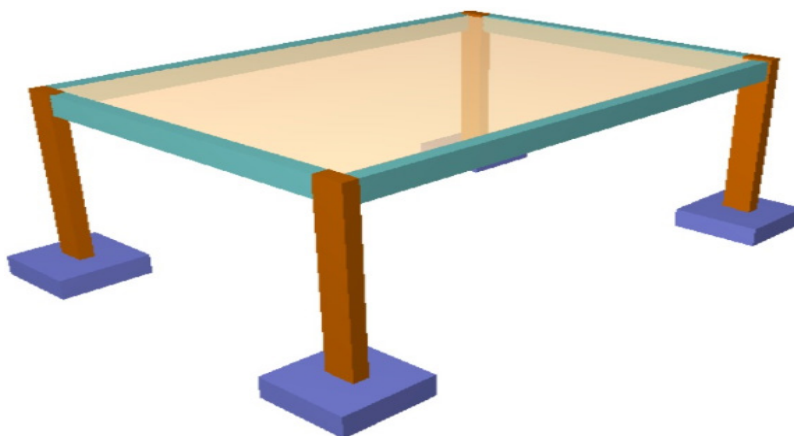


Figura 4 – Laje nervurada reproduzida no CYPECAD (Autor (2018)).

Descrição	Valor/Unidade
Comprimento do maior vão	720 cm
Comprimento do menor vão	500 cm
Resistências características à compressão do concreto (f_{ck})	30 MPa
Resistências características ao escoamento do aço (f_{yk})	50 kN/cm ²
Cobrimento	2 cm
Carga variável	0,0002 kN/cm ²

Sobrecarga	0,00015 kN/cm ²
Preço do aço	9,38 R\$/Kg

Tabela 6- Cargas, propriedades mecânicas e geométricas consideradas no exemplo de lajes nervuradas reproduzida no CYPECAD.

Apresenta-se na Tabela 7, os resultados obtidos pelo programa CYPECAD e aqueles obtidos pelo programa implementado nesta pesquisa.

Parâmetro	CYPECAD (2017)	Programa de Otimização	Diferença
Largura da nervura (b_w) (cm)	10	8	-20%
Altura da mesa (h_f)(cm)	8	5	-30%
Altura total da laje (h) (cm)	22	34,37	56,23%
Espaçamento entre eixos (e_x) (cm)	45	30	-33,33%
Espaçamento entre eixos (e_y) (cm)	50	30	- 40%
Área de aço (A_{sx}) (cm²)	2,50	1,14	-54,4%
Área de aço (A_{sy})(cm²)	1,25	0,59	-52,8%
Custo concreto (R\$)	205,33	152,68	-25,64%
Custo aço (R\$)	150,91	70,45	-53,32%
Custo por metro de laje (R\$)	356,24	223,13	-37,36%

Tabela 7– Comparação entre os resultados do CYPECAD (2017) e do programa implementado nesta pesquisa.

Através da análise dos resultados obtidos, percebe-se que a altura da laje aumentou aproximadamente 56,23% em relação a altura considerada no programa comercial CYPECAD. Todos os demais parâmetros tiveram seus valores reduzidos para o limite mínimo permitido pelo programa. Sendo assim, obteve-se uma redução de 25,64% no custo do volume de concreto.

A área de aço na direção X obteve uma redução de 54,4% em relação ao resultado do CYPECAD. Isso pode ser explicado pelo aumento considerável da altura total (h) da peça analisada. O custo do aço apresentou uma redução de 53,32% comparado com os resultados de dimensionamento obtidos com o uso do programa CYPECAD. Observa-se que a seção ótima, gerada no programa implementado, apresentou uma economia de

37,36% comparada com a seção mais econômica dimensionada pelo CYPECAD.

7 | CONCLUSÃO

Pode concluir que a utilização de ferramentas de otimização permite a obtenção de soluções mais econômicas e eliminam o processo de tentativa e erro, normalmente utilizados nos procedimentos de cálculo tradicionais. O método dos Algoritmos Genéticos apresentou um bom desempenho na otimização e pode-se destacar como pontos positivos: a facilidade de implementação, a flexibilidade em tratar problemas com diversas restrições, a capacidade de utilizar um espaço de busca discreto, de forma que as soluções obtidas sejam factíveis e a possibilidade de obter diversas soluções próximas à ótima global, funcionando como uma ferramenta que auxilia o usuário em sua tomada de decisão.

REFERÊNCIAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6118 - **Projeto de estruturas de concreto – Procedimento**, p. 221, 2014.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 8681 - **Ações e segurança nas estruturas – Procedimento**, p.18, 2003.

ALBUQUERQUE, A. T. de, EL DEBS, M. K, MELO, A.M.C. **A cost optimization-based design of precast concrete floors using genetic algorithms**. Elsevier. Automation in Construction. v. 22, p. 348 – 356. 2011.

ARAÚJO, J. M. de. **Curso de concreto armado**. v.1, 2 ed. Rio Grande: Dunas. 2003.

ARORA, J.S. **Introduction do optimum design**. 2.ed. Londres: Elsevier Academic Press, p. 728, 2004.

ATEX - **Catálogo de dados técnicos**. [online] Disponível na Internet via: http://www.atex.com.br/upload/PDFCalculista/folder-dados-tecnicos- site_636481789564006068.pdf. Arquivo capturado em 22 de dezembro de 2017.

BASTOS, E. A. **Otimização de Seções Retangulares de Concreto Armado Submetida a Flexo-compressão Oblíqua Utilizando Algoritmos Genéticos**. Dissertação de Mestrado. COPPE/UFRJ. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro - RJ, Brasil, 2004.

BENDSOE, M. P.; SIGMUND, O. **Topology optimization : theory, methods and applications**. Berlin ; Heidelberg ; New York ; Barcelona ; Hong Kong ; London ; Milan ; Paris ; Tokyo : Springer, 2003.

BOCCHI, J; GIONGO. **Concreto armado: Projeto e construção de lajes nervuradas – USP – EESC**, 2007.

CARVALHO, R. C.; PINHEIRO, L. M. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado**. v. 2. São Paulo, Pini, 2009.

CASTILHO, V. C. **Otimização de Componentes de Concreto Pré-moldado Protendidos Mediante Algoritmos Genéticos**. Tese de Doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, São Carlos - SP, p. 181, 2003.

FERREIRA, F. M. G. **Otimização de sistema de ancoragem equivalente em profundidade truncada**. 2016. 125p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Centro de Tecnologias e Geociências - Universidade Federal de Pernambuco – Recife. 2016.

HAFTKA, R.T., E Z. GURDAL. **Elements of Structural Optimization (Solid Mechanics and its applications)**. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, v.11, p. 504, 1991.

HEYMAN, J. **Plastic Design of Beam and Frames for Minimum Material Consumption**. Q. Appl. Math, v. 8, p. 373-381, 1951.

HOLLAND, J.H. **Adaptation in Natural and Artificial Systems**. University of Michigan Press, 1975.

KICINGER, R.; ARCISZEWSKI, T.; DE JONG, K. **Evolutionary computation and structural design: A survey of the state-of-the-art**. Computers & Structures, v. 83, p. 1943-1978, 2005.

SCHIMIT, L. A. **Structural design by systematic synthesis**. In: Proceedings of the 2nd ASCE Conference on Electronic Computation, New York, p. 105-132., 1960.

SERPIK, I.N.; MIRONENKO, I.V.; AVERCHENKOV, V.I. **Algorithm for Evolutionary Optimization of Reinforced Concrete Frames Subject to Nonlinear Material Deformation**. International Conference on Industrial Engineering, ICIE, 2016. Procedia Engineering, Vol. 150, p.1311 – 1316. 2016.

SILVA, A. B. C. e FALCÓN, G.A.S. GARCIA, S.L.G. **Dimensionamento ótimo de vigas de concreto armado com seção T**. Associação Argentina de Mecânica Computacional. vol. XXIX. p.9217-9230. nov. 2010.

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