

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](http://www.arenaeditora.com.br)  
[contato@arenaeditora.com.br](mailto: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>

<b>CAPÍTULO 16</b> .....	<b>223</b>
CONCRETO ECOLÓGICO: SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DA AREIA PELO PÓ DE VIDRO	
Rafael Dantas Ribeiro	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.02321140716">https://doi.org/10.22533/at.ed.02321140716</a>	
<b>CAPÍTULO 17</b> .....	<b>237</b>
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	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.02321140717">https://doi.org/10.22533/at.ed.02321140717</a>	
<b>CAPÍTULO 18</b> .....	<b>253</b>
REDES NEURAIS ARTIFICIAIS APLICADAS NA MODELAGEM DA DIFUSÃO DE CO <sub>2</sub> NO CONCRETO	
Emerson Felipe Felix	
Renan do Vale Leonel de Assis	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.02321140718">https://doi.org/10.22533/at.ed.02321140718</a>	
<b>SOBRE O ORGANIZADOR</b> .....	<b>272</b>
<b>ÍNDICE REMISSIVO</b> .....	<b>273</b>



# CAPÍTULO 3

## CONSIDERAÇÕES SOBRE PUNÇÃO EM LAJES PLANAS DE CONCRETO ARMADO

Data de aceite: 01/07/2021

### **Ailton Queiroz Junior**

Programa de Pós-Graduação em Eng. Civil,  
Universidade Federal do Pará  
Belém, Pará  
<http://lattes.cnpq.br/2842535286716939>

### **Aurélio de Almeida Abdoral Neto**

Programa de Pós-Graduação em Eng. Civil,  
Universidade Federal do Pará  
Belém, Pará  
<http://lattes.cnpq.br/1062779824933791>

### **Eduardo Emilio Martins Pinheiro Câmara**

Programa de Pós-Graduação em Eng. Civil,  
Universidade Federal do Pará  
Belém, Pará  
<http://lattes.cnpq.br/3333575394339662>

### **Elsimar Souza Santos**

Programa de Pós-Graduação em Eng. Civil,  
Universidade Federal do Pará  
Belém, Pará  
<http://lattes.cnpq.br/4745291123553946>

### **Felipe Vieira Ladislau**

Programa de Pós-Graduação em Eng. Civil,  
Universidade Federal do Pará  
Belém, Pará  
<http://lattes.cnpq.br/5648701378681400>

### **Janiele Moreira Roland**

Programa de Pós-Graduação em Eng. Civil,  
Universidade Federal do Pará  
Belém, Pará  
<http://lattes.cnpq.br/7028373070392982>

### **Kevin de Matos Costa**

Programa de Pós-Graduação em Eng. Civil,  
Universidade Federal do Pará  
Belém, Pará  
<http://lattes.cnpq.br/9365258868083759>

### **Luiz Alfredo Franco Pinheiro**

Programa de Pós-Graduação em Eng. Civil,  
Universidade Federal do Pará  
Belém, Pará  
<http://lattes.cnpq.br/5152619245319104>

### **Paola de Kácia de Souza Pinto Silva**

Programa de Pós-Graduação em Eng. Civil,  
Universidade Federal do Pará  
Belém, Pará  
<http://lattes.cnpq.br/4623717412359284>

### **Pedro Ignácio Lima Gadêlha Jardim**

Programa de Pós-Graduação em Eng. Civil,  
Universidade Federal do Pará  
Belém, Pará  
<http://lattes.cnpq.br/6028687809417062>

### **Raíssa Coelho Almeida**

Programa de Pós-Graduação em Eng. Civil,  
Universidade Federal do Pará  
Belém, Pará  
<http://lattes.cnpq.br/6842920412816009>

**RESUMO:** Neste artigo é apresentado conceitos iniciais sobre punção em lajes lisas de concreto armado trazendo uma breve introdução sobre o conceito de punção em lajes, métodos de dimensionamento de lajes com e sem adição de armadura de cisalhamento. Foram abordadas as prescrições da norma brasileira ABNT NBR 6118 (2014) para o dimensionamento de lajes

de concreto armado com e sem armadura de cisalhamento. Espera-se com este trabalho aumentar-se o entendimento sobre o comportamento de lajes lisas sujeitas ao efeito de punção, tendo em vista se tratar de um modelo de estrutura composta apenas de lajes sem vigas contendo apenas pilares e capitéis.

**PALAVRAS-CHAVE:** Concreto armado, punção, dimensionamento, lajes lisas, cisalhamento.

## PUNISHING CONSIDERATIONS IN FLAT REINFORCED CONCRETE SLABS

**ABSTRACT:** In this article, initial concepts about punching in smooth reinforced concrete slabs are presented, giving a brief introduction about the concept of punching in slabs, methods of dimensioning slabs with and without the addition of shear reinforcement. The requirements of the Brazilian standard ABNT NBR 6118 (2014) for the design of reinforced concrete slabs with and without shear reinforcement were addressed. This work is expected to increase the understanding of the behavior of smooth slabs subject to the puncture effect, considering that it is a model of structure composed only of slabs without beams containing only pillars and capitals.

**KEYWORDS:** Reinforced concrete, punching, dimensioning, smooth slabs, shearing.

## 1 | INTRODUÇÃO

Atualmente um modelo de concepção estrutural tem ganho muita visibilidade no que concerne as suas características são as chamadas lajes planas, lisas ou também denominadas, lajes cogumelo. Segundo Albuquerque (2015), as lajes lisas são sistemas estruturais laminares horizontais de concreto armado ou protendido que são apoiados rígida e diretamente em pilares, não existindo assim vigas para transferência dos esforços advindos da laje lisa. Um fato que torna a adoção deste tipo de concepção estrutural tão disseminado em obras de engenharia desde o surgimento deste modelo está associado ao tempo de realização que é demasiadamente mais rápido, compreensibilidade do sistema construtivo, custo e execução, bem como a versatilidade do emprego dos espaços construídos.

Dentre algumas das vantagens do concebimento deste sistema construtivo, em relação ao sistema tradicional de lajes e vigas, pode-se citar (ALBUQUERQUE, 2015; CARLESSO; FACCO; FOLLETO, 2019):

1. Simplicidade na execução das formas da estrutura. Devido à ausência das vigas ocorre uma simplificação nesse processo, ocasionando uma maior agilidade no processo construtivo e redução no consumo de material e de mão-de-obra na construção;
2. Facilidade no processo de execução da armadura. O arranjo da flexão torna-se mais simples e conseqüentemente mais fácil para executar, permitindo também o uso de telas soldadas. O sistema com vigas é mais demorado e trabalhoso devido às interferências das armaduras das vigas com os pilares, ao escalonamento da armadura e também à amarração dos estribos;

3. Maior facilidade no lançamento, adensamento e desforma do concreto, reduzindo significativamente a probabilidade da ocorrência de nichos de concretagem; redução da altura do edifício, propiciando assim o número de pavimentos;
4. Prazo de execução reduzido;
5. A ausência de vigas acarretando a diminuição dos revestimentos, facilidade na passagem de dutos fixados abaixo da laje e redução do pé-direito.

As vantagens apresentam uma intuitiva economia na etapa de execução da obra. Ainda, é possível citar as desvantagens (CARLESSO; FACCO; FOLLETTO, 2019):

1. Em edifícios residenciais, normalmente não há uma disposição regular dos pilares e assim a laje plana pode se tornar antieconômica;
2. A ausência de vigas pode deixar a estrutura muito deformável frente às ações horizontais, o que é um sério problema em edifícios altos;
3. Para edifícios altos deve-se projetar uma série de elementos de contraventamento, como paredes estruturais ou pilares-parede nas caixas dos elevadores;

O fenômeno de punção é caracterizado como modo de ruptura que ocorre por cisalhamento nos elementos delgados submetidos a carga ou reação concentrada aplicada transversalmente que provoca grandes tensões de cisalhamento em torno de regiões parcialmente pequenas sendo capaz de ocorrência de ruptura sem aviso. Em lajes lisas, essa situação é específica na região da ligação laje-pilar. Procura-se minimizar essas tensões operantes na região próxima ao pilar com o aumento da espessura da laje inteira ou com o uso de capitéis na região onde ocorre o efeito de punção. Um outro atenuador do combate à punção está associado ao aumento da capacidade resistente da laje, utilizando-se concreto com alta resistência e armadura de cisalhamento.

De acordo com Albuquerque (2015) a distribuição dos esforços internos na pequena porção da laje próxima ao pilar pode dificultar o desenvolvimento de equações analíticas no que tange as tensões na região da laje. Os códigos internacionais calculam a resistência à tensão cisalhante de uma seção em torno do pilar denominado de seção crítica, e ajustam esse valor com coeficientes de trabalhos experimentais.

Conforme Melo (1990), o primeiro relato de ocorrência de ruptura por punção foi do edifício *Prest-o-Lite*, em Indianápolis, no ano de 1911. A Figura 1 apresenta o colapso parcial do edifício *Pipers Row Multi-Storey Car Park*.



Figura 1 - Colapso parcial do edifício *Pipers Row Multi-Storey Car Park*.

Fonte: Wood (2003)

Dessa forma, o objetivo desse estudo apresentar uma revisão bibliográfica sobre o punçonnement em lajes planas de concreto armado com intuito de colaborar para a disseminação do tema na comunidade técnica e científica.

## 2 | EFEITO DO PUNÇONAMENTO NAS LAJES PLANAS

As lajes planas são lajes de concreto armado que não se apoiam em vigas, mas diretamente nos pilares da estrutura. Nos pontos de ligação entre pilar e laje, elevadas tensões de cisalhamento culminam na tendência do pilar “furar” a laje, o que se denomina “efeito de punção” (CARLESSO; FACCO; FOLLETTO, 2019).

Define-se por punção a ruptura localizada por corte geralmente em elementos planos devido à presença de cargas que se dão de forma concentrada e elevada. A ruptura por punção pode ocorrer principalmente nos encontros entre elementos lineares e planos (encontro laje-pilar), sendo muito comum em casos de lajes lisas e cogumelos quando se tem pilares apoiados sobre elementos planos. A ruptura por punção ocorre de forma localizada, pois as tensões em cisalhamento geram tensões de tração em um plano inclinado de aproximadamente 25° e 30° com o plano da laje e acaba se rompendo por falta de armadura adequada, com isso, a laje se rompe e toma a forma de um tronco de cone.

Existem diversos parâmetros que influenciam a resistência à punção. Destaca-se a resistência à compressão do concreto; o quantitativo de armadura de flexão tracionada; a geometria e dimensões do pilar; o efeito de tamanho (*size effect*); e o quantitativo e a presença da armadura de cisalhamento.

### 3 I PARÂMETROS QUE INFLUENCIAM A RESISTÊNCIA À PUNÇÃO

A resistência à tração do concreto é responsável pela ruptura por cisalhamento da peça quando esta é desprovida de armaduras que combatem tal esforço.

Para fins de projeto de uma estrutura, o estabelecimento da resistência à compressão é o passo inicial desse processo e as formulações normativas costumam relacionar a resistência à tração do concreto como uma função de sua resistência à compressão. É comum observar que as pesquisas experimentais correlacionam a resistência ao cisalhamento com a resistência à compressão do concreto (FERREIRA, 2010).

Segundo Lima (2012), um dos primeiros a tentar avaliar a influência do concreto na resistência à punção foi Graf (1993), quando o mesmo concluiu que havia uma relação não linear entre o aumento da capacidade da ligação laje-pilar e o aumento da resistência do concreto.

Moe (1961) propôs que essa relação poderia ser expressa como uma função proporcional à raiz quadrada da resistência do concreto. Hallgreen (1996) concluiu que em concretos de altas resistências a função proposta por Moe (1961) tende a superestimar a influência da resistência à compressão do concreto na resistência ao cisalhamento do mesmo.

### 4 I QUANTITATIVO DE ARMADURA DE FLEXÃO TRACIONADA

A taxa de armadura de flexão tracionada ( $\rho$ ) é definida como a razão entre a área de armadura de flexão tracionada ( $A_s$ ) e a área de concreto, que é expressa pelo produto da altura útil da laje ( $d$ ) por uma largura a ser considerada. Essa taxa de armadura influencia a resistência à punção, principalmente nos casos de lajes sem armadura de cisalhamento.

Regan (1986), diz que o aumento na taxa de armadura de flexão propicia o aumento da zona comprimida, reduzindo a fissuração na junção laje-pilar. Além disso, minimizando as espessuras das fissuras de flexão, o que facilita a transferência de forças através do entrosamento dos grãos de agregados, aumentando o efeito de pino.

### 5 I GEOMETRIA E DIMENSÃO DO PILAR

A geometria e as dimensões do pilar são fatores que podem afetar a resistência de uma laje, pois estes são responsáveis por determinar como as tensões poderão se distribuir ao longo da ligação laje-pilar. Regan e Braestrup (1985) observaram que a resistência em pilares circulares foi cerca de 15% maior comparado com pilares quadrados com área equivalente. A menor resistência em pilares quadrados é explicada pelo fato desses pilares apresentarem uma concentração de tensões nos cantos.

Melges (2001), para pilares alongados, onde a relação entre o lado maior e o lado menor é superior a 2, a ruína é mais abrupta, o tamanho do cone de punção é menor e

a resistência da ligação também é menor, quando comparados com pilares de seções quadradas. Isto também se deve ao fato de que as tensões se concentram nos cantos e nos menores lados do pilar.

## 6 | SIZE EFFECT

De acordo com Fusco (1984, apud Melges, 2001) a influência do efeito de tamanho geralmente é dada em função da altura útil da laje. Este efeito refere-se ao fato de que, em igualdade de outras condições, as lajes de menor altura útil são mais resistentes que as lajes mais espessas. Este fato é, em princípio, justificável pela possibilidade de maior heterogeneidade do concreto das lajes mais espessas. Além disso, mesmo com uma mesma taxa de armadura longitudinal, nas lajes de maior espessura, a armadura de tração é menos eficiente no controle da abertura das fissuras ao longo de toda a altura da seção fissurada. Deste modo, a espessura da peça condiciona o entrosamento dos agregados, fazendo com que a altura útil também seja um fator que controla a resistência das lajes ao cisalhamento. Resultados experimentais mostram, no entanto, que a partir de uma determinada espessura, a influência da variação da altura útil deixa de ser significativa. Essa limitação da influência da espessura a um determinado valor decorre de um efeito de escala entre a altura útil da peça e o diâmetro máximo dos agregados empregados na fabricação do concreto.

## 7 | QUANTITATIVO E PRESENÇA DE ARMADURAS DE CISALHAMENTO

No momento do dimensionamento de uma ligação laje-pilar, caso seja verificado que esta ligação não atende a segurança quanto à punção, sua resistência pode ser elevada adotando-se algumas medidas, como o aumento da seção do pilar, da espessura da laje, da taxa de armadura de flexão, ou da resistência à compressão do concreto. Porém, pilares com maiores dimensões costumam ser problemáticos do ponto de vista arquitetônico. Já o aumento da espessura da laje significaria uma elevação significativa dos custos, tanto da estrutura quanto das fundações. Finalmente, tanto o aumento da taxa de armadura de flexão quanto o da resistência à compressão do concreto seriam pouco efetivos, tornando-os por si só muitas vezes inviável.

Assim, quando se deseja aumentar a resistência à punção, a melhor solução é através da utilização de armaduras de cisalhamento (FERREIRA, 2010). Diversos tipos de armadura de cisalhamento já foram testados quanto à sua eficiência técnica e construtiva. As primeiras armaduras testadas no combate à punção foram barras dobradas. Estribos também podem ser utilizados como armadura de cisalhamento em lajes, sendo os tipos mais comuns os estribos fechados e estribos abertos tipo “pente” e estribos inclinados. Os estribos fechados e estribos do tipo “pente” podem ser de difícil colocação, interferindo na

armadura de flexão e na armadura dos pilares, ao passo que, estribos abertos com pernas simples tendem a apresentar problemas de ancoragem, mesmo que sejam usadas barras horizontais. Apenas os estribos inclinados mostraram-se eficientes no combate à punção, sendo, no entanto, pouco utilizados por questões construtivas. As armaduras do tipo pino são também bastante eficientes no combate à punção, sendo o tipo de armadura de cisalhamento mais popular para lajes devido ao fato de serem industrializadas e fornecidas por empresas especializadas, ou seja, não necessitando de serem confeccionadas nos canteiros de obras.

Segundo Lima (2012) outra vantagem desse tipo de armadura de cisalhamento consiste no fato de ser a mais fácil de garantir o correto espaçamento entre as diferentes camadas de armadura, uma vez que, os pinos são fixados em guias de aço.

## 8 | CRITÉRIO DE DIMENSIONAMENTO

Segundo Cordovil (1997), a partir de ensaios de punção realizados em lajes de concreto armado pode-se observar que o panorama da fissuração (Figura 2), antes da ruptura, apresenta fissuras predominantemente radiais, não indicando uma tendência à formação de um sólido parecido com um elemento axissimétrico. O sólido que se forma com uma fissura circunferencial, não muito definido, somente ocorre na ruptura da laje quando o concreto perde todas as suas resistências, inclusive ao cisalhamento, por pulverização do material na região solicitada.

As barras tracionadas das armaduras de flexão permitem, em função da taxa de armadura, a maior ou menor ocorrência de fissuras na massa de concreto. Essa fissuração, juntamente com a microfissuração do cimento endurecido e da zona de transição, configura um quadro muito complexo. Isso torna o estabelecimento de uma teoria geral aceitável para o problema da punção em lajes de concreto armado.

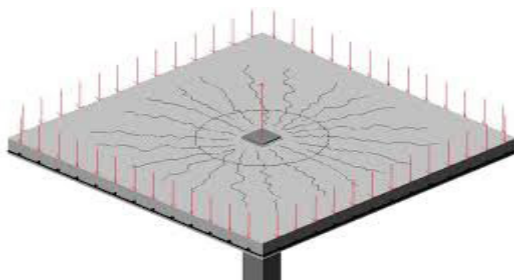


Figura 2 – Panorama da fissuração em lajes.

Fonte: Cordovil (1997).

Ensaios demonstram que as deformações circunferenciais, inicialmente, são maiores que as deformações radiais. Por isso, as fissuras radiais surgem em primeiro lugar.

Somente na ocasião da ruptura há a formação de uma fissura quase circular, que limita o contorno de um sólido deslocado ao redor do pilar (CORDOVIL, 1997). A Figura 3 ilustra situações de rupturas em lajes planas com e sem armadura de cisalhamento. A Figura 4 ilustra os tipos mais comuns de armadura de cisalhamento.

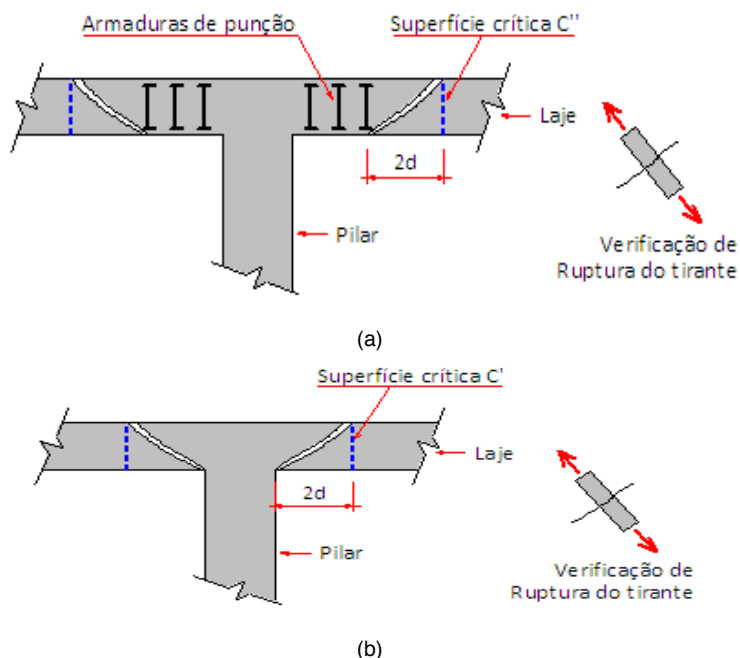


Figura 3 – Superfície de ruptura da laje com (a) e sem (b) armadura de cisalhamento.

Fonte: Cordovil (1997).

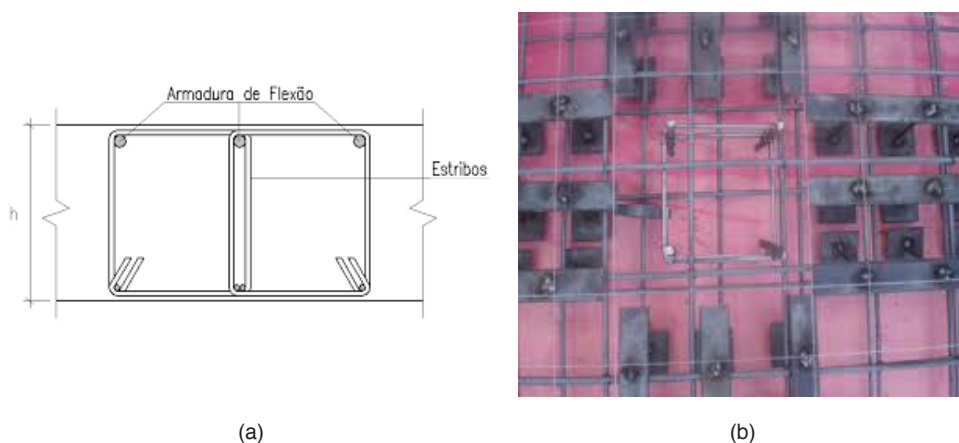


Figura 4 – Armadura constituída por estribos ou chapas dobradas (a) e tipo pino (b).

Fonte: Cordovil (1997).



## 9 | DIMENSIONAMENTO SEGUNDO A ABNT NBR 6118

O método mais conhecido e desenvolvido para verificar a resistência de uma ligação laje-pilar com relação à punção é o da superfície de controle, adotado pela ABNT NBR 6118 (2014). Rabello (2010) relata que vantagem em relação aos demais é a sua generalização, pois pode ser aplicada em qualquer configuração de pilar.

O modelo de cálculo corresponde à verificação do cisalhamento em duas ou mais superfícies críticas definidas no entorno de forças concentradas (Figura 5). Primeira superfície crítica (contorno C), do pilar ou da carga concentrada, deve ser verificada indiretamente a tensão de compressão diagonal do concreto, através da tensão de cisalhamento. Segunda superfície crítica (contorno C'), afastada  $2d$  do pilar ou carga concentrada, deve ser verificada a capacidade da ligação à punção, associada à resistência à tração diagonal. Essa verificação também se faz através de uma tensão de cisalhamento, no contorno C'. Terceira superfície crítica (contorno C''), apenas deve ser verificada quando for necessário colocar armadura transversal. A Figura 6 ilustra situações de perímetro crítico em lajes planas para pilares internos (Figura 6a) e externos (Figura 6b).

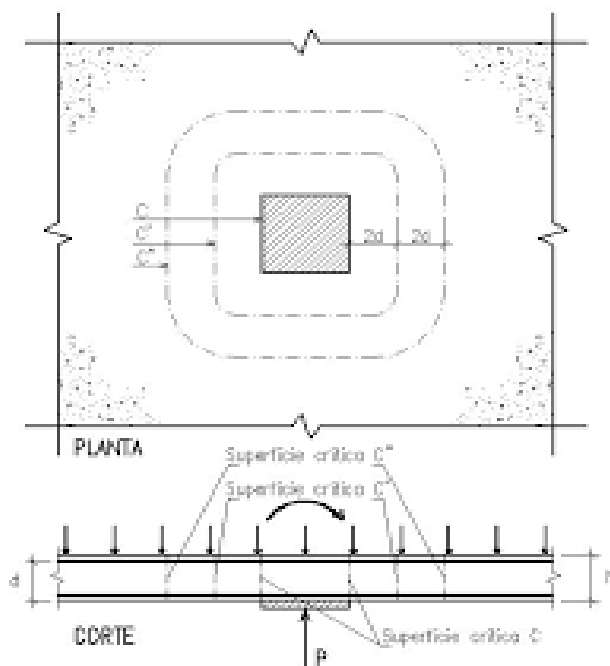


Figura 5 – Superfície crítica em pilares.

Fonte: Cordovil (1997).

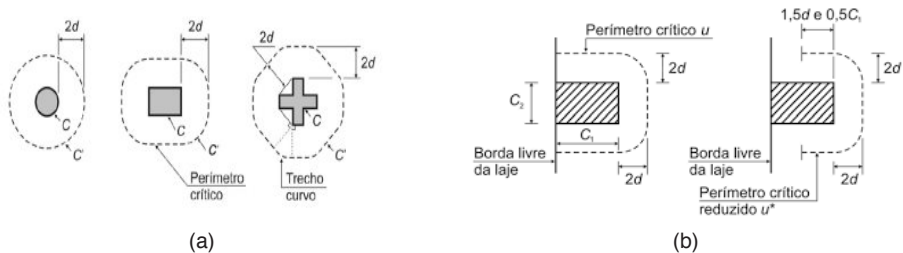


Figura 6 – Perímetros críticos em pilares internos (a) e pilares externos (b).

Fonte: Cordovil (1997).

## 10 | VERIFICAÇÕES E CÁLCULO DA ARMADURA

A verificação da tensão de cisalhamento atuante é realizada conforme Equação 1 para pilares internos sob flexão ou pela Equação 2 para pilares internos sob carregamentos simétricos.

$$\tau_{sd} = \frac{F_{sd}}{u \cdot d} + \frac{K \cdot M_{sd}}{W_p \cdot d} \quad 1$$

$$\tau_{sd} = \frac{F_{sd}}{u \cdot d} + \frac{K \cdot M_{sd}}{W_p \cdot d} \quad 2$$

Sendo

$$d = \frac{d_x + d_y}{2} \quad 3$$

Onde,  $d$  denota a altura útil da laje ao longo do contorno crítico  $C'$ , externo ao contorno,  $C$  da área de aplicação da força e deste distante  $2d$  no plano da laje;  $d_x$  e  $d_y$  são as alturas úteis nas duas direções ortogonais;  $u$  é o perímetro do contorno crítico  $C'$ ;  $u \cdot d$  refere-se à área da superfície crítica; e  $F_{sd}$  denota a força ou a reação concentrada de cálculo.

A força de punção  $F_{sd}$  pode ser reduzida da força distribuída aplicada na face oposta da laje, dentro do contorno considerado na verificação,  $C$  ou  $C'$ .

$K$  é o coeficiente que fornece a parcela de  $M_{sd}$  transmitida ao pilar por cisalhamento, que depende da relação  $C_1/C_2$ .  $C_1$  e  $C_2$  denotam, respectivamente, a dimensão do pilar paralela e perpendicular à excentricidade da força. O coeficiente  $K$  assume os valores indicados na Tabela 1.

C1/C2	0,5	1	2	3
K	0,45	0,6	0,7	0,8

Tabela 1 – valores de K.

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 6118 (2014).

Para pilares circulares internos, deve ser adotado o valor  $K = 0,6$ . O valor de  $W_p$  deve ser determinado conforme Equação 4 para pilares retangulares ou Equação 5 para pilares de seção circular, onde  $D$  denota o diâmetro do pilar de seção circular.

$$W_p = \frac{C_1^2}{2} + C_1 \cdot C_2 + 4 \cdot C_2 \cdot d + 16 \cdot d^2 + 2 \cdot \pi \cdot d \cdot C_1 \quad 4$$

$$W_p = (D + 4 \cdot d^2) \quad 5$$

Ainda,  $W_p$  pode ser determinado desprezando a curvatura dos cantos do perímetro crítico, através da Equação 6.

$$W_p = \int_0^u |e| \cdot dl \quad 6$$

Sendo,  $dl$  o comprimento infinitesimal no perímetro crítico  $u$ ;  $e$  é a distância de  $dl$  ao eixo que passa pelo centro do pilar e sobre o qual atua o momento fletor  $M_{sd}$ .

## 11 | VERIFICAÇÃO DOS PERÍMETROS

A verificação dos perímetros das superfícies críticas é determinada inicialmente pelo perímetro  $C$ , na face do pilar, conforme Equação 7.

$$\tau_{sd} < \tau_{rd2} = 0,27 \cdot \alpha_v \cdot f_{cd} \quad 7$$

Onde

$$\alpha_v = 1 - \left( \frac{f_{ck}}{250} \right) \quad 8$$

A verificação sem armadura do perímetro  $C'$  é realizada conforme Equação 9. O valor de  $d$  é determinado conforme Equação 3.

$$\tau_{sd} < \tau_{rd1} = 0,13 \cdot \left( 1 + \sqrt{\frac{20}{d}} \right) \cdot (100 \cdot \rho \cdot f_{ck})^{1/3} \quad 9$$

$$\rho = \sqrt{\rho_x \cdot \rho_y} \quad 10$$

Sendo  $\rho$  a taxa geométrica de armadura de flexão aderente (armadura não aderente deve ser desprezada); e  $\rho_x$  e  $\rho_y$  são as taxas de armadura nas duas direções ortogonais que equivalem à largura igual à dimensão ou área carregada do pilar acrescida de  $3d$  para cada um dos lados ou, no caso de proximidade da borda, prevalece a distância até a borda, quando menor que  $3d$ . Essa verificação deve ser feita no contorno crítico  $C'$  ou em  $C_1'$  e  $C_2'$ , no caso de existir capitel.

Para os casos da necessidade de armadura, o perímetro  $C'$  é calculado conforme Equação 11.

$$\tau_{sd} < \tau_{rd3} = 0,1 \cdot \left( 1 + \sqrt{\frac{20}{d}} \right) \cdot (100 \cdot \rho \cdot f_{ck})^{1/3} + 1,5 \cdot \frac{d}{S_r} \cdot \frac{A_{sw} \cdot f_{ywd} \cdot \text{sen}(\alpha)}{u \cdot d} \quad 11$$

Sendo,  $S_r$  o espaçamento radial entre linhas de armadura de punção, inferior a  $0,75d$ ;  $A_{sw}$  denota a área da armadura de punção em um contorno completo paralelo a  $C^*$ ;  $\alpha$ , o ângulo de inclinação entre o eixo da armadura de punção e o plano da laje;  $u$  é o perímetro crítico ou perímetro crítico reduzido no caso de pilares de borda ou canto;  $f_{ywd}$  é a resistência de cálculo da armadura de punção, inferior a 300 MPa para conectores ou 250 MPa para estribos (de aço CA-50 ou CA-60). Para lajes com espessura maior que 15 cm, esses valores podem ser aumentados (ABNT NBR 6118, 2014).

$$\frac{A_{sw}}{S_r} = \frac{\left[ \tau_{sd} - \left( \frac{\tau_{rd1}}{1,8} \right) \right] \cdot u}{1,5 \cdot f_{ywd}} \quad 12$$

## 12 | ARMADURA DE PUNÇÃO OBRIGATÓRIA

No caso de a estabilidade global da estrutura depender da resistência da laje à punção, deve ser prevista armadura de punção. Mesmo que  $\tau_{sd}$  seja menor que  $\tau_{rd1}$  a armadura deve equilibrar um mínimo de 50% de  $F_{sd}$ . A Figura 7 ilustra um exemplo de disposição da armadura contra a punção.

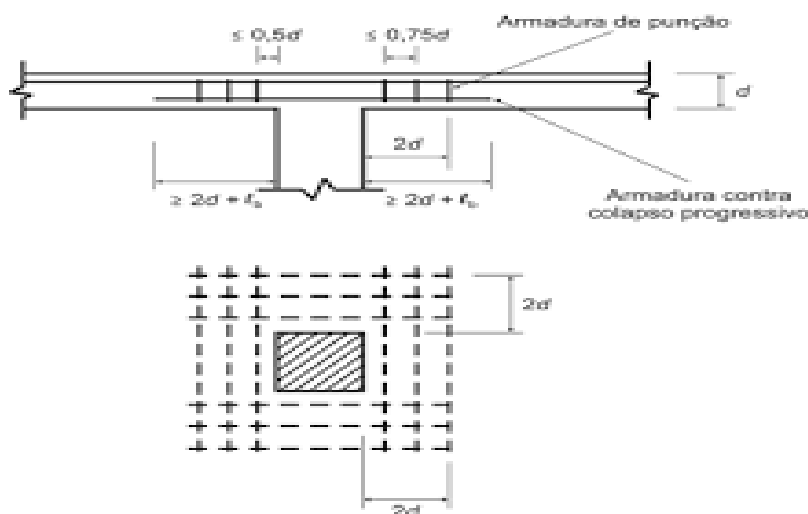


Figura 7 – Disposição da armadura de punção.

Fonte: ABNT NBR 6118 (2014).

### 13 | ARMADURA PARA EVITAR O COLAPSO PROGRESSIVO

Para garantir a ductilidade local e a conseqüente proteção contra o colapso progressivo, a armadura de flexão inferior que atravessa o contorno  $C$  deve estar suficientemente ancorada além do contorno  $C'$  (Equação 13), conforme Figura 8. O valor de  $F_{sd}$  pode ser calculado com  $\gamma_f$  igual a 1,2.

$$A_{s,cep} \cdot f_{yd} \geq 1,5 \cdot F_{sd}$$

13

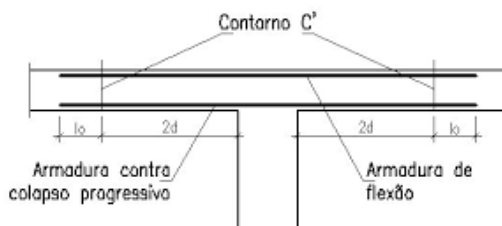


Figura 8 – Disposição da armadura contra colapso progressivo.

Fonte: ABNT NBR 6118 (2014).

### 14 | CONCLUSÃO

Tendo em vista o que foi analisado, pode-se dizer que a ampliação do conhecimento a respeito das lajes lisas é de extrema necessidade, uma vez que a exigência dos projetos arquitetônicos vem ficando cada vez maior, buscando sempre espaços mais abertos, flexíveis e com disposições variadas. Já foi comprovado que esse tipo de estrutura, executada de forma adequada, apresenta diversas vantagens como: redução no pé direito, facilidade durante a execução das instalações hidráulicas, dentre outros fatores. Apesar desses benefícios, muitos cuidados adicionais devem ser levados em consideração durante sua fase de concepção e execução (FERREIRA,2006).

Como já foi mencionado anteriormente, estruturas sem um pórtico bem definido como as lajes lisas, merecem uma avaliação muito criteriosa no que tange ao seu macro e micro comportamento, ou seja, estruturas com essas características dependem significativamente da interrelação entre seus elementos estruturais. Pois, o fenômeno de punção em lajes lisas ocorre especificamente na ligação laje-pilar, ponto onde ocorre elevadas tensões de cisalhamento o que culmina no colapso da estrutura. Estudos comprovam que a geometria do pilar e a espessura da laje, são fatores que influenciam diretamente na ocorrência da ruptura abrupta da estrutura. Pesquisas já realizadas demonstram que pilares com seções circulares resistem cerca de 15% a mais que pilares de seções quadradas, fato esse que pode ser explicado devido ao acúmulo de tensão nos cantos.

Por isso, hoje existem diversos modelos experimentais que buscam analisar em termos mais específicos o seu comportamento mediante carga e ruptura (LOURENÇO,

2018). Fatores como resistência a compressão, geometria do pilar, momento de inércia, e taxa de armaduras longitudinais são bons exemplos de variáveis que devem ser dimensionadas de forma a garantir que as resistências solicitantes não excedam as resistências previstas em projeto.

Cabe a ressalva também de existirem outras normas além da ABNT NBR 6118 que se empenham em dimensionar estruturas de lajes lisas, como a ACI 318/19, BS 8110/97, a EUROCODE 2/04, ou mesmo trabalhos como os de MUTTONI (2008). De acordo com Rabello (2010) ambos os documentos geraram uma certa taxa de variação na resistência calculada, decorrentes da mudança na média das cargas concentradas, o autor também percebeu que mesmo com certas limitações a NBR 6118 mostrou resultados bem próximos aos fornecidos pelo EUROCODE 2/04. Esses dados indicam que mesmo utilizando métodos de cálculos distintos, pode-se chegar a um valor aproximado durante a concepção de uma laje lisa que venha a sofrer sob efeito da punção.

Dentro deste trabalho, as considerações sobre punção em lajes lisas basearam-se na revisão bibliográfica de estudos técnicos, que avaliaram metodologias aplicadas ao dimensionamento deste modelo, por meio de técnicas normatizadas que tentam minimizar o efeito do punctionamento nessas lajes. Mas ainda existem diversos outros trabalhos que se podem ajudar na melhor compressão deste fenômeno.

## REFERÊNCIAS

ABNT. **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto - procedimento**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2014.

ALBUQUERQUE, Elaine Jaricuna Pereira de. **Punção em lajes lisas com armadura de cisalhamento e pilar de canto reentrante**. 379 f. 2015. - Tese de doutorado. Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Brasília, Brasília, 2015.

CARLESSO, Gabriela Ceccon; FACCO, Heron Gabriel; FOLLETO, Evandro Paulo.

**Dimensionamento de laje cogumelo**. [S. l.]: Seminário de Iniciação Científica, Seminário Integrado de Ensino, Pesquisa e Extensão e Mostra Universitária, 2019.

CORDOVIL, Fabio Armando Botelho. **Lajes de concreto armado: punção**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 1997.

FERREIRA, M. P. **Punção em lajes lisas de concreto armado com armaduras de cisalhamento e momentos desbalanceados**. Brasília: Tese de doutorado. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, 2010.

GRAF, O. **Versuche über die Widerstandsfähigkeit von Eisenbetonplatten unter konzentrierter Last nahe einem Auflager**. Berlin: Deutscher Ausschuß für Eisenbeton, Heft 73, 1993.

HALLGREN, M. **Punching shear capacity of reinforced high strength concrete slabs**. Stockholm: Tese de doutorado. Royal Institute of Technology, 1996.

LIMA, A. W. **Estudo experimental e analítico de punção em lajes lisas de concreto armado utilizando polímeros reforçados com fibra de carbono (PRFC) como armadura de cisalhamento.** Brasília: Dissertação de Mestrado. Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, 2012.

LOURENÇO, D. D. S. **Punção em lajes lisas de concreto armado com aberturas: análise experimental.** Universidade Estadual de Campinas. Campinas, p. 179. 2018.

MELGES, José Luiz Pinheiro. **Análise Experimental da punção em lajes de concreto armado e protendido.** São Carlos: Tese de doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2001.

MUTTONI, A. **punching shear strength of reinforced concrete slabs without transverse Reinforcement.** ACI structural Journal, July/August 2008.

MELO, Guilherme Sales S. de A. **Behavior of reinforced concrete flat slabs after local failure.** Londres: University of Westminster, 1990.

MOE, J. **Shearing strength of reinforced concrete slabs and footings under concentrated loads.** [S. l.]: V. D47, PCA, IL, 1961.

RABELLO, F. T. **Análise comparativa de normas para a punção em lajes de concreto armado.** Florianópolis: Dissertação de Mestrado. Univerisdade Federal de Santa Catarina, 2010.

REGAN, P. E. **Shear combs, reinforcement against puching.** Londres: The Structural Engineer, 1986.

REGAN, P. E.; BRAESTRUP, M. W. **Punching shear in reinforced concrete: a state of art report.** [S. l.]: Comité euro-international du béton, 1985.

WOOD, J. G. M. **Pipers row car park: wolverhampton quantitative study of the causes of the partial collapse on 20 march 1997.** [S. l.: s. n.], 2003. *E-book.*

## **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](http://www.atenaeditora.com.br)

 [contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)

 @atenaeditora

 [www.facebook.com/atenaeditora.com.br](http://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)





 **Atena**  
Editora

Ano 2021

# COLEÇÃO DESAFIOS DAS ENGENHARIAS:

## ENGENHARIA CIVIL



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

**Atena**  
Editora  
Ano 2021