

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

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

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano  
Prof. Dr. Arinaldo Pereira da Silva – Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará  
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Carla Cristina Bauermann Brasil – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – Universidade Federal da Grande Dourados  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia  
Prof. Dr. Écio Souza Diniz – Universidade Federal de Viçosa  
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Fágner Cavalcante Patrocínio dos Santos – Universidade Federal do Ceará  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> 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  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará  
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido  
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

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

Prof. Dr. André Ribeiro da Silva – Universidade de Brasília  
Profª Drª Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás  
Profª Drª Daniela Reis Joaquim de Freitas – Universidade Federal do Piauí  
Profª Drª Débora Luana Ribeiro Pessoa – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Douglas Siqueira de Almeida Chaves – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri  
Profª Drª Elizabeth Cordeiro Fernandes – Faculdade Integrada Medicina  
Profª Drª Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília  
Profª Drª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina  
Profª Drª Eysler Gonçalves Maia Brasil – Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira  
Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Profª Drª Fernanda Miguel de Andrade – Universidade Federal de Pernambuco  
Prof. Dr. Fernando Mendes – Instituto Politécnico de Coimbra – Escola Superior de Saúde de Coimbra  
Profª Drª Gabriela Vieira do Amaral – Universidade de Vassouras  
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. Helio Franklin Rodrigues de Almeida – Universidade Federal de Rondônia  
Profª Drª Iara Lúcia Tescarollo – Universidade São Francisco  
Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. Jefferson Thiago Souza – Universidade Estadual do Ceará  
Prof. Dr. Jesus Rodrigues Lemos – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Dr. Jônatas de França Barros – Universidade Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Prof. Dr. Luís Paulo Souza e Souza – Universidade Federal do Amazonas  
Profª Drª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. Marcus Fernando da Silva Praxedes – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Profª Drª Maria Tatiane Gonçalves Sá – Universidade do Estado do Pará  
Profª Drª Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federacl do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá  
Prof. Dr. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados  
Profª Drª Regiane Luz Carvalho – Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino  
Profª Drª Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora  
Profª Drª Vanessa 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. Lilian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará  
Profª Ma. Lilian de Souza – Faculdade de Tecnologia de Itu  
Profª Ma. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ  
Profª Drª Livia do Carmo Silva – Universidade Federal de Goiás  
Prof. Dr. Lucio Marques Vieira Souza – Secretaria de Estado da Educação, do Esporte e da Cultura de Sergipe  
Prof. Dr. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual do Paraná  
Profª Ma. Luana Ferreira dos Santos – Universidade Estadual de Santa Cruz  
Profª Ma. Luana Vieira Toledo – Universidade Federal de Viçosa  
Prof. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados  
Prof. Me. Luiz Renato da Silva Rocha – Faculdade de Música do Espírito Santo  
Profª Ma. Luma Sarai de Oliveira – Universidade Estadual de Campinas  
Prof. Dr. Michel da Costa – Universidade Metropolitana de Santos

Prof. Me. Marcelo da Fonseca Ferreira da Silva – Governo do Estado do Espírito Santo  
Prof. Dr. Marcelo Máximo Purificação – Fundação Integrada Municipal de Ensino Superior  
Prof. Me. Marcos Aurelio Alves e Silva – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo  
Prof. Me. Marcos Roberto Gregolin – Agência de Desenvolvimento Regional do Extremo Oeste do Paraná  
Profª Ma. Maria Elanny Damasceno Silva – Universidade Federal do Ceará  
Profª Ma. Marileila Marques Toledo – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri  
Prof. Dr. Pedro Henrique Abreu Moura – Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais  
Prof. Me. Pedro Panhoca da Silva – Universidade Presbiteriana Mackenzie  
Profª Drª Poliana Arruda Fajardo – Universidade Federal de São Carlos  
Prof. Me. Rafael Cunha Ferro – Universidade Anhembi Morumbi  
Prof. Me. Ricardo Sérgio da Silva – Universidade Federal de Pernambuco  
Prof. Me. Renan Monteiro do Nascimento – Universidade de Brasília  
Prof. Me. Renato Faria da Gama – Instituto Gama – Medicina Personalizada e Integrativa  
Profª Ma. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal  
Prof. Me. Robson Lucas Soares da Silva – Universidade Federal da Paraíba  
Prof. Me. Sebastião André Barbosa Junior – Universidade Federal Rural de Pernambuco  
Profª Ma. Silene Ribeiro Miranda Barbosa – Consultoria Brasileira de Ensino, Pesquisa e Extensão  
Profª Ma. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo  
Prof. Dr. Sullivan Pereira Dantas – Prefeitura Municipal de Fortaleza  
Profª Ma. Taiane Aparecida Ribeiro Nepomoceno – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Universidade Estadual do Ceará  
Profª Ma. Thatianny Jasmine Castro Martins de Carvalho – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Me. Tiago Silvio Dedoné – Colégio ECEL Positivo  
Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

## Coleção desafios das engenharias: engenharia 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>

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

*Data de aceite: 01/07/2021*

**Marina Munaretto Copetti**

<http://lattes.cnpq.br/9838212000232840>

**Cristiane Carine dos Santos**

<http://lattes.cnpq.br/4101897913771990>

<https://orcid.org/0000-0002-0988-2682>

**Ana Paula Maran**

<http://lattes.cnpq.br/7847252334434156>

**Silvane Santos da Silva**

<http://lattes.cnpq.br/1015995413129280>

**Régis Luís Wagner Mallmann**

<http://lattes.cnpq.br/2231561351302325>

**RESUMO:** Com relação à avaliação da mitigação da reação álcali-agregado pelo método acelerado ABNT NBR 15577-5, a parte 1 da norma estabelece que a comprovação da mitigação da reação é obtida quando a expansão for menor que 0,19% aos 30 dias (28 dias de cura em solução alcalina). Este trabalho tem como objetivo realizar o estudo comparativo de determinação da mitigação da expansão da reação-álcali agregado em barras de argamassa pelo método acelerado além da análise petrográfica do agregado utilizado, onde foram utilizados um mesmo agregado potencialmente reativo da região onde será instalada a obra e quatro tipos de aglomerante cimentício CP II F 32, CPII E 40, CP IV e CPV e metacaulim. A análise petrográfica realizada confirmou a reatividade do agregado. O melhor desempenho entre os cimentos estudados

foi o do CPV-RS tem como justificativa seu teor de até 50% de adição de material pozzolânico, que promove reações capazes de inibir a RAA no cimento Portland. Desta forma, conclui-se que, além do equivalente alcalino, a presença de adições também tem uma grande influência na reação álcali-agregado no cimento Portland.

**PALAVRA-CHAVE:** RAA. Patologia. Concreto. Adições minerais. Agregado reativo.

**ABSTRACT:** Regarding the assessment of mitigation of the alkali-aggregate reaction by the accelerated ABNT NBR 15577-5 method, part 1 of the standard establishes that proof of mitigation of the reaction is obtained when the expansion is less than 0.19% at 30 days (28 days of cure in alkaline solution). This work aims to carry out a comparative study to determine the mitigation of the expansion of the alkali reaction aggregated in mortar bars by the accelerated method in addition to the petrographic analysis of the aggregate used, where the same potentially reactive aggregate was used in the region where the work will be installed and four types of cement binder CP II F 32, CPII E 40, CP IV and CPV and metakaolin. The petrographic analysis carried out confirmed the reactivity of the aggregate. The best performance among the studied cements was that of CPV-RS, justified by its content of up to 50% of addition of pozzolanic material, which promotes reactions capable of inhibiting RAA in Portland cement. Thus, it is concluded that, in addition to the alkaline equivalent, the presence of additions also has a great influence on the alkali-aggregate reaction in Portland cement.

**KEYWORDS:** AAR, Patholog AAR, Concrete.

## 1 | INTRODUÇÃO

O concreto é um dos materiais mais antigos e que tem o uso mais disseminado na construção civil. Fazem parte da sua composição aglomerante hidráulico - cimento Portland, agregado miúdo, agregado graúdo, água, podendo ainda conter aditivos químicos e adições. Algumas propriedades fazem com que esse material seja o mais aplicado na engenharia, desde a facilidade de executar elementos diversos, em variedade de dimensões e geometria, ao baixo custo e maior disponibilidade.

As primeiras publicações sobre reação álcali-agregado, reação esta que ocorre entre os álcalis do concreto em estado endurecido, datam o ano de 1916 no Brasil, mas houve estudos maiores no ano 1963. A preocupação maior sempre foi com obras de grande porte como barragens, e parte de usinas hidrelétricas. Mas por volta de 2004, na cidade de Recife foram identificados casos dessa patologia em edifícios acometendo blocos e sapatas de fundações com idades entre 3 a 20 anos. Com o aumento de conhecimento na área, percebeu-se uma incidência na maioria dos estados brasileiros com maior volume no Nordeste.

## 2 | PATOLOGIA DO CONCRETO

Os fenômenos patológicos habitualmente apresentam manifestação externa característica, a partir da qual se pode ter uma ideia dedutiva quanto à natureza, à origem e aos mecanismos dos fenômenos envolvidos.

Pode-se dizer que os problemas patológicos de maior gravidade nas estruturas em concreto armado, especialmente pelo seu evidente risco à integridade da estrutura, são a corrosão da armadura do concreto, as fissuras e as flechas excessivas das peças estruturais (HELENE, 1992).

De acordo com Helene (2005), dentre os processos que interferem na durabilidade do concreto armado, estão processos físicos e químicos, onde os mais relevantes dos processos químicos são a corrosão das armaduras, a penetração de cloretos, a carbonatação, o ataque por sulfatos e as reações álcali-agregado.

No mundo, em aproximadamente 35 países, existem diversas obras com estruturas de concreto afetadas por reação álcali-agregado. Antigamente, quando se falava em reação álcali-agregado, pensava-se em obras de barragem e obras de grande porte. Atualmente as reação podem ser encontradas em diversos tipos de estruturas de concreto por isso os órgãos que estudam o concreto com mais afinco desenvolveram um guia prático para prevenção de reação álcali-agregado, guia prático para inspeção e diagnóstico da reação álcali-agregado e também um guia de ação frente as estruturas afetadas pela reação álcali agregado em conjunto com a ABNT

A deterioração induzida pela RAA nos compósitos cimentícios é um problema sério sem nenhuma solução simples, embora existam inúmeros métodos tradicionais que tentam impedir esta reação tais como a escolha do agregado de maneira adequada e que não seja reativo; a utilização de cimentos com um teor alcalino baixo; a adição de materiais pozolânicos e assim por diante, o fato é que este problema é cada vez mais presente em concretos de cimento Portland. Além disso, a reparação das estruturas afetadas é um empreendimento muito caro. Até 2005, existem relatos no meio técnico indicando mais de 140 casos de barragens no mundo afetadas pela RAA (HASPARYK, 2005).

A autora também comenta que em estruturas onde estão instalados equipamentos hidrodinâmicos e elétricos (comportas, geradores, turbinas, etc.), os problemas ocasionados pela RAA passam a ter uma maior dimensão e custos, devido à manutenção e reparo.

A fissuração que ocorre no concreto devido à RAA pode contribuir com outros problemas que afetam a durabilidade das estruturas, como por exemplo, a corrosão das armaduras. Segundo o CBDB (Comitê Brasileiro de Barragens, 1999), a micro-fissuração junto à superfície dos agregados e a perda de aderência podem levar a perdas de resistência e à redução do módulo de elasticidade do concreto.

Assim sendo, esta pesquisa sobre adições minerais e tipos de cimento, na atenuação da reação álcali-agregado ocorrida nas estruturas de concreto por ela afetadas, mostra-se relevante para o desenvolvimento do conhecimento técnico-científico sobre o assunto.

### 3 I REAÇÃO ALCÁLI – AGREGADO(RAA)

A RAA é um tipo de reação expansiva bastante conhecida devido ao grande número de casos registrados no mundo. A RAA ocorre devido ao processo químico que provém da reação dos compostos mineralógicos do agregado com hidróxidos alcalinos originários do cimento, água de amassamento e agentes externos, os quais estão dissolvidos na solução dos poros de concreto.

O produto resultante dessa reação é um gel cristalino expansivo na presença de umidade, podendo originar fissuras, aumento de permeabilidade, diminuição da resistência e conseqüentemente a ruptura da estrutura. Por trazer tanto risco as obras civis e não havendo um método eficiente na solução desse problema quando instalado a melhor solução técnico/econômica para se combater a RAA é a prevenção (SANCHEZ, KUPERMAN, HELENE, 2008).

Os ensaios, regidos pela norma NBR 15577-1 (ABNT 1555-1, 2008) estabelecem limites de expansão em um determinado corpo-de-prova, concluindo se este é potencialmente reativo ou potencialmente inócuo. A utilização de areia considerada reativa em concreto, somada a um ambiente úmido, geram patologias muitas vezes irreversíveis. A fim de evitar esse problema, adiciona-se material de característica pozolânica que, em

algumas quantidades inibem a reação, tornando o agregado que antes era considerado potencialmente reativo, em potencialmente inócuo, conhecido como mitigação.

A deterioração do concreto causada pela reação álcali-agregado foi identificada pela primeira vez no ano de 1940, na Califórnia – EUA, por Stanton, quando se constatou inexplicáveis expansões em estruturas de diversos prédios escolares, pontes, pavimentos e construções portuárias. Ao investigar, Stanton chegou a conclusão que as expansões estavam relacionadas ao uso de cimento com alto teor de álcalis e que as deteriorações ocorridas foram devido à reação álcali-silica (HOBBS, 1988).

A reação se manifesta no concreto por um padrão de fissuração, expansão e consequente deslocamento dos elementos estruturais, o que causa ainda a desagregação de fragmentos da superfície. Algumas vezes, ocorre a exsudação de gel sílico-alcálico resultante da reação, que se deposita na superfície do concreto (PAULON, 1981). Segundo Bonato (2015), a reação álcali-agregado, é a reação química que ocorre no interior de uma estrutura de concreto, acontece entre os álcalis do cimento e os minerais dos agregados, sendo que geralmente os álcalis ou hidróxidos alcalinos também podem advir da água de amassamento, de aditivos químicos, de adições pozolânicas, entre outros.

A fissuração, é uma porta para agentes prejudiciais ao concreto como o  $\text{CO}_2$  que age no processo de corrosão das armaduras, ocorre devido à formação de gel que é parcialmente solúvel em água e pode expandir ou contrair com a perda ou ganho de água. Então, a variação de volume ocasiona uma pressão interna e, consequentemente, expansão e fissuração (SILVEIRA, 2007).

Segundo Paulon (1981), independentemente do tipo de reação álcali-agregado (álcali-silica, álcali-silicato ou álcali-carbonato), a fissuração em forma de mapa pode ser observada em todos os casos, porém algumas características permitem diferenciar os três tipos.

Conforme ilustrado na Figura 1, há um bloco de fundação com problema de fissuração devido à reação álcali-agregado.



Figura 1: Fissuração de bloco de fundação afetado pelo RAA.

Fonte: SALLES, F. M.; SANTO, T. D. E; MARQUES, M (2003).

Vários fatores podem influenciar na intensidade da reação e no seu desenvolvimento no decorrer do tempo, como: a presença de agregado reativo no concreto e de álcalis na pasta de cimento, a presença de umidade e outras condições ambientais. A RAA é mais comum em obras que estejam expostas à umidade.

No Brasil, existe uma norma específica para a análise da reatividade álcali-agregado: ABNT NBR 15577 (2008). Esta norma está dividida em 6 partes:

Parte 1: Guia para avaliação da reatividade potencial e medidas preventivas para uso de agregados em concreto;

Parte 2: Coleta, preparação e periodicidade de ensaios de amostras de agregados para concreto;

Parte 3: Análise petrográfica para verificação da potencialidade reativa de agregados em presença de álcalis do concreto.

Parte 4: Determinação da expansão em barras de argamassa pelo método acelerado; Parte 5: Determinação da mitigação da expansão em barras de argamassa pelo método acelerado;

Parte 6: Determinação da expansão em prismas de concreto.

As reações álcali-agregado podem ser de três tipos: reação álcali-sílica, reação álcali-silicato e reação álcali-carbonato, cada tipo dependente da composição mineralógica reativa do agregado. Diante aos problemas gerados por essas reações, diversos estudos têm procurado maneiras de minimizar estes efeitos. De acordo com Monteiro et al. (1997), a ação mais empregada para minimizar e até suprimir a reação álcali-agregado é substituir parcialmente o cimento por adições minerais, principalmente materiais pozolânicos.

Segundo Mehta (2008), em torno de 50 a 70% da massa do clínquer presente no cimento Portland pode ser substituída por diversos materiais complementares. Estes materiais são rejeitos industriais e agroindustriais e podem ou não sofrer beneficiamento. Os materiais pozolânicos que são comumente utilizados para substituir parcialmente o cimento Portland, são a cinza volante, cinza de casca de arroz, escória de alto forno e sílica ativa. Com base no exposto, o presente trabalho tem como objetivo fazer um estado da arte sobre as principais adições minerais utilizadas para mitigar as reações álcali-agregado e verificar os seus efeitos

### **3.1 Uso de adições minerais para mitigação de RAA**

Segundo Mehta (2008), a utilização de adições minerais tem influência benéfica sobre a durabilidade do concreto, devido aos efeitos físicos associados com o tamanho das partículas, que são geralmente mais finas que as do cimento Portland, e pelas reações pozolânicas e cimentíceas.

De acordo com a ASTM C 618/97 e a ABNT NBR 12653: 1992, pozolana é um material que, por si só, possui pouca ou nenhuma atividade cimentícea, porém, quando finamente dividida e na presença de água, reage com o hidróxido de cálcio à temperatura ambiente para formar compostos com propriedades cimentantes, reação na qual é chamada

de reação pozolânica.

As pozolanas podem se originar tanto de materiais naturais como: tufos vulcânicos, terras diatomáceas, argilas calcinadas; assim como de subprodutos e resíduos industriais (cinza volante, sílica ativa e cinza de casca de arroz). Elas podem ser utilizadas como substituição de parte do cimento ou como adição em percentuais variáveis em relação à massa de cimento. A adição de materiais pozolânicos, além de combaterem a expansão causada pela reação álcali-agregado, melhora outras propriedades do concreto, como a permeabilidade, a resistência ao calor, a difusividade, e o tamanho da zona de transição, devido à presença de partículas sólidas menores. Existem muitas proposições que buscam explicar o efeito da incorporação de adições minerais pozolânicas na reação álcali-agregado.

A seguir serão apresentadas as diversas explicações de alguns autores sobre a utilização de pozolanas e seus efeitos nestas reações.

Vivian (1983); Diamond (1997) e Hobbs (1988) constataram em seus estudos que a incorporação de materiais silicosos finamente moídos, ou pozolanas, poderiam agir de forma benéfica na redução das expansões nas reações álcali-agregado (teores ótimos). Porém, descobriram ainda que alguns teores podem agir de forma contrária, os chamados teores péssimos.

Segundo Ramachandran (1998), a eficácia com que as misturas de pozolanas naturais, cinza volante, cinza de casca de arroz, escória de alto forno e sílica ativa previnem os efeitos da reação álcali-agregado, vai depender da composição química das misturas, da quantidade adicionada, do tipo de agregado e do tipo de álcalis no cimento (Sódio, Potássio ou Lítio).

Para um determinado teor de álcalis do cimento, uma determinada quantidade de pozolana deve ser adicionada com o objetivo de produzir uma quantidade máxima de C-S-H e uma quantidade mínima de gel (SILVEIRA, 2007).

Segundo Diamond (1997), as adições pozolânicas agem por meio de um mecanismo de reação de superfície, que reduz não só a concentração de álcalis, mas ainda a concentração de íons hidroxila (OH<sup>-</sup>), isto é, o pH da solução da água dos poros.

Prezzi (1995) explicou que as adições minerais reduzem o pH da solução de água dos poros do concreto, tornando-a menos agressiva e diminuem a carga negativa da superfície da sílica. Quanto menor a concentração iônica na superfície carregada da partícula, menores a pressão e as expansões que são desenvolvidas.

Chatterji et al. (1989) apontaram como responsável da redução da expansão, o consumo de Ca(OH)<sub>2</sub> formado durante a hidratação do cimento, sendo a adição de minerais importantes contribuidores para este fato.

De acordo com Wang et al. (1991), o Ca(OH)<sub>2</sub> possui duas funções no mecanismo da reação álcali-sílica. Age mantendo o pH alto da solução da água dos poros, isto é, uma alta concentração de OH<sup>-</sup> e age como fonte de Ca<sub>2+</sub>, cuja liberação pode produzir gel silico-

alcalino expansivo.

Bhatty (1985) concluiu que as pozolanas reduzem a expansão causada pela reação durante a produção de C-S-H e silicatos hidratados com baixa relação Cálcio/Silica (Ca/Si). Estes hidratos podem reter o álcali adicional, reduzindo assim a quantidade de álcalis disponível para a reação com os agregados reativos, eliminando o efeito nocivo da expansão. Os resultados da sua pesquisa indicaram que a quantidade de álcalis retida aumentou com o aumento da adição de pozolanas. A partir dessas considerações, foi possível observar que a adição de pozolana auxilia na redução da expansão do concreto, inibindo desta forma as reações álcali-agregado.

A seguir, serão mostrados os principais tipos de adições pozolânicas utilizadas por alguns pesquisadores e seus respectivos efeitos na mitigação das reações álcali-agregado.

Duchesne et al. (1994) foram responsáveis por analisar o efeito de algumas adições minerais como sílica ativa, cinza volante e escória de alto forno, com o objetivo de reduzir a expansão devido às reações álcali-agregado. A contribuição das pozolanas foi avaliada por dois parâmetros: consumo de  $\text{Ca(OH)}_2$  e análise da solução de água dos poros. Os autores chegaram a conclusão que quanto maior o conteúdo de material suplementar (cimento substituído por pozolana), maior o consumo de  $\text{Ca(OH)}_2$ . Não foi constatada nenhuma correlação entre o teor de  $\text{Ca(OH)}_2$  e a redução da expansão do concreto. Desta forma, o consumo  $\text{Ca(OH)}_2$  observado nas análises parece ser apenas uma consequência da reação pozolânica, em função da redução da alcalinidade na solução de água dos poros do concreto.

Segundo TIECHER (2006) as adições pozolânicas impedem a reação álcali-agregado pois ao reagirem com o hidróxido de cálcio do cimento Portland provocam uma diminuição do pH da solução dos poros, inibindo assim a reação.

Outro fator que combate a RAA com adições minerais é que a sílica presente nestas reage com os álcalis do CP antes da sílica presente nos agregados do concreto, e esta reação que ocorre primeiramente não é prejudicial, pois o produto silicoso, finamente dividido, é inofensivo por não acarretar em expansões (DIAMOND, 1984, apud TIECHER, 2006).

Atualmente no Brasil são produzidos cimentos Portland com variadas porcentagens de adições, nessas opções tem-se dois tipos com altas porcentagens de adições, que podem ser usados para prevenirem o desencadeamento da reação álcali-agregado.

## 4 | METODOLOGIA

Em virtude do histórico encontrado em fundações de subestações na região central de Minas Gerais fez-se um estudo meticuloso para evitar futuros problemas, o agregado em questão não poderia ser alterado devido distância da obra. Então buscou-se fazer um estudo comparativo de mitigação apenas trocando o aglomerante da mistura para encontrar melhor solução para evitar esse propenso problema.

## 4.1 Agregado, aglomerantes

Nesse estudo foi utilizado o agregado da cidade de Salinas do estado de Minas Gerais foram realizados coleta e ensaios de agosto de 2018 a fevereiro de 2019. Foram recolhidos os agregados, tipos de cimentos e metacaulim e realizado o estudo de mitigação.

Estudos anteriores (relatórios ABCP) indicaram que essa região tem agregados potencialmente reativos. Com o intuito de contribuir com subsídios para a mitigação da expansão desses agregados foi realizado o ensaio prescrito pela NBR 15577-5, onde usou os cimentos (CP IV 32 - CP II E – 40 - CP II F 40 e CP V + 8% de metacaulim).

Portanto, este estudo apresenta os resultados dos ensaios referentes à determinação da mitigação da expansão em barras de argamassa pelo método acelerado prescrito pela ABNT NBR 15577-5, indicado para avaliar a eficiência de cimentos com adições de materiais pozolânicos ou escórias de alto-forno em inibir a expansão de agregados classificados como potencialmente reativos pela metodologia prescrita pela ABNT NBR 15577-4. O tipo de cimento variou conforme estudo, onde o agregado foi o mesmo em todo o estudo.

### 4.1.1 Análise petrográfica

A análise petrográfica dos agregados foi realizada seguindo as prescrições normativas da NBR 15577-3 e efetuando-se a visualização das amostras por técnicas microscópicas para se determinar as características mineralógicas dos agregados. O diagnóstico do agregado quanto a sua reatividade também foi feito em função da presença de minerais reativos e a avaliação do ângulo de extinção ondulante identificado no quartzo tensionado via microscopia de luz polarizada, de acordo com o procedimento descrito por Mantuani (1983 apud WEST 1996, p. 29-32).

Na Figura 2 segue esquematizada a determinação do ângulo de extinção ondulante em microscópio petrográfico. O objetivo é avaliar a qualidade da brita como agregado para concreto do ponto de vista mineralógico, no que se refere a sua potencialidade à reação álcali-agregado (RAA).

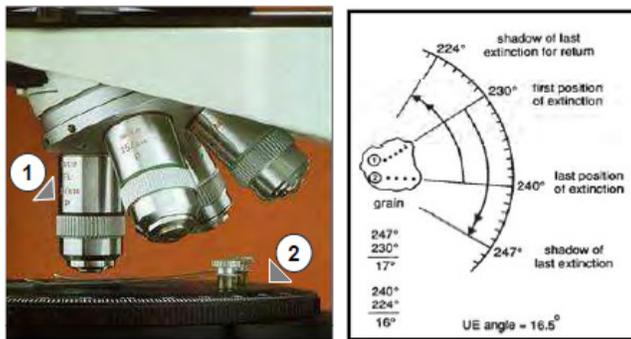


Figura 2 -Análise petrográfica. a) Detalhe do microscópio petrográfico – objetivas (1) e mesa giratória (2); b) Determinação do ângulo de extinção ondulante (*undulatory extinction - UE*) na mesa giratória.

Fonte: (MANTUANI, 1981 apud POOLE, 1992, p. 12).

#### 4.1.2 Método Acelerado de Barras de Argamassa

O ensaio acelerado em barras de argamassa foi realizado para a determinação da propensão dos agregados estudados à reação álcali-agregado. O Método Acelerado de Barras de Argamassa é normatizado no pela ASTM C-1260 (2007) e ABNT NBR 15577-4 (2008), e é, devido à sua velocidade de avaliação, o método mais utilizado no mundo (SANCHEZ, 2008).

O ensaio consiste na confecção e imersão de barras de argamassa em uma solução de hidróxido de sódio a 80 °C por um período de 30 dias, fazendo-se leituras de expansão aos 16 e 30 dias contados a partir de sua moldagem, e em períodos intermediários (ABNT NBR 15577-4, 2008). No instante de moldagem foram controladas as condições do ambiente (umidade e temperatura) por meio de um relógio termo-higrômetro. Após 24 ± 2h de cura nos moldes, efetuou-se o acondicionamento das barras em recipiente com água destilada, mantendo-se na temperatura de 80°C durante 24±2h. Seqüencialmente, realizou-se a primeira medição das barras, sendo as mesmas posteriormente transferidas para um banho térmico de NaOH 1N a 80 °C.

A Figura 3 demonstra onde as amostras receberam o banho térmico NaOH 1N controlado à 80°C.



Figura 3 - Banho térmico NaOH 1N controlado à 800C.

Fonte: Dados elaborados pelo autor(2020).

A retirada e retorno de cada barra do banho térmico para leitura foi realizado num período de tempo inferior a 1 min. A Figura 4 representa a retirada das amostras para as leituras.



Figura 4- Instante de retirada da barra do banho térmico.

Fonte: Dados elaborados pelo autor(2020).

A ASTM C-1260 (2007) define um limite de expansão de 0,20% aos 16 dias, acima do qual a reação é considerada deletéria. A Figura 5 representa o leitor de expansões.



Figura 5 - Equipamento de leitura de expansões.

Fonte: Dados produzidos pelo o autor (2020).

Expansões entre 0,10% e 0,20% são classificadas como potencialmente deletérias, e abaixo de 0,10%, como inócuas. Já a ABNT NBR 15577-4 (2008) classifica como potencialmente inócua a reação com expansão abaixo de 0,19% aos 30 dias, e acima desse limite como potencialmente reativa.

No caso da avaliação da mitigação da reação álcali-agregado pelo método acelerado NBR 15577-5, foi testada a mistura: (Brita + CP IV RS – 32), (Brita + CP II Z 40)(Brita + CP II F – 32) e (Brita + CP V ARI - RS + 8% de metacaulim). Substituiu-se o metacaulim em cima da massa de cimento, ou seja 404,8 g de cimento e 35,8g de metacaulim.

A *Tabela 1* apresenta a composição dos materiais utilizada para a preparação de três barras de argamassa de (25 x 25 x 285) mm. A amostra de agregado foi previamente britada e pulverizada, utilizando-se um britador de mandíbulas, marca Renard, modelo BMA 125.80, em seguida peneirada até obtenção da distribuição granulométrica indicada. Este procedimento foi realizado em todas as amostras. A quantidade de materiais utilizadas em cada moldagem das barras é a mesma, o que muda é o aglomerante. O aglomerante A é o cimento CP IV RS 32, o aglomerante B é o cimento CP II F 40 e o aglomerante CP II E 40 e o aglomerante D é o CP V + METACAULIM.

	Abertura nominal das peneiras (mm)	Massa (g)
Agregado	4,8-2,4	99,0
	2,4-1,2	247,5
	1,2 -0,6	247,5
	0,6-0,3	247,5
	0,3-0,15	148,5
Cimento A, B, C e D.		440,0
Água destilada (a/c = 0,47)		206,8

TABELA 1 - Composição dos materiais.

Fonte: Dados produzidos pelo o autor (2020).

## 5 I RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 Análise petrográfica

A análise petrográfica foi realizada primeiramente ao microscópio estereoscópico, sendo complementada por observações de lâmina delgada ao microscópio óptico de luz transmitida. O Quadro 1 demonstra a síntese das características petrográficas.

Mineralogia	Principal	Quartzo
	Subordinada	Opacos, carbonatos, sericita
	Reativa/Deletéria	Quartzo microgranular(20-30%)
Cor		Cinza escuro
Estrutura		Foliada
Textura		Granolepidoblástica/ Xistosa
Granulação		Inequigranular. Média(5mm a 1 mm) a fina(<1mm)
Deformação do agregado		Foliação marcada pela orientação das micas
Feldspato(Texturas potencialmente reativas)		Não ocorre
Quartzo deformado(<extinção ondulante)		15° a 30°
Quartzo microgranular(%)		>15%
Microfissuração		Fraco
Tipo		Rocha britada
Grau de alteração		Rocha sã
Propriedades físico-mecânicas		Rocha muito coerente
Tipo de rocha		Metamórfica
Classificação petrográfica		Quartzo xisto
Reatividade potencial		Potencialmente reativa

Quadro 1 – Síntese das características petrográficas.

Fonte: Dados produzidos pelo o autor (2020).

A rocha é constituída principalmente por quartzo e feldspato dispostos em uma textura granolepidoblástica xistosa, podendo-se classificar a rocha como um quartzo de xisto. Por meio do estudo petrográfico a amostra foi considerada potencialmente reativa com relação a sua reatividade frente ao álcalis do concreto. A reatividade da amostra está relacionada à presença de quartzo microgranular em teores de 15% constituintes totais da amostra.

### 5.2 Método Acelerado de Barras de Argamassa

Os ensaios acelerados em barras de argamassa foram realizados com agregado potencialmente reativo. Os ensaios de reatividade foram realizados até a idade de 28 dias, como especifica a norma.

A Tabela 2 apresenta os resultados dos ensaios realizados utilizando o cimento CP IV RS - 32, CP II E 40, CP II F 32 e CP V + metacaulim destacando-se os valores aos 28 dias de cura em solução de NaOH 1N a 80°C.

Os ensaios acelerados indicaram a maior tendência à reação na amostra CP II

40, possuindo expansões elevadas nas primeiras idades, sendo aos 14 dias facilmente caracterizados como potencialmente reativo o cimento CP II. Os cimentos CP II F32 E CPV + Metacaulim confirmaram sua reatividade aos 19 e 21 dias. O cimento CP IV apresentou-se dentro do índice sendo considerado não reativo.

Idade de Cura agressiva	Variações dimensionais (cimento CP IV – RS -32)	Variações dimensionais (cimento CP II E - 40)	Variações dimensionais (cimento CP II F 32 )	Variações dimensionais (CP V – RS + 8% METACAULIM)
(dias) <sup>(*)</sup>	médias (%)	médias (%)	médias (%)	médias (%)
1	-	-	-	-
2	0,02	0,02	0,01	0,01
3	-	-	-	-
4	-	-	-	-
5	0,04	0,07	0,03	0,03
6	-	-	-	-
7	0,05	0,1	0,05	0,04
8	-	-	-	-
9	0,07	0,12	0,08	0,08
10	-	-	-	-
11	-	-	-	-
12	0,09	0,16	0,11	0,09
13	-	-	-	-
14	0,1	0,19	0,13	0,11
15	-	-	-	-
16	0,11	0,22	0,15	0,14
17	-	-	-	-
18	-	-	-	-
19	0,14	0,25	0,18	0,16
20	-	-	-	-

21	0,16	0,27	0,2	0,17
22	-	-	-	-
23	0,17	0,3	0,21	0,2
24	-	-	-	-
25	-	-	-	-
26	0,17	0,33	0,23	0,22
27	-	-	-	-
28	0,17	0,35	0,25	0,24

TABELA 2 - Variação dimensional das barras de argamassa em solução alcalina de todos os tipos de cimento utilizados para esse estudo.

Fonte: Dados produzidos pelo o autor (2020).

A Figura 6 ilustra a evolução das expansões médias das barras de argamassa com o tempo de cura.

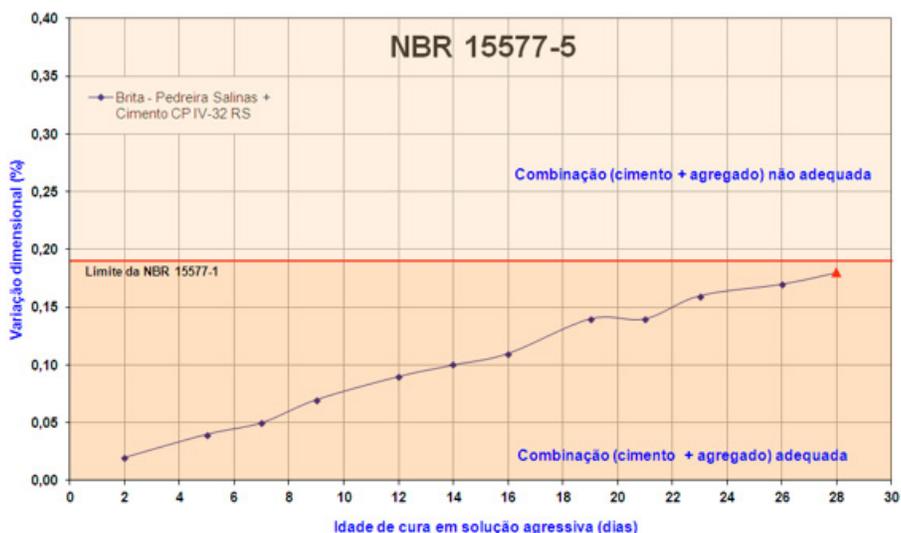


Figura 6 - Evolução das expansões médias das barras de argamassa com o tempo de cura.

Fonte: Dados produzidos pelo o autor (2020).

Em estudo realizado por TIECHER (2006), concluiu-se que o CP IV, ou cimento Pozolânico, gerou menores expansões comparando-se com os outros tipos de cimento, então recomenda-se que na execução de grandes obras sujeitas a reação álcali-agregado seja utilizado o CP IV.

A Figura 7 ilustra a evolução das expansões médias das barras de argamassa com o tempo de cura.

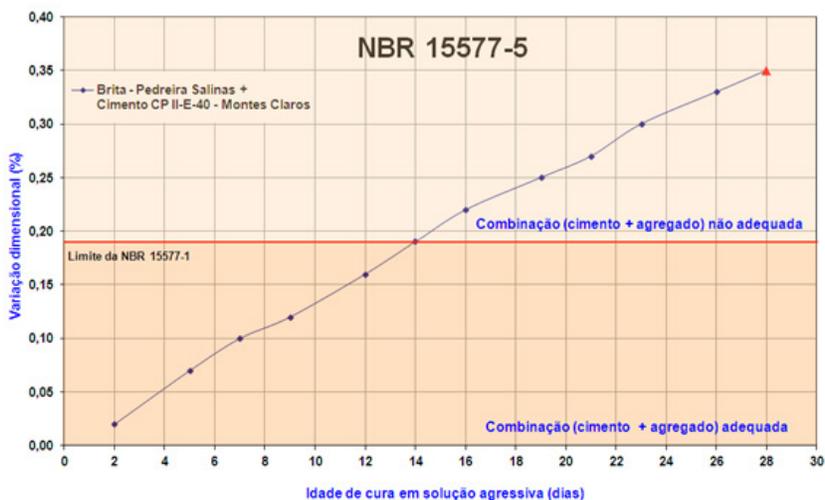


Figura 7 - Evolução das expansões médias das barras de argamassa com o tempo de cura.

Fonte: Dados produzidos pelo o autor (2020).

A Figura 8 apresenta os resultados dos ensaios realizados utilizando o cimento CP II F 32 destacando-se os valores aos 28 dias de cura em solução de NaOH 1N a 80°C.

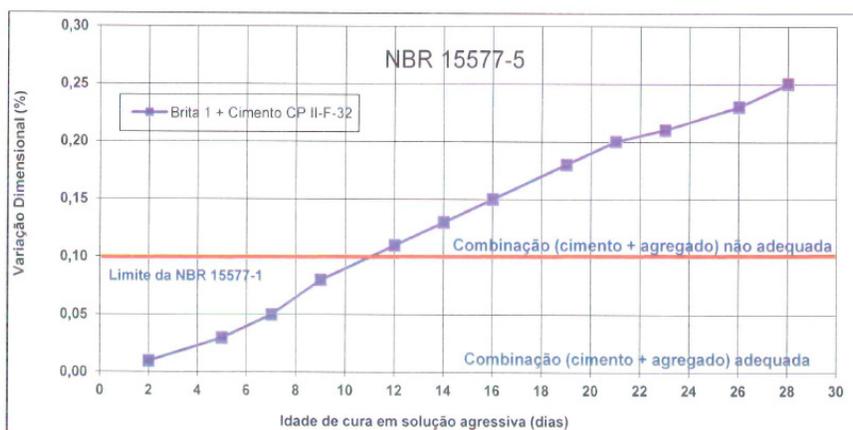


Figura 8 - Evolução das expansões médias das barras de argamassa com o tempo de cura.

Fonte: Dados produzidos pelo o autor (2020).

O agregado quando combinado com o cimento CP II-F-32 apresentou valor de

expansão superior de 10% aos 14 dias de cura em solução alcalina, indicando que a combinação especificadamente ensaiada não é adequada, o agregado é reativo e esse tipo de cimento não conseguiu inibi-lo.

A Figura 9 ilustra a evolução das expansões médias das barras de argamassa com o tempo de cura.

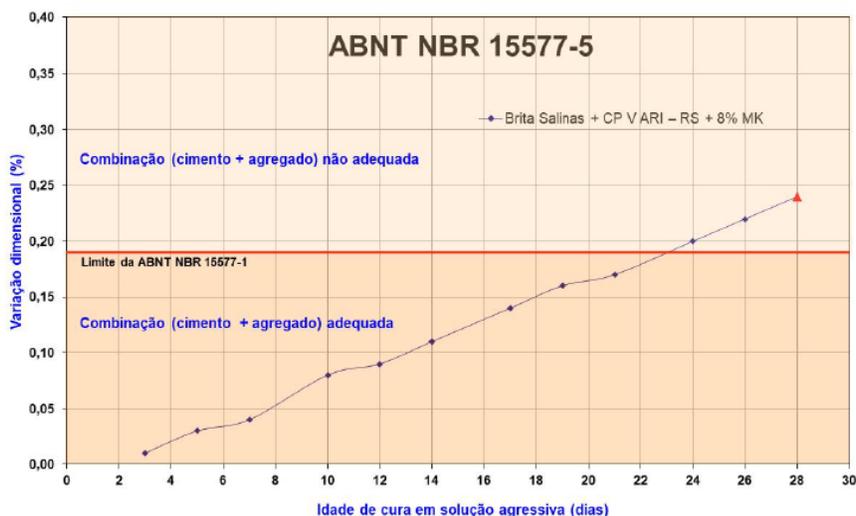


Figura 9 - Evolução das expansões médias das barras de argamassa com o tempo de cura.

Fonte: Dados produzidos pelo o autor (2020).

Com relação à avaliação da mitigação da reação álcali-agregado pelo método acelerado ABNT NBR 15577-5, a parte 1 da norma estabelece que a comprovação da mitigação da reação é obtida quando a expansão for menor que 0,19% aos 30 dias (28 dias de cura em solução alcalina).

A amostra de brita (Salinas) quando combinada com o cimento (CP V ARI - RS adicionado 8% de metacaulim), apresentou valor de expansão superior a 0,19% aos 28 dias de cura em solução alcalina, indicando que a combinação especificadamente ensaiada não é adequada, o agregado é potencialmente reativo e o cimento não inibiu a expansão devido à reação álcali-agregado nos níveis requeridos.

A grande presença de gel característico da RAA no CPV-ARI está de acordo com os resultados apresentados por este no ensaio acelerado das barras de argamassa, em que foi o cimento que mais apresentou expansão, e o único em que a reação foi classificada como deletéria.

Nem sempre é possível limitar os álcalis totais, principalmente em concreto mistura com alto teor de cimento. Nesse caso, a influência dos álcalis agressivos pode ser mitigada pelo uso de adições minerais, como escória granulada de alto-forno moída, cinzas volantes,

sílica ativa ou metacaulim. Esses materiais reduzem e imobilizam os álcalis o suficiente para prevenir ou controlar o RAA. Essa prática foi aceita em todo o mundo e contribuiu também para a melhoria ambiental. No entanto, as próprias adições minerais podem contribuir com alguns álcalis à mistura. A vantagem das adições minerais é que elas têm um conteúdo alcalino ativo consideravelmente menor do que o cimento Portland, uma vez que seus álcalis geralmente estão amarrados em suas fases vítreas e são liberados a uma taxa muito mais lenta do que o cimento Portland. Os mecanismos pelos quais as adições minerais suprimem a expansão da RAA envolvem complexidade alcalis para reduzir as concentrações de íons hidroxila e alterar as taxas de difusão de álcalis e cálcio nos locais de reação, resultando na formação de produtos de reação não expansivos inofensivos.

Existem dois tipos de cinzas volantes, Classe F e Classe C (ASTM C618, 2017), distinguidas por seu teor de cal (CaO), com cinzas de Classe C com maior teor de cal, geralmente excedendo 10% ou até 20%. Para fins de prevenção do RAA expansivo, a proporção mínima permitida de  $\text{SiO}_2 \cdot 1\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 1\text{Fe}_2\text{O}_3$  para cinzas da classe F é de 70% e para cinzas da classe C é de 50%. Um requisito adicional para cinzas volantes é um limite máximo de 1,5% para os álcalis disponíveis, conforme determinado.

## CONCLUSÃO

A maneira óbvia de impedir a RAA é evitar o uso de agregados reativos a álcalis. Muitos tipos de rochas que ocorrem naturalmente são potencialmente reativos. Isso enfatiza a importância de testar fontes de agregados novas ou não testadas para RAA antes de serem usadas no concreto. No entanto, há ocasiões em que não é possível evitar um agregado reativo a álcalis. Nesses casos, a mistura com um agregado não reativo pode reduzir o problema. Outra medida é excluir os constituintes suscetíveis de RAA por beneficiamento (extração e trituração seletivas, separação de meios pesados, etc.). Como alternativa, deve-se prestar atenção à redução ou minimização dos álcalis na mistura ou modificação do ambiente para eliminar a umidade

Os resultados estão, em geral, de acordo com a bibliografia, que apresenta o CPV-ARI como pouco resistente à RAA, o CPIV-RS como bom inibidor, bom desempenho em contato com a reação álcali-agregado. Índícios da RAA, como a presença de gel, também são observados por diversos autores, mesmo para cimentos que não sofrem com a reação. O desempenho ruim do CPV-ARI, mesmo sendo o cimento com menor equivalente alcalino entre os avaliados, pode ser justificado por sua elevada pureza e ausência de adições capazes de controlar o desenvolvimento da reação álcali-agregado. De forma análoga, o bom desempenho do CPIV-RS tem como justificativa seu teor de até 50% de adição de material pozolânico, que promove reações capazes de inibir a RAA no cimento Portland. Desta forma, conclui-se que, além do equivalente alcalino, a presença de adições também tem uma grande influência na reação álcali-agregado no cimento Portland.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15577-1, agregados – Reatividade álcali-agregado – Parte 1: Guia para avaliação da reatividade potencial e medidas preventivas para uso de agregados em concreto, 2008.

ABNT NBR 15577-1/18 Agregados - Reatividade álcali-agregado - Parte 1: Guia para avaliação da reatividade potencial e medidas preventivas para uso de agregados em concreto

ABNT NBR 15577-4/18 Agregados - Reatividade álcali-agregado - Parte 4: Determinação da expansão em barras de argamassa pelo método acelerado

ABNT NBR 16372/15 Cimento Portland - Determinação da finura pelo método de permeabilidade ao ar (Método de Blaine)

ABNT NBR 16697/18 Cimento Portland – Requisitos

ABNT NBR NM 17/12 Cimento Portland - Análise química - Método de arbitragem para a determinação de óxido de sódio e óxido de potássio por fotometria de chama.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15577-1, agregados – Reatividade álcali-agregado – Parte 1: Guia para avaliação da reatividade potencial e medidas preventivas para uso de agregados em concreto, 2008.

BATTAGIN, A.; SILVEIRA, A.L.; MUNHOZ, F.; BATTAGIN, I. Associação Brasileira de Cimento Portland. A evolução da cultura da prevenção da reação álcali-agregado no mercado nacional. In: Concreto e construções. Ano 44. Ed. Ibracon, Jul-Set 2016.

BHATTY, M. S. Y.. Mechanism of pozzolanic reactions and control of alkali-aggregate expansion. Cement, Concrete and Aggregates, West Conshohocken, v.7, n.2, 1985.

CARASEK, H.; CASCUDO, O.; CAETANO, G. Contribuição à previsão de danos para estruturas de concreto atacadas pela reação álcali-silica. In: Concreto e construções. Ano 44. Ed. Ibracon, Jul-Set 2016.

CHATTERJI, S.; THAULOW, N.. Studies on alkali-silica reaction. Cement and Concrete Research, West Conshohocken, 1989.

DAHER, C. H. S. Avaliação do grau de influência de parâmetros de contorno no ensaio de reatividade potencial álcali-agregado pelo método acelerado. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

DIAMOND, S.. Alkali Silica Reactions: Some Paradoxes. Cement and Concrete Composites, Amsterdã, v.19, 1997.

DUCHESNE, J.; BÉRUBÉ, M. A.. The effectiveness of supplementary cementing materials in suppressing expansion due to ASR: another look at the reaction mechanism: pore solution chemistry. Cement and Concrete Research, West Conshohocken, v.24, n.2, 1994.

- DUCHESNE, J.; BÉRUBÉ, M.A.. The effectiveness of supplementary cementing materials in suppressing expansion due to ASR: another look at the reaction mechanism: concrete expansion and portlandite depletion. *Cement and Concrete Research*, West Conshohocken v.24, n.1, 1994.
- FUSCO, P.B.. *Estruturas de Concreto*. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, v.1, 1976.
- GLASSER, L. S. D.; KATAOKA, N.. The chemistry of alkali-aggregate reaction. *Cement and Concrete Research*, West Conshohocken, v.11, 1981.
- HASPARYK, N. P.. Investigação de concretos afetados pela reação álcali-agregado e caracterização avançada do gel exsudado. Tese (Doutorado em
- FRAGA, Y. S. B.; SILVA, C. M. M. A.. Efeitos de adições minerais para mitigação de reações álcali-agregado no concreto: estado da arte. *Engineering Sciences*, v.5, n.1, p.1-13, 2017.
- HELENE, P.. *Manual de Reparo, Proteção e Reforço de Estruturas de Concreto*. São Paulo: Editora Rehabilitar, 2005. HELENE, P.. *Manutenção para Reparo, Reforço e Proteção de Estruturas de Concreto*. 2 ed. São Paulo: Pini, 1992.
- HOBBS, D. W.. *Alkali-silica reaction in concrete*. London: 1988.
- DOLAR-MANTUANI, L. M. M. Undulatory extinction in quartz used for identifying alkali aggregate reactive rocks. In: OBERHOLSTER, R. E. (Ed.). **Proceedings of the 5. International Conference on Alkali Reaction in Concrete**. Cape Town: [s.n.], 1981. p. 252.
- MIZUMOTO, Camilo. **Investigação da reação álcali-agregado (RAA) em testemunhos de concreto e agregados constituintes**. 2009. 162 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, 2009. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/91463>>.
- MEHTA, P. K.. *Concreto Sustentável*. Revista Técnica. São Paulo: 2008.
- PREZZI, M.. *Analysis of the Mechanism of Concrete Deterioration*. Berkeley: University of California, 1995.
- POOLE, A.B. Introduction to alkali-aggregate reaction in concrete. In: SWAMY, R. M. (Ed.). **The Alkali-aggregate reaction in concrete**. New York: Taylor & Francis Elibrary, 2003. p. 1-29.
- RAMACHANDRAN, V. S.. Alkali-aggregate expansion inhibiting admixtures. *Cement and Concrete Composites*, Amsterdã, v.20, n.3, 1998.
- SANCHEZ, L., KUPERMAN, S., HELENE, P. Reação álcali-agregado – Método Acelerado Brasileiro de Prismas de Concreto (ABCPT). Anais de 50º Congresso Brasileiro do Concreto – CBC2008 – 50CBC0223, 2008.
- SILVEIRA, A. A.. Contribuição ao estudo do efeito da incorporação de cinza de casca de arroz em concretos. Efeitos de adições minerais para mitigação de reação álcali-agregado. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

TIECHER, Francieli. Reação álcali-agregado: avaliação do comportamento de agregados do sul do Brasil quando se altera o cimento utilizado. UFRGS, Porto Alegre, 2006.

VIVIAN, H. E.. The process of alkali-aggregate reaction. Proceedings. Alkali in Cement and Concrete. London: 1983. WANG, H.; GILLOTT, J. E.. Mechanism of alkali-silica reaction and the significance of calcium hydroxide. Cement and Concrete Research, West Conshohocken, v.21, 1991.

## **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