

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

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

## Coleção desafios das engenharias: engenharia civil

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

### Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

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

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5983-302-3

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

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

CDD 624

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

**Atena Editora**  
Ponta Grossa – Paraná – Brasil  
Telefone: +55 (42) 3323-5493  
[www.arenaeditora.com.br](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>

## RESÍDUO DESCARTADO PELA SIDERÚRGICA DE CORUMBÁ-MS COMO POTENCIAL PARA REAPROVEITAMENTO NA CONSTRUÇÃO CIVIL

*Data de aceite: 01/07/2021*

*Data de submissão: 31/05/2021*

### **Manoela da Silva Carvalho**

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso do Sul  
Corumbá – MS  
<http://lattes.cnpq.br/3360364132361836>

### **Fábio Kroll de Lima**

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso do Sul  
Corumbá – MS  
<http://lattes.cnpq.br/2293793694188278>

### **Felipe Fernandes de Oliveira**

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso do Sul  
Corumbá – MS  
<http://lattes.cnpq.br/3778328119841747>

### **Robson Fleming Ribeiro**

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso do Sul  
Corumbá – MS  
<http://lattes.cnpq.br/9156337138911399>

**RESUMO:** A geração de resíduos industriais constitui um dos problemas ambientais graves, com o qual o setor siderúrgico tem se deparado nos últimos tempos. A disposição desses materiais em locais improvisados apresenta potenciais riscos ao meio ambiente e também as industriais. Um dos resíduos gerados pelo setor siderúrgico é o pó de balão, captado pelo sistema

de limpeza de gases a seco, denominado balão gravitacional. A possibilidade de incorporação em massa cerâmica é uma alternativa viável, considerando que o setor da construção civil é responsável pelo consumo de mais de um terço dos recursos do planeta, assim torna-se essencial para o país a busca por pesquisas em materiais de construção mais sustentáveis. Sendo assim, o presente trabalho tem como objetivo a produção de uma argamassa convencional típica para chapisco, com substituição parcial do agregado miúdo (areia) pelo resíduo do alto forno (pó de balão). Para tanto, foram realizadas análises para obtenção das propriedades físicas e mecânicas, composição mineralógica, por meio da técnica de difração de raios X (DRX) e análise térmica, com objetivo de avaliar mudanças de massa e diferenças de fluxo de calor nas argamassas. Ao todo foram preparadas para análise 125 amostras de argamassas, para referência e para as formulações com as substituições parciais da areia pelo resíduo em 4 proporções diferentes, são elas 5, 10, 15 e 20% de pó de balão em massa. Os ensaios se deram no tempo de cura de 7, 14, 21 e 28 dias, com objetivo de acompanhar as reações de hidratação das argamassas. Por meio dessas análises foi constatado que a argamassa com 5% de rejeito apresentou o melhor resultado em todos os ensaios submetidos, sendo possível agregar valor ao pó de balão e reduzir o impacto ambiental gerado pela Siderurgia.

**PALAVRAS-CHAVE:** Pó de balão, resíduos da siderurgia, argamassa ecológica, materiais de construção civil.

## WASTE DISCARDED BY STEEL INDUSTRY OF CORUMBÁ-MS AS POTENCIAL FOR REUSE IN CIVIL CONSTRUCTION

**ABSTRACT:** The generation of industrial residues is one of the serious environmental problems that the steel sector has been facing in recent times. And the disposal of these materials in improvised locations presents potential risks to the environment as well as the industrial ones. One of the residues generated by the steel sector is the balloon powder, captured by the dry gas cleaning system, called gravitational balloon. Its incorporation in ceramic mass is one of the most viable alternatives, considering that the civil construction sector is responsible for the consumption of more than one third of the planet's resources, thus becoming essential for the country the search for research in more sustainable construction materials. Thus, this paper aims to produce a typical conventional mortar for roughcast with partial replacement of fine aggregate (sand) by the blast furnace waste (balloon powder). For this, analyses were performed to obtain physical and mechanical properties, chemical properties, by X-ray diffraction technique and thermal analysis, in order to evaluate mass changes and heat flow differences in the mortars. A total of 125 mortar samples were prepared for analysis, for reference and for the samples with the partial substitution of sand by waste in 4 different proportions, namely 5, 10, 15 and 20% of balloon powder by mass. The tests were performed at curing times of 7, 14, 21 and 28 days, with the objective of monitoring the hydration reactions of the mortars. Through these analyses it was found that the mortar with 5% of tailings presented the best result in all the tests submitted, thus it is possible to add value to the balloon powder and reduce the environmental impact generated by the steel industry.

**KEYWORDS:** Balloon dust, steel mill waste, ecological mortar, construction materials.

### 1 | INTRODUÇÃO

A indústria siderúrgica gera uma grande quantidade de resíduos, dentre eles, resíduos sólidos, líquidos e emissões gasosas que poluem o meio ambiente em várias etapas do processo produtivo industrial. Para cada tonelada de aço produzido, são gerados aproximadamente 607 kg de diferentes tipos de resíduos, como escória, pó, lodo e incrustações. Dependendo do tipo de resíduo, pode ser utilizado como matéria-prima para a produção de energia ou aço, ou como subproduto de outras atividades industriais e devolvido ao processo industrial (VIEIRA, 2007). Um desses resíduos produzidos pela indústria de aço é o pó de balão, que é captado por um sistema de limpeza a gás a seco (sistema de despoeiramento de alto-forno) denominado balão gravitacional. O pó do balão é formado por óxidos de ferro  $\text{FeO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  e  $\text{Fe}_2\text{O}_4$ , com as respectivas fases cristalinas wustita, hematita e magnetita. Porém essa composição química pode variar de acordo com as matérias-primas utilizadas no alto-forno (DIAS, 2011). Atualmente, na região de Corumbá-MS, são produzidas 370 mil toneladas de ferro-gusa e 7,2 mil toneladas de pó de balão por ano. Este resíduo não apresenta finalidade útil e, depois de recolhido no sistema de tratamento de gases do alto-forno, é recolhido em caçambas, transportado para o pátio da empresa e posteriormente empilhado ao ar livre (MALARD, 2009). Segundo Oliveira

(2003), ao estudar o pó de balão, considerando a NBR para amostra bruta, foi constatado que o pó de balão é classificado como resíduo perigoso “Classe I”. Portanto, extremo cuidado deve ser tomado ao armazenar, manusear e transportar resíduos.

Segundo a ABNT NBR 13281: 2005 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015b), a argamassa é um material com propriedades aderentes e de endurecimento, que pode ser obtido pela mistura de um ou mais ligantes com ou sem aditivos, agregados e água. Sabe-se que, é um item básico na construção civil, pois além de conferir impermeabilidade e estabilidade à edificação, existe de fato em todas as fases da construção. Com base nisso, na produção de argamassas, pesquisadores têm buscado métodos alternativos para reduzir o uso de recursos naturais e substituí-los por resíduos da indústria siderúrgica.

A argamassa produzida neste trabalho é a de chapisco, responsável pela camada de preparação da base, que é composta por uma mistura de cimento, areia e aditivos, aplicada de forma contínua ou descontínua, com o objetivo de uniformizar a superfície quanto à absorção e melhorar a aderência do revestimento (SZLAK, 2013).

O reaproveitamento de resíduos gerados pela indústria siderúrgica pode reduzir o impacto ambiental das indústrias civil e siderúrgica. A preocupação com o meio ambiente, aliada ao fato de o setor da construção civil consumir mais de um terço dos recursos do planeta, esse fato é um ponto fundamental para o país promova pesquisas em materiais de construção mais sustentáveis (OLIVEIRA, 2003).

Portanto, o presente trabalho tem como objetivo a produção de uma argamassa convencional típica para chapisco, com substituição parcial do agregado miúdo (areia) pelo resíduo do alto forno (pó de balão). Para tanto, foram realizadas análises para obtenção das propriedades físicas e mecânicas por meio de ensaios de densidade, absorção de água, porosidade aparente e ensaios mecânicos, foi feito também um estudo das reações químicas, pela técnica de difração de raios X, com objetivo de identificar as fases presentes no material (análise qualitativa). Além de uma análise térmica, com objetivo de avaliar mudanças de massa e diferenças de fluxo de calor nas argamassas. Dessa forma, esse estudo poderá contribuir tanto para um melhor entendimento das reações de hidratação como também para obtenção de um novo material com potencial para aplicação na construção civil.

## **2 | MATERIAIS E MÉTODOS**

### **2.1 Matéria-prima**

Para a realização do trabalho foram utilizadas as seguintes matérias-primas: cimento, areia e resíduo siderúrgico pó de balão. O material aglomerante utilizado na pesquisa foi o cimento Portland CP II-E 32, produzido pela indústria Votorantim situada em Corumbá MS. A areia média foi empregada como agregado miúdo proveniente da cidade de Corumbá-

MS, sendo seca em estufa para a retirada da umidade auxiliando no controle da relação água/cimento. O rejeito industrial pó de balão foi empregado, sendo um resíduo sólido do processo de obtenção do ferro-gusa da indústria Metalúrgica. O pó de balão foi fornecido pela empresa Vetorial Siderurgia, localizada na região de Corumbá-MS.

## 2.2 Caracterização das matérias-primas

A determinação granulométrica do agregado miúdo e do rejeito siderúrgico pó de balão foi realizado de acordo com a NBR NM 248 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003), a norma prescreve o método para determinação da composição granulométrica de agregados miúdos e graúdos. Essa análise visa obter propriedades físicas dos materiais como módulo de finura e diâmetro máximo dos grãos. Os dados do agregado miúdo (areia) e do resíduo siderúrgico (pó de balão) estão apresentados respectivamente nas Tabelas 1 e 2.

Abertura da peneira (mm)	Massa retida (g)	Retido individual (%)	Retido acumulado (%)
4,750	0,0	0,0	0,0
2,360	0,0	0,0	0,0
1,180	0,0	0,0	0,0
0,600	19,0	3,79	3,79
0,300	157,5	31,41	35,20
0,150	288,1	57,46	92,66
0,075	35,0	6,98	99,64
<b>Fundo</b>	1,8	0,36	100,00
<b>Módulo de finura</b>	2,31		
<b>Diâmetro máximo (mm)</b>	0,60		

Abertura da peneira (mm)	Massa retida (g)	Retido individual (%)	Retido acumulado (%)
4,750	0,00	0,00	0,00
2,360	2,80	0,93	0,93
1,180	9,80	3,27	4,20
0,600	23,30	7,77	11,97
0,300	52,20	17,42	29,39
0,150	77,70	25,93	55,32
0,075	84,70	28,26	83,58
<b>Fundo</b>	49,20	16,42	100,00
<b>Módulo de finura</b>	1,85		
<b>Diâmetro máximo (mm)</b>	1,18		

Tabela 1. Granulometria da areia.

Tabela 2. Granulometria do resíduo pó de balão.

Para determinar a composição química das matérias primas foi realizada análise qualitativa por Energia dispersiva de raios X (EDX). O equipamento utilizado foi o Espectrômetro de Fluorescência de Raios X, modelo EDX-720, da marca Shimadzu. As composições químicas obtidas podem ser verificadas na Tabela 3.

Óxidos (%)	Areia	Cimento CP II E	Pó de balão
SiO <sub>2</sub>	92,538	18,947	11,716
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	-	6,202
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,951	5,074	73,453
CaO	0,612	69,953	3,302
K <sub>2</sub> O	1,255	1,489	1,553
MnO	0,019	0,420	0,137
TiO <sub>2</sub>	1,459	0,400	-
SO <sub>3</sub>	1,408	3,291	2,080
SrO	0,005	0,327	0,085
ZnO	0,011	0,049	0,057
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	-	-	1,339
ZrO <sub>2</sub>	0,515	0,031	0,044
PdO	-	0,003	0,032
Cs <sub>2</sub> O	0,134	-	-
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,051	-	-
Ag <sub>2</sub> O	0,037	-	-
Rb <sub>2</sub> O	0,005	-	-

Tabela 3. Composição química das matérias-primas utilizadas para a confecção dos corpos de prova de argamassa.

### 2.3 Formulação dos traços e moldagem dos corpos de prova

Foi realizado um traço referência para a argamassa na proporção cimento e areia de 1:3, conforme os requisitos da norma ABNT NBR 13281:2005 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015b). Em seguida foram realizados 4 diferentes traços com substituição da areia pelo resíduo pó de balão, com substituição de 5, 10, 15 e 20%, conforme pode ser verificado na Figura 1. Todas as misturas foram realizadas em uma argamassadeira de 5L. No total foram moldados 125 corpos de prova, sendo 25 para cada traço, todos de acordo com a ABNT NBR 5738 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015a). O diâmetro e altura dos CPs correspondem a 50 mm e 100 mm, respectivamente. A cura ocorreu submersa em água saturada com cal hidratada para melhor controle da temperatura.

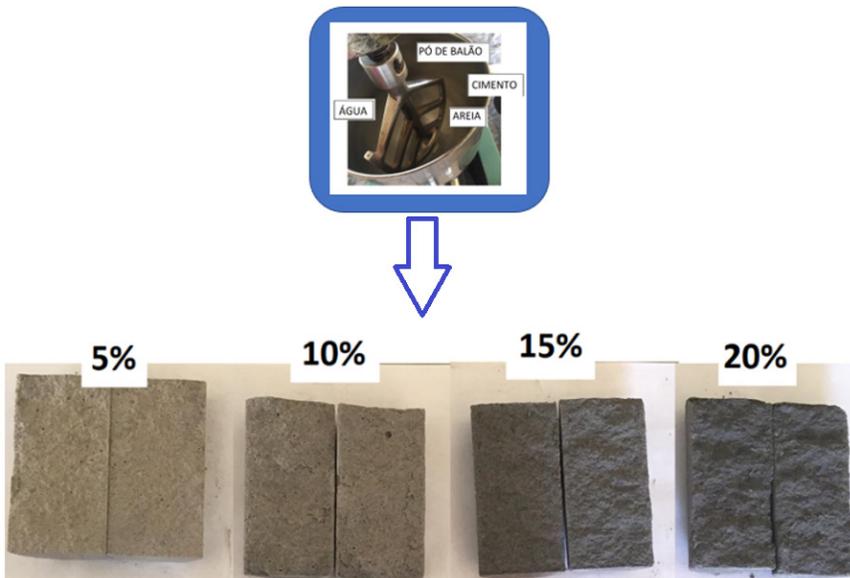


Figura 1. Amostras das argamassas com pó de balão.

## 2.4 Ensaio de absorção de água e porosidade aparente

Os corpos de prova separados para o ensaio de absorção de água permaneceram em um recipiente com solução saturada de água com cal por um período de 28 dias para a cura da argamassa. Após esse período, os CPs foram retirados da água com cal e foi retirado o excesso de água com auxílio de um pano e logo em seguida foi realizado a pesagem para determinação da massa úmida. Em seguida, os CPs foram levados para estufa com temperatura de 100 °C até constância de massa (durante 48h), após isso foi determinada a massa seca. Todas as pesagens foram realizadas em balança analítica. O ensaio seguiu a norma ABNT NBR NM 30 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2001). Para a obtenção dos valores foi utilizado a equação (1).

$$A (\%) = \frac{Mu - Ms}{Ms} \cdot 100 \quad (1)$$

Onde A, é a absorção de água em porcentagem, Mu é a massa úmida e Ms é a massa seca do corpo de prova.

Para o cálculo da porosidade aparente foi utilizado o princípio de Arquimedes, de deslocamento de um fluido por um corpo imerso para se determinar a massa imersa. Para obtenção da porosidade aparente em porcentagem (Pap) de cada traço aos 28 dias de cura foi necessária a determinação da massa seca (Ms), da massa úmida (Mu) e da massa imersa (Mi) e assim aplicar esses dados na equação (2).

$$Pap (\%) = \frac{Mu - Ms}{Mu - Mi} \cdot 100 \quad (2)$$

## 2.5 Ensaio mecânico – Compressão axial e compressão diametral

Os ensaios foram realizados em uma Máquina Universal de Ensaios Mecânicos da marca Emic. A norma utilizada no ensaio de compressão axial foi ABNT NBR 7215 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2019) e no ensaio de compressão diametral a norma ABNT NBR 7222 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2011). Para garantir a confiabilidade dos valores nos ensaios, foram confeccionados 5 CPs para cada traço nas idades de 7, 14, 21 e 28 dias de cura destinados ao ensaio de compressão axial, e outros 5 CPs para cada traço na idade de 28 dias de cura para a realização do ensaio de compressão diametral.

## 2.6 Difração de raios X (DRX)

Para a determinação das fases cristalinas presentes na referência e amostras com as diferentes porcentagens de substituição utilizou-se a técnica de difração de raios X (DRX), por meio de um difratômetro da marca Shimadzu, modelo XRD 6100. Foi empregado o método pó, com material passante em peneira mesh 100. A varredura foi realizada com taxa de  $2^\circ/\text{min}$  com a faixa de ângulo variando entre  $10\text{-}80^\circ$ . Nas Figuras 2 (a) e 2 (b) podem ser observados os difratogramas do resíduo pó de balão e do cimento Portland, respectivamente. A análise das fases presentes pode ser observada por meio das Tabelas 4 e 5, com a apresentação dos compostos cristalinos das respectivas matérias-primas empregadas.

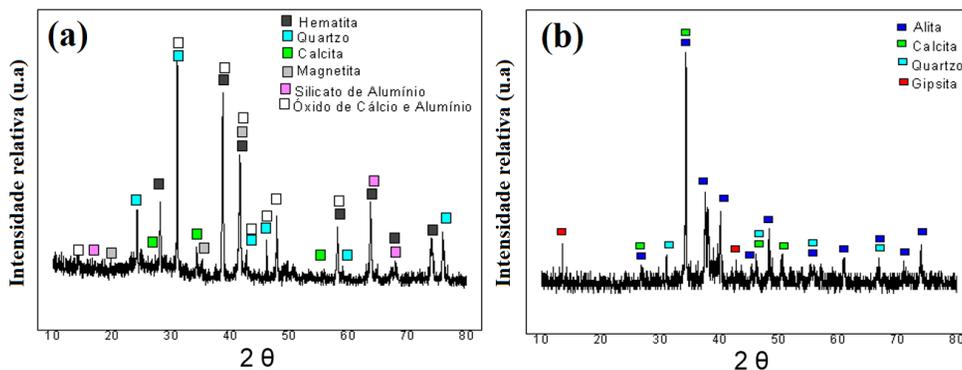


Figura 2. Difratogramas do (a) resíduo pó de balão e (b) do cimento Portland CP II E 32.

<b>Composto químico</b>	Óxido de ferro	Óxido de silício	Carbonato de cálcio	Óxido de ferro	Óxido de cálcio e alumínio	Silicato de alumínio
<b>Fórmula química</b>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	CaCO <sub>3</sub>	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	Ca <sub>3</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	Al <sub>2</sub> SiO <sub>5</sub>
<b>Mineral</b>	Hematita	Quartzo	Calcita	Magnetita	-	Sillimanite
<b>Ficha de referência</b>	033-0664	033-1161	005-0586	01-075-0033	032-0150	038-0471

Tabela 4. Compostos identificados no resíduo pó de balão.

<b>Composto químico</b>	Silicato de cálcio	Carbonato de cálcio	Óxido de silício	Sulfato de cálcio hidratado
<b>Fórmula química</b>	Ca <sub>3</sub> SiO <sub>5</sub>	CaCO <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	CaSO <sub>4</sub> .2H <sub>2</sub> O
<b>Mineral</b>	Alita	Calcita	Quartzo	Gipsita
<b>Ficha de referência</b>	042-0551	005-0586	033-1161	033-0311

Tabela 5. Compostos identificados no cimento Portland CP II E 32.

## 2.7 Análise térmica (TG e DSC)

As análises Termogravimétricas (TG) e Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC) foram obtidas utilizando um equipamento da marca Netzsch, modelo STA 449 F1 Jupiter. As amostras de argamassas foram colocadas em cadinhos de alumina, com as massas variando entre 15 e 20 mg. Foi utilizado a taxa de aquecimento de 20 °C/min a partir da temperatura de 30 °C até 1000 °C em atmosfera com fluxo de ar sintético.

## 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 2 apresenta os resultados da densidade dos corpos de prova de argamassa com 5, 10, 15 e 20% de substituição, e nas idades de cura de 7, 14, 21 e 28 dias. Pode-se observar que todas as amostras com pó de balão na composição apresentaram redução da densidade. Isso se deve a grande quantidade de cinzas presente no resíduo que ocupam um volume considerável na argamassa. O traço que apresentou a menor densidade foi com 20% de substituição. Importante ressaltar, que argamassas com baixas densidades são muito almejadas pelo setor da construção civil na produção de revestimento para prédios e lajes, pois ocasiona menor aplicação de carga na estrutura a ser construída, permitindo em sua construção uma peça estrutural com menores dimensões.

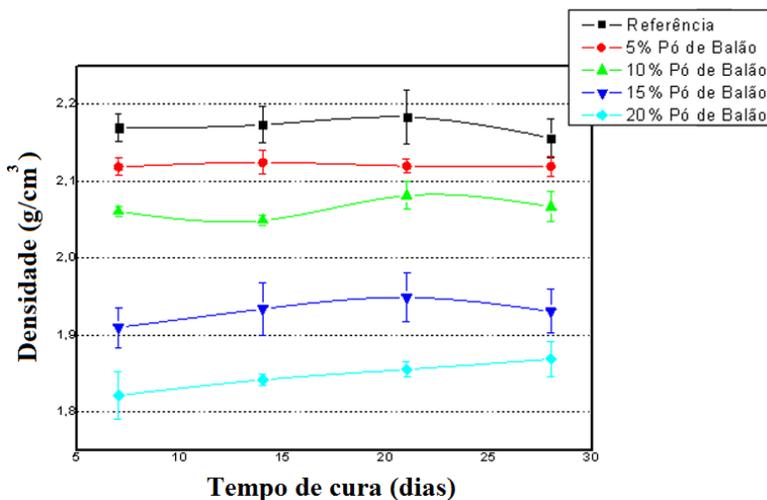


Figura 2. Densidade dos corpos de prova.

Analisando os resultados dos ensaios de absorção de água e porosidade, mostrados na Figura 3, pode ser observado que conforme aumenta a porcentagem de substituição da areia pelo resíduo ocorre um aumento nas porcentagens nos dois ensaios, com exceção a amostra com 5% de pó de balão. Verifica-se também a coerência no aumento da absorção de água conforme o aumento dos poros na argamassa. Os traços com 10% e 15% de resíduo apresentaram valores semelhantes aos da referência. Esse resultado é positivo considerando que, em uma argamassa, quanto menor for a absorção de água, maior é a prevenção de infiltrações em paredes, vigas, pilares e lajes.

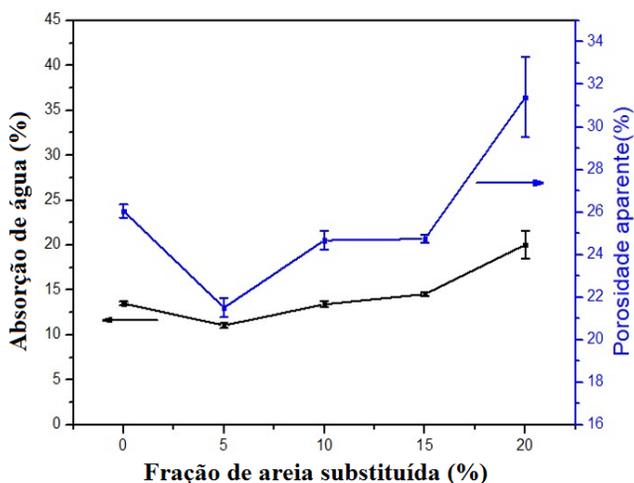


Figura 3. Absorção de água e porosidade das argamassas aos 28 dias de cura.

Os efeitos da adição do resíduo siderúrgico na resistência das argamassas foram avaliados por meio do ensaio de resistência à compressão axial. Os valores são encontrados na Figura 4 (a). Observou-se um crescimento dos valores de resistência mecânica das amostras ao longo das idades. Esse aumento já era esperado devido as reações de hidratação dos componentes do cimento. O traço que apresentou melhor resultado foi o de 5% de substituição, que com a margem de erro se equipara a referência. A resistência média encontrada nesse traço com 28 dias de cura, foi de 15,12 MPa, valor 1,00 MPa menor que a referência, porém essa diferença não é significativa considerando a margem de erro.

As amostras com 10 % e 15 % de pó de balão, alcançaram nos tempos de cura de 28 dias valores próximos, sendo 11,68 MPa e 10,73 MPa, respectivamente. Esses valores não se distanciam muito do traço de 5% de substituição. Por outro lado, as amostras com 20% de pó de balão apresentaram redução mais significativa na resistência à compressão axial, chegando a alcançar 5,87 MPa de resistência média.

A Figura 4 (b) apresenta os resultados de resistência à compressão diametral de todos os traços na idade de 28 dias de cura. Os traços com 5% e 10% de substituição apresentaram valores semelhantes e considerando a margem de erros, esses traços se igualaram a referência. Nas amostras com 15% e 20% observou-se uma redução na resistência, porém elas se equiparam ao traço de 5% quando considerado a margem de erro.

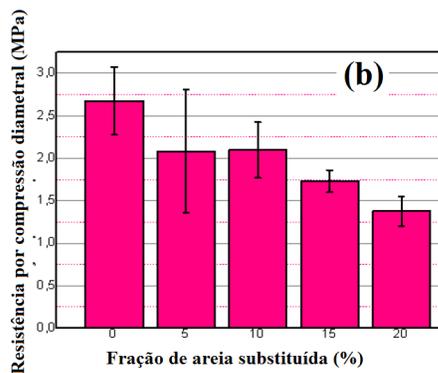
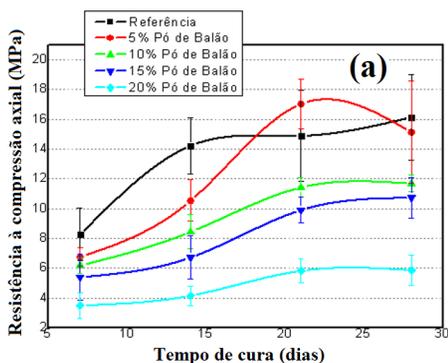


Figura 4. Resistência (a) à compressão axial e (b) por compressão diametral dos corpos de prova.

Os resultados da difração de raios X (DRX) das argamassas referência e com substituição parcial da areia pelo resíduo de pó de balão estão apresentados nas Figuras 5 e 6. Esses difratogramas foram obtidos das amostras no estado endurecido no tempo de cura de 7, 14, 21 e 28 dias.

A Figura 5 (a) mostra os resultados para as argamassas referência e pode ser

observado que são constituídas pelas fases cristalinas de Quartzo ( $\text{SiO}_2$ ), Portlandita (hidróxido de cálcio  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ), Calcita (carbonato de cálcio  $\text{CaCO}_3$ ), Silicato de cálcio hidratado (C-S-H) e Gismondine (silicato aluminato de cálcio hidratado  $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ). Verifica-se que o pico mais expressivo da referência é o quartzo que está presente em grande quantidade na areia, esse pico é sobreposto pelo silicato aluminato de cálcio hidratado em  $2\theta = 31^\circ$  e  $24,2^\circ$ , sendo essa fase formada pela reação entre a gipsita presente no cimento, com a sílica da areia (QUARCIONI, 2018). Nota-se que essas fases tendem a diminuir ao longo da idade e prosseguimento da hidratação das amostras. Outra fase que tem o pico diminuído com o aumento no tempo de cura é a Portlandita ( $2\theta = 21^\circ$ ), que também é sobreposta pela Gismondine, trata-se de uma fase importante no processo de hidratação da argamassa (QUARCIONI, 2018). A formação da Portlandita se dá na hidratação da fase alita ( $\text{C}_3\text{S}$  fase mais reativa do clínquer), apresentado no difratograma do cimento Portland. A hidratação dessa fase também é responsável pela formação do silicato de cálcio hidratado, fase responsável pelo desenvolvimento de resistência mecânica das argamassas (QUARCIONI, 2018).

A Figura 5 (b) apresenta o difratograma da argamassa com 5% de pó de balão. Observa-se as mesmas fases cristalinas identificadas na argamassa da referência. Assim, a adição de pó de balão não promoveu alteração nos mecanismos de cura da argamassa. Além disso, não foram identificadas espécies mineralógicas típicas do resíduo (pó de balão). Pois a argamassa com 5% não apresenta uma quantidade significativa de resíduo, assim não foram detectadas fases cristalinas na análise. Na tabela 6 é possível identificar as fichas de referência dos difratogramas das argamassas referência e com 5% de pó de balão.

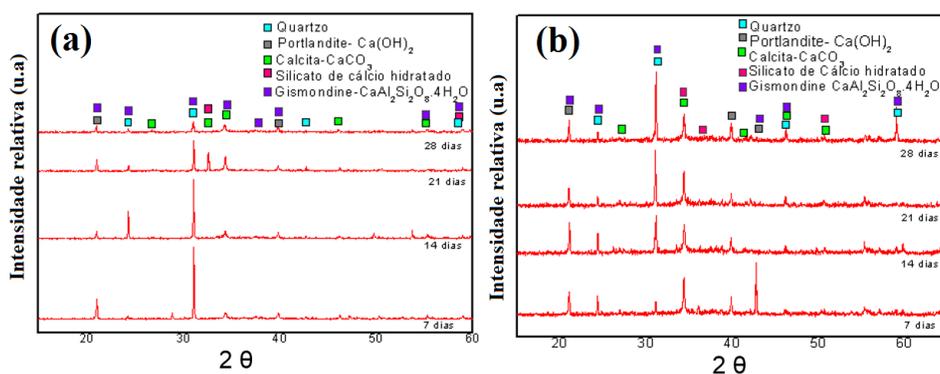


Figura 5. Difratogramas da (a) argamassa referência e da (b) argamassa com 5% de pó de balão.

Composto químico	Óxido de silício	Hidróxido de cálcio	Carbonato de cálcio	Silicato de cálcio hidratado	Silicato aluminato de cálcio hidratado
Fórmula química	SiO <sub>2</sub>	Ca(OH) <sub>2</sub>	CaCO <sub>3</sub>	C-S-H	CaAl <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>8</sub> .4H <sub>2</sub> O
Mineral	Quartzo	Portlandita	Calcita	-	Gismondine
Ficha de referência	046-1045	044-1481	005-0586	033-0306	020-0452

Tabela 6. Compostos cristalinos identificados na referência e no traço com 5% de substituição.

A Figura 6 (a) apresenta o difratograma da argamassa com 10% de substituição com os diversos tempos de cura. Os traços com 10% de substituição apresentam uma fase derivada do resíduo, óxido de cálcio e alumínio, sobrepondo algumas fases. Observa-se que o pico mais expressivo neste traço esteve com a portlandita ( $2\theta=21^\circ$ ), seguida pelo quartzo ( $2\theta = 31^\circ$ ) e calcita ( $2\theta = 34,4^\circ$ ).

O difratograma referente a 15% de pó de balão, indicado na Figura 6 (b), apresenta as mesmas fases cristalinas, identificadas na amostra com 10% de substituição. A fase portlandita continua a apresentar seu principal pico em  $2\theta = 21^\circ$ . Pode ser observado que os traços com 10% e 15% de resíduo não evidenciam a presença do silicato de cálcio hidratado, o alto teor de sulfato presente no pó de balão pode ter influenciado na reação de hidratação da fase alita.

A Figura 6 (c) apresenta as amostras com 20% de pó de balão. Consta-se que esse traço apresentou uma grande quantidade de impurezas devido à composição química do pó de balão. Além das fases típicas, portlandita, calcita e quartzo, o traço apresentou óxido de fósforo e a fase sulfato de amônio e ferro.

Por fim, constata-se que o não aparecimento das fases de ferro, encontradas na análise do pó de balão (Figura 4), se deve provavelmente a baixa cristalinidade e a não interação do ferro.

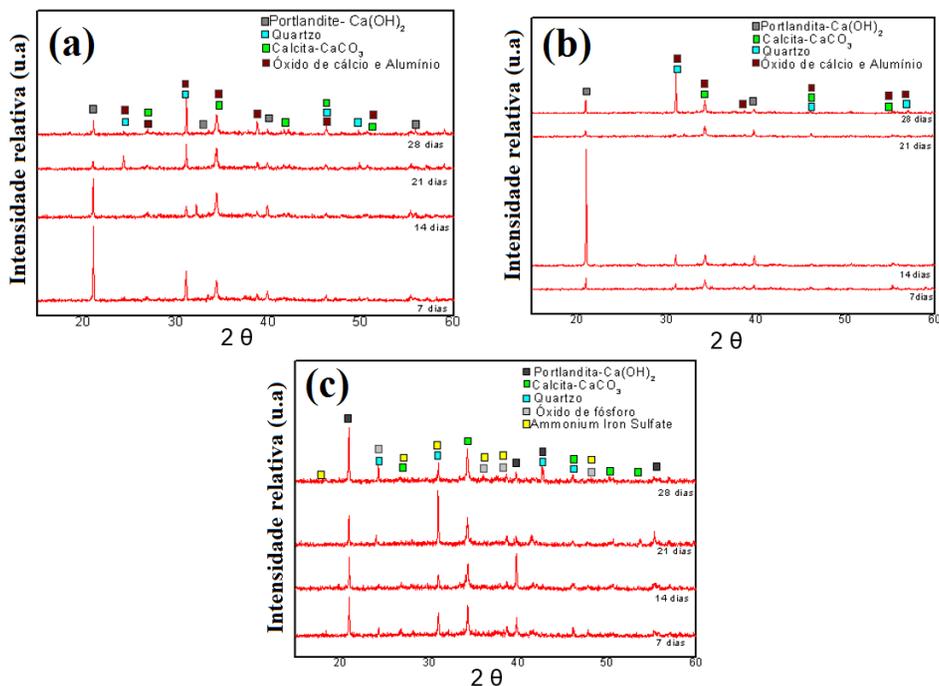


Figura 6. Difratogramas das argamassas com (a) 10% de pó de balão, (b) 15% de pó de balão e (c) 20% de pó de balão.

Composto químico	Hidróxido de cálcio	Carbonato de cálcio	Óxido de silício	Óxido de cálcio e alumínio	Óxido de fósforo	Sulfato de amônio e ferro
Fórmula química	$\text{Ca}(\text{OH})_2$	$\text{CaCO}_3$	$\text{SiO}_2$	$\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{O}_6$	$\text{P}_2\text{O}_5$	$\text{FeH}_{12}\text{N}_3\text{O}_{12}\text{S}_3$
Mineral	Portlandita	Calcita	Quartzo	-	-	-
Ficha de referência	044-1481/01-084-1267	005-0586	046-1045	008-0005	023-1301	00-003-0043

Tabela 7. Compostos cristalinos identificados nos traços com 10, 15 e 20% de pó de balão.

Os resultados das análises térmicas (TG e DSC) das argamassas no estado endurecido estão apresentados na Figura 7. Observa-se pela Figura 7 (a) que as curvas TG de todas as amostras apresentam comportamento similares e divididos em 3 faixas principais de perda de massa. No entanto, as argamassas com adição do resíduo pó de balão apresentam maior perda de massa do que a amostra referência.

A primeira faixa de perda de massa está relacionada com a liberação de água das amostras, com temperatura até 250°C. Nessa primeira faixa além da perda da água livre, ocorre a perda da água de adsorção do C-S-H [13]. Os valores de perda de massa para os traços com 5, 10, 15 e 20% de resíduo foram de 6,19%, 6,15%, 8,30% e 2,69%, respectivamente.

Na segunda faixa, entre 250°C e 600°C, a perda de massa é devido as fases

Portlandita e Calcita (QUARCIONI, 2018), logo as amostras que apresentaram maiores perdas foram aquelas que têm como pico principal essas duas fases. Os valores foram 4,78%, 10,64%, 12,90% e 11,46%, referentes as argamassas com 5, 10, 15 e 20% de pó de balão.

Na última faixa ocorre a perda das fases hidratadas do cimento. A amostra que perdeu maior massa foi a de 5% de substituição, sendo 7,66% de perda, seguida por 6,71% e 6,32% referente aos traços 10% e 15% de resíduo, e a porcentagem de perda 4,83% para o corpo de prova com 20% de pó de balão.

A Figura 7 (b) apresenta as curvas de DSC. Observa-se que todas as curvas apresentam um evento endotérmico próximo a 100°C. Neste estágio há liberação de água nas amostras. Entretanto, no intervalo entre 200 °C e 650 °C todas as amostras com resíduo de pó de balão apresentam um comportamento térmico bastante divergente da referência. Isso é devido à grande quantidade de carvão presente na composição do pó de balão que libera grande quantidade de calor, gerando um evento exotérmico bastante expressivo.

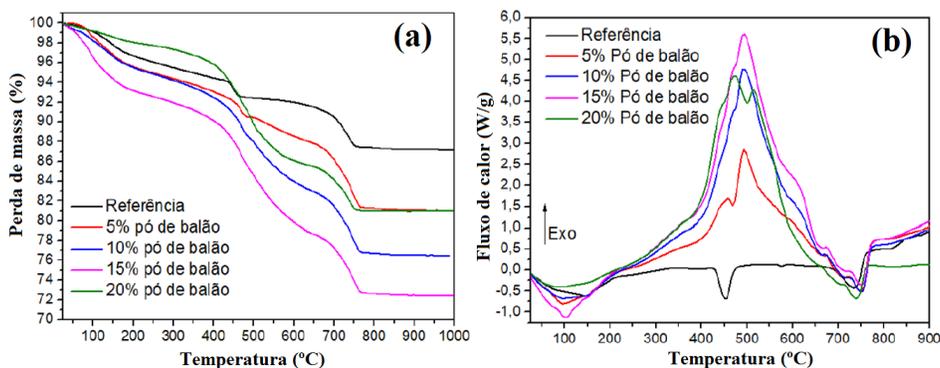


Figura 7. (a) Curvas TG e (b) curvas DSC das amostras de argamassa referência e com substituição de 5%, 10%, 15% e 20 % da areia pelo rejeito de pó de balão.

## 4 | CONCLUSÃO

Os traços com substituição de areia pelo pó de balão mostraram uma diminuição no valor da densidade, posto isso, após a adição do resíduo na argamassa, o material resultante é mais leve do que os materiais convencionais.

Em relação à porosidade e absorção de água, a amostra que obteve melhor resultado foi aquela com 5% de resíduo, apresentando redução nos poros e absorção da água. Os demais traços apresentaram valores semelhantes à referência, com exceção do traço de 20% de substituição que expôs aumento de nos poros e na absorção.

Os ensaios de resistência à compressão axial e tração por compressão diametral mostraram que os corpos de prova com 5% de substituição apresentaram valores equivalente

à referência e os traços com 10% e 15% constataram leve redução nas resistências. Já as amostras com 20% apresentaram uma redução mais significativa.

Os resultados dos ensaios de difração de raios X mostraram que a adição de uma pequena quantidade de pó de balão não promove a alteração do mecanismo de cura da argamassa, o que se confirma nos resultados semelhantes das propriedades mecânicas. No entanto, em relação ao comportamento térmico, verificou que as amostras com pó de balão apresentaram comportamento divergente à referência, principalmente devido ao carvão oriundo da composição do pó de balão.

Por fim, as argamassas com substituição da areia pelo resíduo pó de balão geraram materiais com potencial de aplicação na construção civil. Além disso, os resultados mostraram que é possível agregar valor ao pó de balão e reduzir o impacto ambiental gerado pela Siderurgia.

## AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pelo auxílio financeiro e ao Instituto Federal de Mato Grosso do Sul (IFMS), à empresa Vetorial Siderurgia pela concessão do resíduo e ao Campus Corumbá, por assegurar o laboratório e equipamentos adequados para o desenvolvimento da pesquisa.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 30 – Agregado miúdo – Determinação da absorção de água.**2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248: Agregados - Determinação da composição granulométrica.** 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 7222 – Concreto e argamassa – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos.**2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.**NBR NM 5738\_ Concreto e argamassas \_Procedimento de moldagem e cura de corpos de prova.** 2015 (a).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 13281: ARGAMASSA PARA ASSENTAMENTO E REVESTIMENTO DE PAREDES E TETOS -REQUISITOS.** 2015 (b).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 7215\_ Cimento Portland \_ Determinação da resistência à compressão.**2019.

DIAS, C. A. **Reciclagem de lama de alto forno em cerâmica vermelha.** 2011. 158 f. Tese (Doutorado) Departamento de engenharia e ciências dos materiais – Universidade do Norte Fluminense, Rio de Janeiro, 2011. Cap. 3.

MALARD, Antônio Augusto Melo. **Avaliação ambiental do setor de siderurgia não integrada a carvão vegetal do estado de minas gerais.** 109. 216 f. Dissertação (Mestrado) - Mestrado em Sustentabilidade Socioeconômica e Ambiental. Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, MG, 2009. Cap. 7.

OLIVEIRA, Míriam Regina Cardoso. **Caracterização e classificação do resíduo sólido “pó de balão”, gerado na indústria siderúrgica não integrada a carvão vegetal: - estudo de um caso na região de sete Lagoas/MG,** Quim. Nova, Vol. 26, No. 1, 5-9, 2003.

QUARCIONI, Valdecir Angelo. **Influência da cal hidratada nas idades iniciais da hidratação do cimento Portland- estudo em pasta.** Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 188. 2018.

SZLAK, B. et al. **Manual de revestimento de argamassas.** Comunidade da Construção Civil, 2013.

VIEIRA, C. M. F.; DIAS, C. A. C.; MOTHÉ, A. V.; SÁNCHEZ, R.; MONTEIRO S. N. (2007). **Incorporação da lama de alto forno em cerâmica vermelha.** *Cerâmica*, v. 53, p. 381-38.

## **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