

# FORÇA, CRESCIMENTO E QUALIDADE DA ENGENHARIA CIVIL NO BRASIL 3



FRANCIELE BRAGA MACHADO TULLIO  
(ORGANIZADORA)

**Atena**  
Editora  
Ano 2021

# FORÇA, CRESCIMENTO E QUALIDADE DA ENGENHARIA CIVIL NO BRASIL 3



**FRANCIELE BRAGA MACHADO TULLIO  
(ORGANIZADORA)**

**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 Cremo

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

**Imagens da Capa**

Shutterstock

**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.



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

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. 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<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Ivone Goulart Lopes – Instituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice  
Prof. Dr. Jadson Correia de Oliveira – Universidade Católica do Salvador  
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<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. 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. 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<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Carla Cristina Bauermann Brasil – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás  
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – Universidade Federal da Grande Dourados  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná  
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 Rural do Semi-Árido  
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 Alfnas

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

Prof. Dr. André Ribeiro da Silva – Universidade de Brasília

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas

Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Elizabeth Cordeiro Fernandes – Faculdade Integrada Medicina

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Eysler Gonçalves Maia Brasil – Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira

Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia

Prof. Dr. Fernando Mendes – Instituto Politécnico de Coimbra – Escola Superior de Saúde de Coimbra

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande

Prof. Dr. Marcus Fernando da Silva Praxedes – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Maria Tatiane Gonçalves Sá – Universidade do Estado do Pará

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Regiane Luz Carvalho – Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

### **Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto

Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará  
Prof<sup>ª</sup> Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho  
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

### **Linguística, Letras e Artes**

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Angeli Rose do Nascimento – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Carolina Fernandes da Silva Mandaji – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Denise Rocha – Universidade Federal do Ceará  
Prof. Dr. Fabiano Tadeu Grazioli – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões  
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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  
Prof. Dr. Alex Luis dos Santos – Universidade Federal de Minas Gerais  
Prof. Me. Alexandro Teixeira Ribeiro – Centro Universitário Internacional  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Aline Ferreira Antunes – Universidade Federal de Goiás  
Prof. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Andréa Cristina Marques de Araújo – Universidade Fernando Pessoa  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Andrezza Miguel da Silva – Faculdade da Amazônia  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Anelisa Mota Gregoleti – Universidade Estadual de Maringá  
Prof<sup>ª</sup> 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  
Prof<sup>ª</sup> 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. Christopher Smith Bignardi Neves – Universidade Federal do Paraná  
Prof. Ma. 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. 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 Atilio Batista – Universidade Federal de Viçosa  
Prof. Me. Felipe da Costa Negrão – Universidade Federal do Amazonas  
Prof. Me. Francisco Odécio Sales – Instituto Federal do Ceará  
Profª Drª Germana Ponce de Leon Ramírez – 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/UFPA  
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  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Lillian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Lilians Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Lívia 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  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Luana Ferreira dos Santos – Universidade Estadual de Santa Cruz  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Luana Vieira Toledo – Universidade Federal de Viçosa  
Prof. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados  
Prof<sup>ª</sup> 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<sup>ª</sup> Ma. Maria Elanny Damasceno Silva – Universidade Federal do Ceará  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Marileila Marques Toledo – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri  
Prof. Me. Pedro Panhoca da Silva – Universidade Presbiteriana Mackenzie  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Poliana Arruda Fajardo – Universidade Federal de São Carlos  
Prof. Me. Ricardo Sérgio da Silva – Universidade Federal de Pernambuco  
Prof. Me. Renato Faria da Gama – Instituto Gama – Medicina Personalizada e Integrativa  
Prof<sup>ª</sup> 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  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Silene Ribeiro Miranda Barbosa – Consultoria Brasileira de Ensino, Pesquisa e Extensão  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Taiane Aparecida Ribeiro Nepomoceno – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Faculdade Regional Jaguaribana  
Prof<sup>ª</sup> 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

## Força, crescimento e qualidade da engenharia civil no Brasil 3

**Editora Chefe:** Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira  
**Bibliotecária:** Janaina Ramos  
**Diagramação:** Camila Alves de Cremona  
**Correção:** Mariane Aparecida Freitas  
**Edição de Arte:** Luiza Alves Batista  
**Revisão:** Os Autores  
**Organizadora:** Franciele Braga Machado Tullio

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

F697 Força, crescimento e qualidade da engenharia civil no Brasil 3 / Organizadora Franciele Braga Machado Tullio. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2021.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5706-980-6

DOI 10.22533/at.ed.806211204

1. Engenharia civil. I. Tullio, Franciele Braga Machado (Organizadora). II. Título.

CDD 624

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

**Atena Editora**

Ponta Grossa – Paraná – Brasil

Telefone: +55 (42) 3323-5493

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

contato@atenaeditora.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.

## APRESENTAÇÃO

A obra “Força, Crescimento e Qualidade na Engenharia Civil no Brasil 3” contempla trinta e um capítulos com pesquisas sobre temas gerais da engenharia civil.

A engenharia civil é uma importante ferramenta social, pois através dela é possível apresentar propostas de edificações com fins sociais, bem como levar saneamento básico para comunidades vulneráveis.

Muitos estudos buscam trazer soluções sustentáveis através da engenharia civil. A aplicação de diversos tipos de resíduos pode gerar novos produtos aplicados na construção civil e pavimentação.

Conhecer o comportamento de materiais de construção, bem como o desenvolvimento de novos produtos, bem como a análise do comportamento de estruturas em diversos métodos construtivos auxilia os profissionais e estudantes a avaliar suas escolhas.

Por fim, apresentamos um estudo sobre o, ainda presente, preconceito que a mulher sofre na área de engenharia civil.

Desejo que esta obra proporcione uma agradável leitura e fomenta novas pesquisas, contribuindo para a força, o crescimento e a qualidade da engenharia civil no Brasil.

Franciele Braga Machado Tullio

## SUMÁRIO

### **CAPÍTULO 1..... 1**

#### **A INFLUÊNCIA DO USO DE RESÍDUOS DA INDÚSTRIA DE PEDRAS ORNAMENTAIS NAS PROPRIEDADES DE CONCRETOS E ARGAMASSAS**

Ana Flávia Ramos Cruz  
Cláudia Valéria Gávio Coura  
Arthur Ferreira de Paiva  
Lucas Machado Rocha  
Matheus Pereira Mendes

**DOI 10.22533/at.ed.8062112041**

### **CAPÍTULO 2..... 17**

#### **ANÁLISE DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE CONCRETOS PRODUZIDOS COM SUBSTITUIÇÃO PACIAL DO AGREGADO MIÚDO PELO RCD**

Lara Guizi Anoni  
Ana Paula Moreno Trigo

**DOI 10.22533/at.ed.8062112042**

### **CAPÍTULO 3..... 25**

#### **APROVEITAMENTO DE REJEITO DE MINÉRIO DE FERRO COMO ADIÇÃO MINERAL À COMPÓSITOS CIMENTÍCIOS**

Bruna Silva Almada  
Alex Sovat Cancio  
Marlo Souza Duarte  
Fernanda Galvão de Paula  
Nara Linhares Borges de Castro  
Abner Araújo Fajardo  
White José dos Santos

**DOI 10.22533/at.ed.8062112043**

### **CAPÍTULO 4..... 39**

#### **AVALIAÇÃO DE MICROESTRUTURA DE PASTAS CIMENTÍCIAS COM ADIÇÃO DE REJEITO DE MINÉRIO DE FERRO DEPOSITADOS EM BARRAGEM DE LAMAS**

Nara Linhares Borges de Castro  
Laura Guimarães Lage  
Carlos Augusto de Souza Oliveira  
White José dos Santos

**DOI 10.22533/at.ed.8062112044**

### **CAPÍTULO 5..... 52**

#### **ESTUDO DA VIABILIDADE DA SUBSTITUIÇÃO DE AGLOMERANTE POR RESÍDUOS VÍTREOS NA PRODUÇÃO DE PAVIMENTO INTERTRAVADO DE CONCRETO**

Isabelle Aparecida Costa  
Ricardo Schneider

**DOI 10.22533/at.ed.8062112045**

<b>CAPÍTULO 6.....</b>	<b>59</b>
<b>LOGÍSTICA REVERSA COMO INSTRUMENTO SUSTENTÁVEL POTENCIALIZADOR PARA DIMINUIR O DESCARTE RESIDUAL</b>	
Fernanda Francine Miranda Braz Maria Clara Pestana Calsa Adriane Mendes Vieira Mota	
<b>DOI 10.22533/at.ed.8062112046</b>	
<b>CAPÍTULO 7.....</b>	<b>73</b>
<b>FABRICAÇÃO DE CONCRETO LEVE ESTRUTURAL UTILIZANDO FIBRAS DE CURAUÁ (ANANASERECTIFOLIUS) E RESÍDUOS DE ARGILA CALCINADA COMO AGREGADO</b>	
Isnailson Feitosa Pinheiro Hilderson da Silva Freitas Samuel Cameli Fernandes Laerte Melo Barros	
<b>DOI 10.22533/at.ed.8062112047</b>	
<b>CAPÍTULO 8.....</b>	<b>85</b>
<b>INTERFERÊNCIA DA CURA TÉRMICA NA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO EM FORMULAÇÕES A BASE DE EGAF E FGD</b>	
Eduarda Pyro Magesk Desilvia Machado Louzada Alessandra Savazzini dos Reis Viviana Possamai Della Sagrillo	
<b>DOI 10.22533/at.ed.8062112048</b>	
<b>CAPÍTULO 9.....</b>	<b>92</b>
<b>PAINÉIS CIMENTO-MADEIRA PRODUZIDOS COM RESÍDUOS DE EUCALIPTO</b>	
Rebeca Fernandes Balsalobre Marcos Rafael Radaelli Fernando Nunes Cavalheiro Gustavo Savaris	
<b>DOI 10.22533/at.ed.8062112049</b>	
<b>CAPÍTULO 10.....</b>	<b>102</b>
<b>REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DE MADEIRA NA PRODUÇÃO DE PAINÉIS APLICADOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL</b>	
Lidianne do Nascimento Farias	
<b>DOI 10.22533/at.ed.80621120410</b>	
<b>CAPÍTULO 11.....</b>	<b>112</b>
<b>ANÁLISE DA RESISTÊNCIA MECÂNICA DE CONCRETO ESTRUTURAL COM ADIÇÃO DE FIBRAS DE CARBONO</b>	
Luiz Fernando Pereira	
<b>DOI 10.22533/at.ed.80621120411</b>	

**CAPÍTULO 12..... 118**

**ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DA MADEIRA TRATADA COM IGNIFUGANTES EM SITUAÇÕES DE INCÊNDIO**

Gustavo Souza Silva  
Ismael Francisco Dias Junior  
Mayra Kethlyn da Silva Nascimento  
Victor dos Santos Carneiro  
Maria Fernanda Quintana Ytza

**DOI 10.22533/at.ed.80621120412**

**CAPÍTULO 13..... 128**

**ESTUDO DE DOSAGEM DE CONCRETO LEVE COM RESISTÊNCIA PARA FINS ESTRUTURAIS**

Lucas Antônio Morais Oliveira  
Ingride Escaño  
Ana Lúcia Homce de Cresce El Debs

**DOI 10.22533/at.ed.80621120413**

**CAPÍTULO 14..... 142**

**INVESTIGAÇÃO DE REQUISITOS PARA ALVENARIA ESTRUTURAL**

Rayza Beatriz Rosa Araújo  
Walter Ladislau de Barros Ribeiro

**DOI 10.22533/at.ed.80621120414**

**CAPÍTULO 15..... 155**

**PRODUÇÃO DE COMPOSTOS COM ÓXIDO DE EURÓPIO (EU<sub>2</sub>O<sub>3</sub>): DOPAGEM POR ALUMÍNIO (Al), FERRO (Fe), CARBONO (C), COBRE (Cu) E TITÂNIO (Ti) POR DEPOSIÇÃO DE VAPOR IÔNICO (ARC-PVD)**

Felipe Corrêa Ribeiro  
Célio Marques  
Daniel Rodrigues de Oliveira Novaes  
Gilmar de Souza Dias  
Isabelle Pereira Souza Dias  
Isac Rossi Sylvestre  
João Paulo Tailor de Matos Salvador  
Júllia Sttefane de Oliveira  
Lorena Silva Castello  
Maykon Elias Batista  
Rodrigo Vieira Rodrigues  
Tales Costa de Freitas

**DOI 10.22533/at.ed.80621120415**

**CAPÍTULO 16..... 165**

**A INFLUÊNCIA DAS PONTES TÉRMICAS NO DESEMPENHO TÉRMICO, ENERGÉTICO E NAS ESTRUTURAS DAS EDIFICAÇÕES DA BAIXADA SANTISTA**

Edmar Nascimento Lopes  
Rodrigo Onofre de Oliveira  
Itamar Gonçalves da Silva

Rodrigo Coelho Roberto

DOI 10.22533/at.ed.80621120416

<b>SOBRE A ORGANIZADORA.....</b>	<b>175</b>
<b>ÍNDICE REMISSIVO.....</b>	<b>176</b>

## ESTUDO DE DOSAGEM DE CONCRETO LEVE COM RESISTÊNCIA PARA FINS ESTRUTURAIS

Data de aceite: 01/04/2021

Data de submissão: 05/02/2021

### Lucas Antônio Morais Oliveira

Departamento de Estruturas, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo  
São Carlos – SP  
<http://lattes.cnpq.br/6548658249216316>  
<https://orcid.org/0000-0003-0248-4814>

### Ingride Escaño

Departamento de Estruturas, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo  
São Carlos – SP  
<http://lattes.cnpq.br/7465230447425964>

### Ana Lúcia Homce de Cresce El Debs

Departamento de Estruturas, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo  
São Carlos – SP  
<http://lattes.cnpq.br/8508902134177173>  
<https://orcid.org/0000-0001-6359-7674>

**RESUMO:** Um estudo experimental foi realizado na investigação de dosagens de concreto com agregados leves na produção de concretos leves com resistência adequadas para aplicações estruturais. Foram estudados o desempenho dos concretos produzidos no estado fresco com avaliação do índice de consistência através do *slump test* e análise do estado endurecido, com a avaliação da resistência à compressão de corpos

de prova cilíndricos, em diferentes idades. Um concreto convencional de agregado graúdo de natureza basáltica foi tomado como referencial comparativo, com mesmo consumo de cimento. No estudo, o uso de cimento de alta resistência inicial (CPV-ARI) teve um efeito mais significativo nos concretos convencionais. As análises trazem resultados satisfatórios, obtendo-se para o concreto leve *slump test* da ordem de 70 mm, com a utilização de aditivo polifuncional e a resistência mecânica à compressão média da ordem de 30 MPa. Dessa forma, o concreto produzido nesse estudo de dosagem permitiu obtenção de concretos leves de resistências adequadas a fins estruturais e uma redução significativa da ordem de 30% do peso próprio das peças de concreto estrutural comparativamente às de concreto de peso normal.

**PALAVRAS-CHAVE:** Dosagem de concreto, Agregado leve, Argila expandida, Concreto estrutural, Resistência mecânica à compressão.

### LIGHTWEIGHT CONCRETE MIX DESIGN FOR STRUCTURAL PURPOSES

**ABSTRACT:** An experimental study was carried out to investigate of concrete mix design process made with Brazilian lightweight aggregates in order to produce structural lightweight concretes. The performance of the concrete mix batches was analysed in the fresh and hardening condition. The first, it was made with slump test; the second, it was evaluated oh the compressive strength of cylindrical specimens, at different ages. A normal concrete with coarse basaltic aggregate was used as a comparative reference, using the same consumption of cement weight. In the test results,

the use of “high early strength cement” (CPV-ARI, in Brazil) had a more significant effect on normal concrete. The results of lightweight concrete are adequate, with the achievement of slump test of around 70 mm, using additive superplasticizer dosage. The evaluation of the compressive strength of concrete had resulted in the order of 30 MPa. Therefore, the lightweight concrete produced in this dosage process allowed the obtaining of adequate strengths for structural purposes and a significant decrease of the around 30% of self-weight of structural concrete elements compared to that normal concrete.

**KEYWORDS:** Concrete mix design, Lightweight aggregate, Expanded clay, Structural concrete, Compressive strength test.

## 1 | INTRODUÇÃO

O concreto é o material de construção mais utilizado no mundo devido a sua versatilidade, resistência à ação da água e ao fogo, facilidade de disponibilidade, resistência adequada à compressão, custo e compatibilidade mecânica com aços, formando o concreto estrutural. Composto basicamente por cimento, agregados e água, podendo ainda ser utilizados adições e aditivos. O concreto convencional possui elevada massa específica, em virtude principalmente pelo agregado gráudo natural, usualmente de origem basáltica, granítica ou calcária.

Nesse sentido, o concreto leve estrutural tem sido uma solução aceita na indústria da construção civil como solução alternativa ao concreto convencional. Ele oferece redução do peso do concreto que representa comumente uma parcela expressiva do peso total das edificações e pontes. Ele se caracteriza por possuir massa específica abaixo de 2000 kg/m<sup>3</sup>, massa específica relativamente reduzida quando comparado aos concretos convencionais, da ordem de 2400 kg/m<sup>3</sup>. Como requisito aos fins estruturais deve ainda possuir resistência à compressão de uma ordem de grandeza maior que 20 MPa.

A sua leveza é atingida pela incorporação de ar à mistura ou pela substituição dos agregados convencionais por agregados leves, que são a maior parcela do volume de concreto. Pela sua maior porosidade, os concretos leves usualmente tem menores resistência mecânicas quando comparados com os concretos convencionais, de peso normal. Os estudos mostram que a resistência do concreto leve é, de modo geral, inferior ao concreto convencional, além disso, o módulo de elasticidade apresenta diminuição quando comparado ao convencional.

No entanto, com os avanços tecnológicos, já se tem obtido concretos leves de mais alta resistência. Citam-se os trabalhos de Wilson e Malhotra (1988), Angelin (2014), Wu et al. (2015), Assunção (2016) e Cenrny, Kocianova e Drochytka (2017) que demonstram desenvolvimento e aplicação de concretos leves cuja resistência à compressão foi superior a 30 MPa, além de contornar os desafios relacionados à segregação e absorção de água pelos agregados.

Somado a isso, em virtude da diminuição da massa específica, este material permite

um decréscimo dos carregamentos devidos ao peso da estrutura, possibilitando economia com fôrmas e escoramentos, redução de custos com as fundações, além da diminuição dos custos de transporte e montagem de peças pré-moldadas (ROSSIGNOLO, 2009), utilizando-o na indústria de pré-fabricados, uma tendência do mercado. Além disso, em virtude da estrutura dos agregados leves, o concreto apresenta uma menor condutividade térmica. Dessa forma, o uso em fachadas e coberturas de edificações reduz a absorção de calor proveniente da luz solar, proporcionando maior conforto térmico e acústico.

Dessa forma, o presente trabalho tem como objetivo apresentar e comparar traços de concreto leve produzidos com agregados leves do tipo argila expandida aos de concreto convencional de brita do tipo basalto, visando obter resistências adequadas aos fins estruturais, através da otimização da dosagem do concreto.

## 2 | REVISÃO DA LITERATURA

No entanto, tem-se visto que nacionalmente o uso do concreto leve ainda é muito voltado a usos não estruturais, como enchimentos, vedações. A possibilidade do estudo do concreto leve para fins estruturais vem colaborar com adequada otimização estrutural e sustentabilidade, merecendo destaque a divulgação para a sua disseminação a usos mais nobres desse material.

Há registros do uso do material no México desde 1100 a.C., bem como em Roma, por volta do ano de 120 d.C., com intuito de diminuir as cargas nas estruturas, utilizando aglomerante a base da cal e rochas de baixas densidades (MEHTA E MONTEIRO, 2014). Há muitos registros do uso de concreto leve (ROSSIGNOLO, 2009) com aplicações em edifícios, pontes, coberturas, estádios e plataformas petrolíferas.

A produção de concretos leves estruturais é obtida pela substituição total ou parcial dos agregados convencionais por agregados leves naturais ou beneficiados. Dentre os tipos de agregados leves mais encontrados na literatura estão: vermiculita, perlita, pedrapomes e lava porosa, argila, folhelho e ardósia expandidos volante sinterizada (NEVILLE, 2015).

Dado a disponibilidade no mercado nacional, a proposta de estudo abrange o agregado do tipo argila expandida em substituição total aos agregados graúdos. A argila expandida é obtida por aquecimento de argilas com características piro-expansivas em fornos rotativos em temperaturas em torno de 1100-1200°C. Nesse processo, uma parte do material se funde gerando uma massa viscosa, enquanto a outras parte, se decompõe quimicamente com liberação de gases que são então incorporados e envoltos nessa massa líquida sinterizada, expandindo-se em até sete vezes o seu volume inicial. Por meio desse processo, o agregado apresenta formato arredondado, com o centro esponjoso e uma camada vitrificada e impermeável ao redor, como destaca Rossignolo (2009).

Em virtude de sua baixa permeabilidade superficial, este material permite atingir

boa trabalhabilidade com baixas relações água/cimento. Porém, seu formato esférico favorece a segregação (Rossignolo, 2003). Estudos nesses aspectos visam ainda melhorar o emprego sem risco de segregação do material e facilitar sua produção.

As seguintes conclusões podem ser tiradas de um compilado sobre as principais informações sobre os cuidados na produção do concreto leve produzido com argila expandida, presentes na literatura:

- O concreto leve apresenta menor abatimento para uma mesma trabalhabilidade, visto a menor deformação devido à gravidade; um teor de argamassa da ordem mínima de 60% é indicado na garantia da trabalhabilidade;
- A cura do concreto pode ser feita da mesma maneira que concretos convencionais; a absorção interna favorece a cura interna, no entanto, Rossignolo (2009) cita que se a absorção for superior a 10% seja utilizada pré-saturação para garantir trabalhabilidade e água suficiente a hidratação.
- Moravia et al (2004) ao realizar micrografias obtidas por microscopia eletrônica de varredura investigou a morfologia da argila expandida; trouxe os resultados das superfícies interna e externa, ampliadas em 300 e 1200 vezes, conforme Figura 1. Na superfície externa observa-se uma textura mais lisa e a superfície interna com porosidade elevada, decorrente do processo de fabricação e responsável pela elevada absorção de água;
- A resistência mecânica do agregado leve é menor, justificando a menor resistência diante concretos normais de mesmo consumo de cimento; é comum a ruptura do agregado no concreto leve, em vez da zona de transição;
- Uma série de trabalhos no Brasil investigaram concretos leves com argila expandida, como os trabalhos de Rossignolo e Oliveira (2006), Rossignolo (2009a, 2009b), Assunção (2016) e Santis (2012, 2018). Na literatura internacional vale citar os trabalhos recentes de Ardakani e Yazdani (2014), Rashad (2018), Lee et al. (2019), Ahmad e Chen (2019).

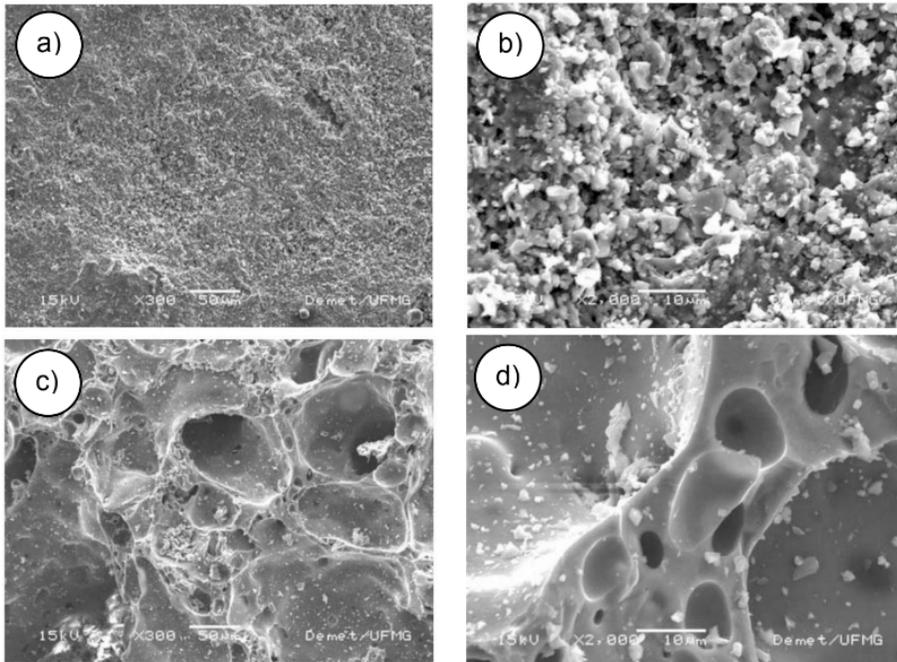


Figura 1 – Microscopia eletrônica de varredura da argila expandida (Moravia *et al.* 2004):  
*Superfície externa - ampliada em 300X (a) e em 1200 X (b);*  
*Superfície interna - ampliada em 300X (c) e em 1200 X (d).*

Diversas pesquisas têm sido feitas sobre dosagens, uso de diferentes agregados leves, comportamento mecânicos e térmicos e de durabilidade dos concretos leves. Esses trabalhos estudaram o uso de agregados leves para a produção de concretos leves estruturais, com argila expandida, cinzas volantes, uso da cenosferas, uso de metacaulim, além da influência do teor de ar incorporado e produção de concretos autoadensáveis. Os estudos analisaram o desempenho mecânico e a influência da microestrutura.

Dessa maneira, o estudo colabora na investigação de traços de concreto com utilização de agregados leves, utilizando adições minerais e aditivos químicos, conjuntamente ao método de dosagem experimental para a obtenção de concretos com o menor consumo de cimento e garantia de comportamento mecânico adequado. Portanto, ressalta-se o equilíbrio entre a baixa densidade e as características mecânicas como tarefa imprescindível para a aplicações vantajosas deste material às estruturas.

### 3 | MÉTODOS E PROCEDIMENTOS

Os estudos basearam na produção de três traços de concreto leve e de concreto convencional, a partir de um traço base, seguindo de otimização, utilizando análise experimental. Avaliaram-se o concreto fresco por meio do abatimento do tronco de cone

e os testes das propriedades mecânicas, com foco na resistência à compressão com vista à traços com dosagens mais eficientes. A otimização foi feita visando à aumento de resistência para mesmo consumo de cimento, diminuição da relação água/cimento e, concomitantemente a diminuição da massa específica do concreto de agregado leve.

Os materiais componentes dos concretos foram previamente pesados e separados, misturados na betoneira e moldados. Além disso, nos concretos produzidos com argila expandida, primeiramente foi adicionado o agregado graúdo na betoneira com parte da água, a fim de saturar a argila e, dessa forma, minimizar os efeitos da segregação e absorção de água do concreto pelo agregado. Foram moldados corpos de prova cilíndricos, curados sob condição úmida. Ensaio de resistência à compressão foram realizados aos 7, 14 e 28 dias, acompanhando o crescimento da resistência no tempo. A Figura 2 ilustra esquematicamente alguns passos experimentais.

Para cada traço produzido um lote de 3 exemplares foi moldado. Esse estudo de dosagem de concreto leve, utilizou a argila expandida como substituta total ao agregado graúdo e sílica ativa como adição de 10% massa do cimento. A areia foi composta de 40% e 60% para fina e grossa, respectivamente. O traço 2 difere do traço 3, no uso do cimento CPV-ARI. A Tabela 1 e 2 traz os traços testados do concreto leve e concreto convencional, respectivamente avaliados.

Traço:	Cimento (kg)	Sílica (kg)	Areia fina (kg)	Areia Grossa (kg)	Argila 1506 (kg)	Argila 0500 (kg)	Água (L)	Aditivo Polifunc. (ml)
<b>Traço 1</b>	365 <sup>1</sup>	40	460	460	280	70	210	1200
<b>Traço 2</b>	400 <sup>1</sup>	40	340	510	256	64	215	600
<b>Traço 3</b>	400 <sup>2</sup>	40	340	510	256	64	180	400

Tabela 1 – Dosagem do concreto leve – produção de 1m<sup>3</sup>.

Traço:	Cimento (kg)	Areia fina (kg)	Areia Grossa (kg)	Brita 1 (kg)	Água (L)	Aditivo Polifunc. (ml)
<b>Traço 1</b>	365 <sup>1</sup>	0	968	1032	187	1200
<b>Traço 2</b>	400 <sup>1</sup>	327	490	1080	180	600
<b>Traço 3</b>	400 <sup>2</sup>	327	490	1080	187	600

Tabela 2 – Dosagem do concreto convencional (normal) – produção de 1m<sup>3</sup>

*Obs.: Tipo de cimento: (1) Cimento CPII-E-32; (2) Cimento CPV-ARI.*

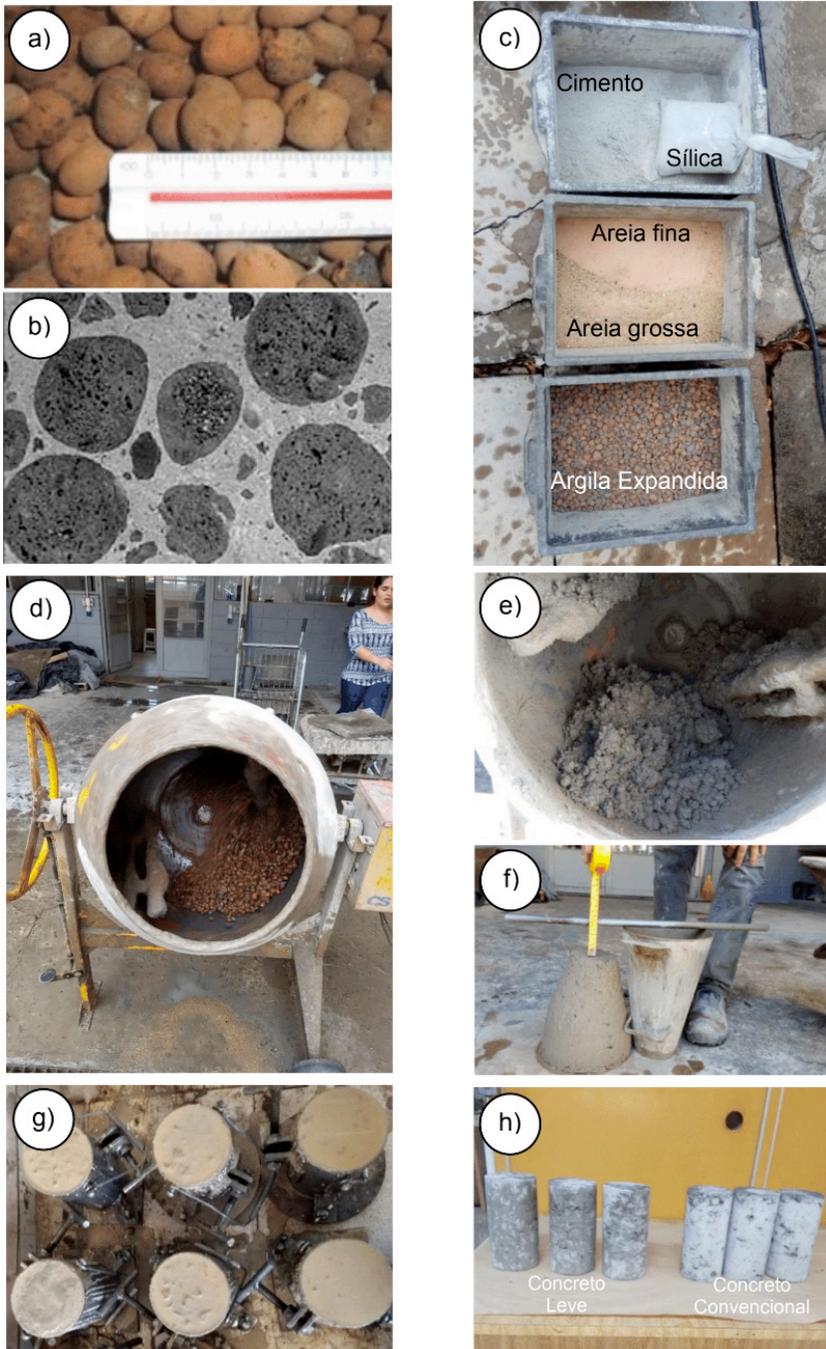


Figura 2 - Produção e dosagem de concreto leve: a) Argila expandida; b) Estrutura interna do concreto leve com argila expandida; c) Materiais da composição do traço; d) pré-umidificação da argila na betoneira; e) mistura do concreto leve; f) consistência do concreto através do *slump test*; g) moldagem dos corpos de prova; g) corpos de prova desmoldados preparados para o ensaio de resistência à compressão.

## 4 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

O concreto no estado fresco e no estado endurecido foram analisados. A Tabela 3 apresenta os resultados do índice de consistência na avaliação da trabalhabilidade através do *slump test*. A resistência à compressão dos corpos de prova cilíndricos mensurou o desempenho mecânico no estado endurecido de cada traço. As Tabelas 4 e 5 mostram os resultados da dosagem e melhoria dos traços na resistência à compressão e massa específica dos concretos leve e convencional, respectivamente.

Consistência ( <i>slump test</i> )	Traço 1	Traço 2	Traço 3
Concreto Leve	210	75	55
Concreto Convencional	140	130	60

Tabela 3 – Índice de consistência (*Slump test*), em milímetros.

Idade (dias)	Traço 1		Traço 2		Traço 3	
	Massa Específica (kg/m <sup>3</sup> )	f <sub>cm</sub> (MPa)	Massa Específica (kg/m <sup>3</sup> )	f <sub>cm</sub> (MPa)	Massa Específica (kg/m <sup>3</sup> )	f <sub>cm</sub> (MPa)
7	1757	21,57	1760	26,41	1765	27,60
14	1720	19,19	1747	28,56	1793 <sup>(1)</sup>	31,19 <sup>(1)</sup>
28	1740	24,79				

Tabela 4 - Resistência à Compressão - Concreto Leve.

Idade (dias)	Traço 1		Traço 2		Traço 3	
	Massa Específica (kg/m <sup>3</sup> )	f <sub>cm</sub> (MPa)	Massa Específica (kg/m <sup>3</sup> )	f <sub>cm</sub> (MPa)	Massa Específica (kg/m <sup>3</sup> )	f <sub>cm</sub> (MPa)
7	2540	21,57	2520	26,59	2487	41,34
14	2544	20,38	2514	34,10	2490 <sup>(1)</sup>	48,84 <sup>(1)</sup>
28	2553	22,08				

Tabela 5 - Resistência à Compressão - Concreto Convencional.

Obs.: (1) Idade de avaliação de 320 dias - programa experimental interrompido pela pandemia.

O traço 1 de concreto leve e convencional apresentaram indícios de segregação dos agregados, dado principalmente o consumo elevado do aditivo polifuncional, tornando o argamassamento do concreto leve propício à exsudação. Como solução aos traços sucessivos, realizou-se o aumento do consumo de cimento e do teor de argamassa,

somado ao controle do uso dos aditivos e de combinação binária dos agregados miúdos (areias naturais).

Os concretos apresentaram coesão e consistências adequadas para as dosagens dos concretos nos traços 2 e 3. Observa-se para os dois primeiros traços, uma diferença significativa entre os resultados do *slump test* para o concreto leve o convencional, justificada sobremaneira pela menor densidade do agregado leve, associada ao consumo do aditivo polifuncional que acarretou maior plasticidade à massa de concreto convencional de agregado natural basáltico. No traço 3, com o uso do CPV-ARI essa diferença não ocorreu.

No traço 2 do concreto convencional, dado o maior consumo de cimento e melhor proporção do argamassamento, diante o traço 1, trouxe adequada consistência à massa do concreto. O traço 3 de ambos os concretos apresentam resultados de consistência similares. Não foram observados os fenômenos de exsudação e segregação dos agregados leves em estudo, principalmente nos traço 2 e 3, otimizados com base nos resultados do traço 1 de partida.

Sobre o desempenho no estado endurecido dos corpos de prova com a avaliação da resistência à compressão, o traço 1 de ambos concretos apresentaram resultados similares. Observa-se que no segundo traço (traço 2), aos 7 dias, a resistência à compressão foi praticamente a mesma para ambos. Para esse mesmo traço, não se observaram diferenças entre a evolução das resistências para os 14 e 28 dias. Na idade de 28 dias, o concreto convencional apresentou um desempenho superior, da ordem de 20% sobre o concreto leve do traço analisado.

Para o traço 3 elaborado, com o destaque da mudança no tipo de cimento usado em comparação ao traço 2, usando CPV-ARI em vez de CII-E-32, os resultados são realçados. Observa-se para o concreto leve um pequeno aumento para a idade de 7 dias, e um aumento um pouco maior relativamente ao traço 2, da ordem de 10%, na idade avaliada de 28 para 320 dias, respectivamente. Para o traço de concreto convencional, observa-se um aumento expressivo da resistência à compressão. Na idade de 7 dias, apresentou aumento da ordem de 55% na resistência à compressão. Para a comparação com a idade de 28 (traço 2) com a idade de 320 dias (traço 3 – concreto convencional), obtém-se um aumento de desempenho à compressão em torno de 43%.

No traço 3, o concreto leve teve resistência à compressão ligeiramente aumentada da idade de 7 para 320 dias, da ordem de 13%. Para o concreto convencional a evolução da resistência teve acréscimo de 18%. A avaliação comparativa entre os traços 3 dos concreto leve e convencional para as idade de 7 e 320 dias mostram expressivas diferenças, em relação ao traço 2. Sublinha-se o ganho expressivo de resistência do concreto convencional com a alteração do cimento de alta resistência inicial para o traço 3.

Enquanto no traço 2 os dois concretos (leve e convencional) apresentam desempenho relativamente semelhantes; no traço 3, o concreto de agregado graúdo leve

teve sua resistência à compressão menor de 50% e 56%, para as idades avaliadas de 7 e 320 dias, nessa ordem, em comparação como concreto convencional. Dessa forma, o cimento de alta resistência inicial (CPV-ARI) teve maior impacto e alteração sobre o desempenho do concreto convencional.

Sobre o aspecto da ruptura dos corpos de provas após o ensaio de compressão, ocorreram de maneira diferente, conforme mostra a Figura 3. No concreto convencional a ruptura ocorre na matriz, enquanto no concreto leve é possível observar a linha de fratura atravessar o agregado graúdo de argila expandida.

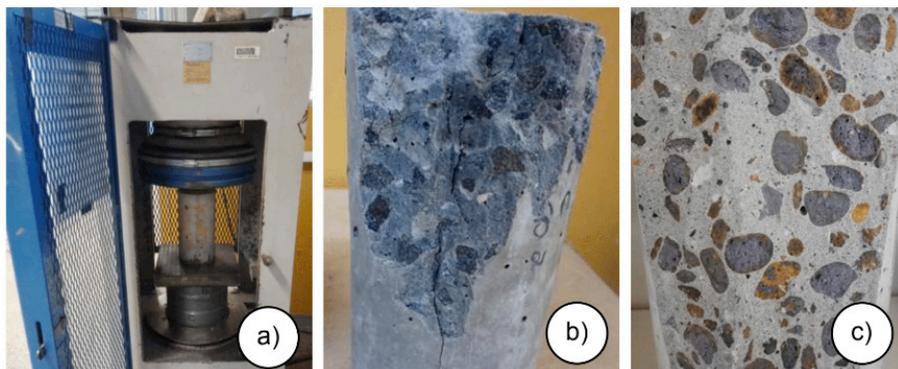


Figura 3 – a) Corpo de prova no ensaio à compressão; fratura dos corpos de prova pós-ensaios: b) concreto convencional; e, c) concreto leve.

No concreto convencional, a ruptura ocorre devido à diferença entre as deformações dos agregados e da pasta de cimento, dado que o agregado (brita basáltica) possui um módulo de deformação maior que o da argamassa e ser mais resistente. Dessa forma, a ruptura se inicia na zona de transição, resultando em uma linha de fratura ao redor do agregado (Fig. 3 b), sendo a argamassa e a zona de transição pasta-agregado o ponto limitante no valor de resistência à compressão.

A resistência mecânica dos concretos com agregados leves, é mais eficiente na argamassa devido à similaridade entre os valores do módulo de deformação do agregado e da argamassa e da melhor qualidade da zona de transição pasta-agregado, conforme indica Rossignolo (2003). Dessa forma, a ruptura no concreto leve ocorre devido ao colapso da argamassa, e a linha fratura atravessa os agregados (Fig. 3c). Desse efeito, permite-se correlacionar o desempenho observado do efeito pouco expressivo do cimento CPV-ARI, do traço 3 em relação ao traço 2, dado que mesmo com o aumento de resistência da argamassa, esta não contribui proporcionalmente ao aumento da resistência do concreto leve, como destaca Rossignolo (2009).

O ponto principal de destaque foi que o concreto leve apresentou uma redução

da ordem de 30% na massa específica, em relação ao concreto convencional. De fato, a argila expandida apresenta massa unitária de  $600 \text{ kg/m}^3$  comparado com massa unitárias de britas da ordem de  $1500 \text{ kg/m}^3$ . Desse modo, o concreto produzido através desse estudo de dosagem permite obtenção de concretos leves de resistências adequadas a fins estruturais e permitem uma redução significativa do peso próprio das peças de concreto estrutural.

## 5 I CONCLUSÕES

Os resultados dos ensaios experimentais desenvolvidos conjuntamente com a revisão técnico-bibliográfica permitem discutir sobre os principais pontos relevantes sobre os cuidados e dosagens do concreto leve para fins estruturais, que podem ser destacados:

- O uso do agregado leve, argila expandida, apresenta alta porosidade em relação aos agregados convencionais, o que acarreta maior absorção de água. Quando não considerada pode ser prejudicial ao concreto, comprometendo a trabalhabilidade e cura; como solução, orienta-se a saturação do agregado, com uma pré-umidificação ou correção do teor de água utilizada na dosagem do concreto;
- O agregado leve tem uma boa aderência com a pasta de cimento, devido à textura áspera da superfície. Essa interface, pode ser melhorada com o tempo, com a hidratação dos compostos decorrente do fornecimento da água absorvida pelo agregado no instante da mistura; na redução da espessura da zona de transição pasta-agregado, melhora-se o desempenho das propriedades relacionadas à resistência mecânica e à durabilidade dos concretos leves;
- A superfície interna da argila expandida apresenta uma textura mais rugosa que a superfície externa, apresentando poros não interligados, fato este importante no quesito da não penetração de agentes agressivos;
- A realização da combinação granulometria adequada de diferentes tamanhos de agregados leves corresponderá à granulometria mais adequada na otimização do traço do concreto;
- Adições minerais como sílica ativa e o aumento da porcentagem de argamassa (cimento + área + água) auxiliam no equilíbrio da dosagem, evitando exsudação e segregação do concreto leve; a sílica devido à sua atividade pozolânica, proporciona um arranjo microestrutural mais denso com redução da espessura da zona de transição;
- O uso do cimento CPV-ARI mostrou maior influência no aumento de resistência do concreto convencional do que no leve. Tal justificativa foi associada principalmente ao fato de que o aumento de resistência da argamassa não está associada diretamente à resistência do concreto leve, dado que a fratura deste

ocorre com fratura do agregado;

- Os resultados dos ensaios realizados em escala laboratorial, indicam que os concretos podem ser replicados às empresas do setor da construção civil e, como ponto de partida para engenheiros e construtores na obtenção de concretos leves estruturais de melhor qualidade;
- O agregado é o ponto fraco da dosagem. Enquanto no concreto convencional a matriz acaba por ser a mais fraca, no concreto leve, observou-se ruptura do agregado. Logo, a busca por agregados leves mais resistentes é também indicada para próximos trabalhos.
- Em termos de pesquisas aplicando concreto leve, há um número ainda significativo, com resistências à compressão médias da ordem comum de 20-30 MPa. Em contrapartida, há trabalhos com resistência mais elevadas usando argila expandida, como Rossignolo et al. (2003) e Valente (2007), este com aplicação em vigas mistas de aço e concreto leve.

Por fim, o estudo subsidia projetistas na alternativa do uso desse concreto a nível nacional, com adequadas vantagens destacadas por Rossignolo (2009) e confirmado por Nadh e Muthumani (2017). Os resultados mostraram redução significativa do peso próprio e adequada resistência à compressão para fins estruturais.

## AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (PIBIC/CNPq) (N° 158096/2020-7), da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001 e com apoio financeiro da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) (N° 2019/03513-5). Agradecimentos à Cinexpan pelo fornecimento de argila expandida, à Holcim Cimentos e à GCP *Applied Technologies* pelo fornecimento de aditivo polifuncional.

## REFERÊNCIAS

AHMAD, M. R.; CHEN, B. Experimental research of the performance of lightweight concrete containing foam and expanded clay aggregate. **Composites Part B**. v. 171, p. 46-60, 2019.

ANGELIN, A. F. **Concreto leve estrutural - Desempenhos físicos, térmicos, mecânicos e microestruturais**. 2014.126p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia) - Universidade Estadual de Campinas. Limeira, 2014.

ARDAKANI, A.; YAZDANI, M. The relation between particle density and static elastic modulus of lightweight expanded clay aggregates. **Applied Clay Science**. 93-94: 28-34, 2014.

ASSUNÇÃO, J. W. **Concreto Leve Autoadensável – Avaliação da influência da argila expandida no processo de dosagem e nas propriedades do concreto**. 2016. 256p. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Instituto de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, 2016.

CERNY, V.; KOCIANOVA, M.; DROCHYTKA, R. Possibilities of lightweight high strength concrete production from fly ash aggregate. **Procedia Engineering**. v. 195, p. 9-16, 2017.

LEE, K.; YANG, K.; MUN, J; KWON, S. Mechanical properties of concrete made from different expanded lightweight aggregates. **ACI Materials Journal**. v. 116 (2), p. 9-19, 2019.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto Microestrutura, Propriedade e Materiais**, 2ª Ed. IBRACON, 2014.

MORAVIA, W. G.; OLIVEIRA, C. A. S; VASCONCELOS, W. L.; GUMIERI, A. G. Caracterização microestrutural de argila expandida para aplicação como agregado em concreto estrutural leve. In: Proceedings of the 48th Annual Meeting of the Brazilian Ceramic Society, Curitiba, 2004.

NADH, V. S.; MUTHUMANI, K. Critical Review on Structural Lightweight Concrete. **International Journal of Civil Engineering and Technology**. v.8, n.2, p 252-263, 2017.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto**. 5 ed. Bookman: 2015.

RASHAD, A. M. Lightweight expanded clay aggregate as a building material – an overview. **Construction Buildings and Materials**. v. 170, p. 757-775, 2018.

ROSSIGNOLO, J. A. **Concreto Leve Estrutural: Produção, Propriedades, Microestrutura e Aplicações**. São Paulo: PINI, 2009.

ROSSIGNOLO, J. A. Concreto leve estrutural: influência da argila expandida na microestrutura da zona de transição pasta/agregado. **Ambiente Construído**. Porto Alegre, v. 9, n. 4, p. 119-127, 2009b.

ROSSIGNOLO, J. A. **Concreto leve de alto desempenho modificado com SB para pré-fabricados esbeltos - dosagem, produção, propriedades e microestrutura**. 2005. 211p. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Internidades – Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

ROSSIGNOLO, J. A.; OLIVEIRA, I. L. Concreto leve estrutural com Metacaulim. **Minerva (Pesquisa e Tecnologia)**. v.3 (2), p. 17-187, 2006.

ROSSIGNOLO, J. A.; AGNESINI, M. V. C.; MORAIS, J. A. Properties of high-performance LWAC for precast structures with Brazilian lightweight aggregates. **Cement and Concrete Composites**. v. 25, p. 77-82, 2003.

SANTIS, B. C. **Agregado leve de argila calcinada para uso em concreto estrutural: viabilidade de cerâmica vermelha do Estado de São Paulo**. 2012. 132p. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Instituto de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, 2012.

SANTIS, B. C. **Concretos leves com agregados inovadores de argila vermelha calcinada e subprodutos agroindustriais**. 2016. 110p. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2016.

VALENTE, M. I. B. **Estudo Experimental de Sistemas de Conexão para Pontes Mistas de Aço e Betão Leve**. 2007. 427p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade do Minho. Portugal, 2007.

WILSON, H. S.; MALHOTRA, V. M. Development of high strength lightweight concrete for structural applications. **The International Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete**. v. 10, n.2, p. 79-90, 1988.

WU, Y.; WANG, J. Y.; MONTEIRO, P. J. M.; ZHANG, M. H. Development of ultra-lightweight cement composites with low thermal conductivity and high specific strength for energy efficient buildings. **Construction and Buildings Materials**. v. 87, p. 100-112, 2015.

## ÍNDICE REMISSIVO

### A

Adição mineral ao cimento 25

Agregado leve 73, 75, 83, 128, 131, 133, 136, 138, 140

Agregados reciclados 17, 21, 23, 24

Alvenaria estrutural 51, 142, 143, 144, 145, 146, 149, 153, 154

Aproveitamento de resíduos 1, 25, 42, 108

Argila calcinada 73, 74, 75, 76, 78, 79, 80, 81, 83, 84, 140

Argila expandida 73, 75, 76, 79, 80, 81, 84, 128, 130, 131, 132, 133, 134, 137, 138, 139, 140

### C

Cedrinho 118, 119, 120, 122, 125, 126

Cimentos com adições 25

Concreto estrutural 17, 112, 113, 128, 129, 138, 140

Concreto leve 73, 75, 76, 83, 84, 128, 129, 130, 131, 132, 133, 134, 135, 136, 137, 138, 139, 140

Concretos especiais 74, 112, 117

Construção civil 1, 2, 3, 4, 15, 17, 22, 23, 25, 26, 36, 37, 39, 41, 43, 52, 53, 58, 73, 74, 75, 76, 84, 86, 93, 94, 102, 103, 104, 105, 106, 108, 110, 113, 118, 119, 120, 125, 126, 129, 139, 142, 143, 167

Cura térmica 85, 87, 88, 89

Custo 14, 52, 57, 61, 73, 93, 105, 109, 112, 117, 129, 143, 157

### D

Demolição 17, 23, 24

Dosagem de concreto 128, 133, 134

### E

Educação ambiental 59, 61, 63, 64, 65, 68, 70, 71, 72

Erros 142, 143, 146, 147, 153

Execução 33, 142, 143, 144, 145, 154

### F

Fibra de carbono 112, 113, 114, 117

Fibras de curauá 73, 78, 83

## **G**

Gerenciamento de resíduos 59, 104

Gesso FGD 85, 86, 87

## **I**

Ignífugo 118, 123, 125

Incêndio 30, 118, 120, 121, 122, 125, 126, 127

## **M**

Madeira-cimento 92, 96, 104

Materiais de construção 1, 15, 22, 43, 87

Meio ambiente 2, 50, 52, 58, 59, 60, 62, 63, 64, 66, 68, 74, 75, 77, 90, 93, 101, 102, 103, 120, 127

Microestrutura 35, 39, 41, 42, 44, 45, 46, 50, 84, 132, 140

## **O**

Óleo vegetal usado 59, 66

## **P**

Painéis 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 113

Painéis aglomerados 102, 105, 106, 107, 109, 110, 111

Painéis de partículas 102, 106

Painéis OSB 102, 106, 107, 109, 110, 111

Pasta 10, 27, 30, 31, 33, 35, 39, 41, 42, 44, 47, 48, 49, 75, 76, 83, 85, 88, 89, 91, 137, 138, 140

*Paver* 52, 53, 55, 56, 57

*Pinus pinaster* 118, 119, 124, 125, 126

Propriedades mecânicas 17, 23, 28, 36, 49, 57, 73, 80, 84, 87, 112, 113, 122, 133

## **R**

Reaproveitamento de resíduos 59, 85, 92, 102, 103, 104

Rejeito de mineração de ferro 25, 43, 49

Rejeito de minério de ferro 25, 37, 39

Requisitos 16, 90, 106, 109, 142, 143, 144, 145, 146, 147, 153, 166

Resíduos de construção 17, 23, 24

Resíduos de madeira 92, 93, 94, 95, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110

Resíduos industriais 1, 2, 58, 85, 86, 87, 105, 111

Resíduos vítreos 52, 53, 58

Resistência 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 27, 28, 33, 34, 35, 36, 37, 41, 44, 48, 49, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 73, 75, 76, 77, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 87, 88, 89, 90, 92, 93, 99, 100, 105, 109, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 121, 122, 123, 124, 125, 126, 127, 128, 129, 131, 133, 134, 135, 136, 137, 138, 139, 168

Resistência mecânica à compressão 81, 128

Rochas 1, 2, 3, 4, 5, 15, 16, 113, 130

## **S**

Substituição de aglomerante 52

Sustentabilidade 17, 39, 52, 59, 60, 72, 119, 127, 130

# FORÇA, CRESCIMENTO E QUALIDADE DA ENGENHARIA CIVIL NO BRASIL 3



[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

# FORÇA, CRESCIMENTO E QUALIDADE DA ENGENHARIA CIVIL NO BRASIL 3



[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