



Franciele Braga Machado Tullio  
Lucio Mauro Braga Machado  
(Organizadores)

# A Aplicação do Conhecimento Científico na Engenharia Civil

4

**Atena**  
Editora  
Ano 2020



Franciele Braga Machado Tullio  
Lucio Mauro Braga Machado  
(Organizadores)

# A Aplicação do Conhecimento Científico na Engenharia Civil

4

**Atena**  
Editora  
Ano 2020

2020 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2020 Os autores

Copyright da Edição © 2020 Atena Editora

**Editora Chefe:** Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Diagramação:** Camila Alves de Cremo

**Edição de Arte:** Lorena Prestes

**Revisão:** Os Autores



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores. 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.

### **Conselho Editorial**

#### **Ciências Humanas e Sociais Aplicadas**

Profª Drª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins

Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas

Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso

Profª Drª Angeli Rose do Nascimento – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro

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

Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa

Profª Drª Denise Rocha – Universidade Federal do Ceará

Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia

Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá

Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima

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. Dr. Gustavo Henrique Cepolini Ferreira – Universidade Estadual de Montes Claros

Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice

Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense

Profª Drª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso

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 – Universidade Federal do Maranhão

Profª Drª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará

Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Profª Drª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Profª Drª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste

Profª Drª Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia

Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador

Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará

Profª Drª 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. 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. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará  
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido  
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

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

Prof. Dr. André Ribeiro da Silva – Universidade de Brasília  
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. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri  
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 José Guedes da Silva Júnior – Universidade Federal do Piauí  
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<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. 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> 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<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. Alexandre Leite dos Santos Silva – Universidade Federal do Piauí  
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. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará  
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<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. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

### **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. Me. Adalto Moreira Braz – Universidade Federal de Goiás  
Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba  
Prof. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão  
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 – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia  
Prof. Dr. Antonio Hot Pereira de Faria – Polícia Militar de Minas Gerais  
Prof<sup>a</sup> Ma. Bianca Camargo Martins – UniCesumar  
Prof<sup>a</sup> Ma. Carolina Shimomura Nanya – Universidade Federal de São Carlos  
Prof. Me. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Ma. Cláudia de Araújo Marques – Faculdade de Música do Espírito Santo  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Cláudia Taís Siqueira Cagliari – Centro Universitário Dinâmica das Cataratas  
Prof. Me. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará  
Prof<sup>a</sup> Ma. Daniela da Silva Rodrigues – Universidade de Brasília  
Prof<sup>a</sup> Ma. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco  
Prof. Me. Douglas Santos Mezacas – Universidade Estadual de Goiás  
Prof. Dr. Edwaldo Costa – Marinha do Brasil  
Prof. Me. Eduardo Gomes de Oliveira – Faculdades Unificadas Doctum de Cataguases  
Prof. Me. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita  
Prof. Me. Euvaldo de Sousa Costa Junior – Prefeitura Municipal de São João do Piauí  
Prof<sup>a</sup> Ma. Fabiana Coelho Couto Rocha Corrêa – Centro Universitário Estácio Juiz de Fora  
Prof. Dr. Fabiano Lemos Pereira – Prefeitura Municipal de Macaé  
Prof. Me. Felipe da Costa Negrão – Universidade Federal do Amazonas  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Germana Ponce de Leon Ramírez – Centro Universitário Adventista de São Paulo  
Prof. Me. Gevair Campos – Instituto Mineiro de Agropecuária  
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  
Prof<sup>a</sup> Ma. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia  
Prof. Me. Javier Antonio Albornoz – University of Miami and Miami Dade College  
Prof<sup>a</sup> Ma. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho  
Prof. Me. Jhonatan da Silva Lima – Universidade Federal do Pará  
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 Ma. Juliana Thaisa Rodrigues Pacheco – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
 Profª Drª Kamilly Souza do Vale – Núcleo de Pesquisas Fenomenológicas/UFPA  
 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. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ  
 Profª Drª Lívia do Carmo Silva – Universidade Federal de Goiás  
 Prof. Me. Lucio Marques Vieira Souza – Secretaria de Estado da Educação, do Esporte e da Cultura de Sergipe  
 Prof. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados  
 Prof. Dr. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual do Paraná  
 Prof. Dr. Michel da Costa – Universidade Metropolitana de Santos  
 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  
 Profª Ma. Marileila Marques Toledo – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri  
 Prof. Me. Ricardo Sérgio da Silva – Universidade Federal de Pernambuco  
 Prof. Me. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados  
 Profª Ma. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal  
 Profª Ma. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo  
 Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Faculdade Regional Jaguaribana  
 Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

<b>Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)</b>	
A642	<p>A aplicação do conhecimento científico na engenharia civil 4 [recurso eletrônico] / Organizadores Franciele Braga Machado Tullio, Lucio Mauro Braga Machado. – Ponta Grossa, PR: Atena, 2020.</p> <p>Formato: PDF            Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader.            Modo de acesso: World Wide Web.            Inclui bibliografia            ISBN 978-65-5706-171-8            DOI 10.22533/at.ed.718200907</p> <p>1. Engenharia civil – Pesquisa – Brasil. 2. Construção civil.            I. Tullio, Franciele Braga Machado. II. Machado, Lucio Mauro Braga.</p> <p style="text-align: right;">CDD 338.4769</p>
<b>Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422</b>	

Atena Editora  
 Ponta Grossa – Paraná - Brasil  
[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)  
 contato@atenaeditora.com.br

## APRESENTAÇÃO

A obra “Aplicação do Conhecimento Científico na Engenharia Civil 4” conta vinte e um capítulos sobre estudos realizados nas diversas áreas da engenharia civil.

A crescente preocupação com o meio ambiente e a escassez de recursos naturais exige a busca por novas alternativas no uso de materiais de construção. A presente obra oferece vários estudos em que resíduos de diferentes materiais sejam utilizados na construção civil.

Em consonância com o meio ambiente, apresentamos estudos sobre obras de saneamento, com a finalidade de promover a saúde e melhoria na qualidade de vida de uma determinada população.

São apresentadas pesquisas sobre patologias na construção civil e obras de pavimentação, o que permite o desenvolvimento de planos de manutenção e prevenção de novas patologias.

Por fim, apresentamos estudos sobre o comportamento estrutural em determinadas obras, e pesquisas sobre as diferentes demandas que a engenharia civil nos proporciona.

Desejamos que esta obra desperte ao leitor para a aplicação e desenvolvimento de novas pesquisas, com o objetivo de enriquecer ainda mais os estudos nas diversas atuações da engenharia civil. Boa leitura!

Franciele Braga Machado Tullio  
Lucio Mauro Braga Machado

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA DA UTILIZAÇÃO DE RESÍDUO DE CORTE DE MÁRMORE E GRANITO PARA PRODUÇÃO DE ARGAMASSA AUTONIVELANTE	
Augusto Felipe Chiella Vinícius Felipe Chiella Nathália Cortes Tosi Juliana Alves de Lima Senisse Niemczewski	
<b>DOI 10.22533/at.ed.7182009071</b>	
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>17</b>
ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA DA UTILIZAÇÃO DE RESÍDUO DE PÓ DE VIDRO COMO UMA ADIÇÃO MINERAL EM CONCRETOS DE ALTA RESISTÊNCIA, EM CONJUNTO AO EMPREGO DE MICROSSÍLICA	
Vinícius Felipe Chiella Augusto Felipe Chiella Nathália Cortes Tosi Juliana Alves de Lima Senisse Niemczewski	
<b>DOI 10.22533/at.ed.7182009072</b>	
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>35</b>
ESTUDO COMPARATIVO ENTRE BLOCOS DE CONCRETO COMUNS E BLOCOS DE CONCRETO COM ADIÇÃO DE FIBRAS DE CELULOSE PROVENIENTE DE PAPEL RECICLADO	
Mariana de Sousa Prazeres Eduardo Aurélio Barros Aguiar	
<b>DOI 10.22533/at.ed.7182009073</b>	
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>49</b>
ESTUDO DA VIABILIDADE TÉCNICA DO EMPREGO DE RESÍDUO CERÂMICO COMO AGREGADO MIÚDO EM ARGAMASSAS DE ASSENTAMENTO	
Nathália Cortes Tosi Augusto Felipe Chiella Vinícius Felipe Chiella Juliana Alves de Lima Senisse Niemczewski	
<b>DOI 10.22533/at.ed.7182009074</b>	
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>61</b>
USO DE LA CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA (CBC) COMO REMPLAZO PARCIAL DEL CEMENTO PORTLAND – CASO COLOMBIA	
Juan Pablo Izquierdo Jimenez Maria Juliana Alvarez Arias Manuel Alejandro Rojas Manzano	
<b>DOI 10.22533/at.ed.7182009075</b>	
<b>CAPÍTULO 6</b> .....	<b>79</b>
ESTUDO DO DESEMPENHO DE ARGAMASSAS COM RESÍDUO LIGNOCELULÓSICO COMO SUBSTITUTO PARCIAL DO CIMENTO	
Bruna Ferraz Carvalho Dantas Carlos Fernando de Araújo Calado Aires Camões	
<b>DOI 10.22533/at.ed.7182009076</b>	



**CAPÍTULO 7 ..... 97**

ESTUDO DO USO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO (RCD) DE MACEIÓ, COMO AGREGADO RECICLADO EM ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO E ASSENTAMENTO

Raone Bruno de Oliveira Silva  
Renato Antônio Santos Rolim  
Marcos André Melo Teixeira  
Pedro Gustavo dos Santos Barros

**DOI 10.22533/at.ed.7182009077**

**CAPÍTULO 8 ..... 114**

AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DE ARGAMASSAS COM ADIÇÃO DE REJEITO DE MINÉRIO DE COBRE DA PROVÍNCIA MINERAL DE CARAJÁS

Vinicius Lemos Pereira  
Douglas Martins Sousa  
Alan Monteiro Borges  
Lygia Maria Policarpio Ferreira

**DOI 10.22533/at.ed.7182009078**

**CAPÍTULO 9 ..... 124**

GERAÇÃO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL EM JOÃO PESSOA: ESTUDO COMPARATIVO DO FLUXO DE ENTRADA NA USIBEN ENTRE OS PERÍODOS 2009/2010 E 2015/2018

Ubiratan Henrique Oliveira Pimentel  
Gilson Barbosa Athayde Junior  
Cristine Helena Limeira Pimentel  
Samyr Sampaio Freire

**DOI 10.22533/at.ed.7182009079**

**CAPÍTULO 10 ..... 133**

DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO NA MICROBACIA DO ARROIO BARRAÇÃO, MUNICÍPIO DE GUAPORÉ-RS

Fernando Frigo Migliorini

**DOI 10.22533/at.ed.71820090710**

**CAPÍTULO 11 ..... 138**

ANÁLISE DE ESTUDO DO RECALQUE DE EDIFICAÇÃO SITUADA EM ZONA SUL DA CIDADE DE QUITO - EQUADOR

Alexis Enríquez León

**DOI 10.22533/at.ed.71820090711**

**CAPÍTULO 12 ..... 149**

PATOLOGIA EM LAJES MACIÇAS DE EDIFÍCIO EMPRESARIAL

Bruno Matos de Farias  
Ronaldo Garcia da Costa  
Rebecca Alves da Silva  
José Ricardo Cardoso Domingues

**DOI 10.22533/at.ed.71820090712**

**CAPÍTULO 13 ..... 164**

LEVANTAMENTO DE PATOLOGIAS EM PAVIMENTOS FLEXÍVEIS DE VIAS URBANAS DE MACAPÁ-AP

Beatriz da Silva de Brito  
Alinne Emely dos Santos Duarte  
Paulo Victor Prazeres Sacramento  
Ruan Fabrício Gonçalves Moraes  
Orivaldo de Azevedo Souza Junior

DOI 10.22533/at.ed.71820090713

**CAPÍTULO 14 ..... 179**

AVALIAÇÃO OBJETIVA E SUBJETIVA EM SUPERFÍCIE DE PAVIMENTO FLEXÍVEL EM TRECHO URBANO – ANÁLISE DA DISTÂNCIA ENTRE ESTAÇÕES DE AVALIAÇÃO EM SUBTRECHOS HOMOGÊNEOS

Gustavo da Silva Schiavon

DOI 10.22533/at.ed.71820090714

**CAPÍTULO 15 ..... 193**

IMPACTO NO NÍVEL DE SOLICITAÇÕES DOS PILARES POR DIFERENTES MODELOS DE ANÁLISE ESTRUTURAL

Ray Calazans dos Santos Silva

Luan Reginato

Danilo Pereira dos Santos

DOI 10.22533/at.ed.71820090715

**CAPÍTULO 16 ..... 209**

SAPATAS: COMPARAÇÃO ENTRE O MÉTODO DE CÁLCULO ANALÍTICO POR MEIO DAS BIELAS-TIRANTES E O MEF (2D)

Denise Itajahy Sasaki Gomes Venturi

Matheus Rangel Venturi

DOI 10.22533/at.ed.71820090716

**CAPÍTULO 17 ..... 224**

VIGAS DE PONTES PROTENDIDAS ENTRE 20 E 40 METROS

Leonardo Lunkes Wagner

Denizard Batista de Freitas

DOI 10.22533/at.ed.71820090717

**CAPÍTULO 18 ..... 238**

PLANO DE MOBILIDADE URBANA – PMU: UMA BREVE ANÁLISE DA LEI 12.587/2012

Rodrigo Marques do Nascimento

Fábio Mendes Ramos

Daniel Martins Nunes

DOI 10.22533/at.ed.71820090718

**CAPÍTULO 19 ..... 248**

NOVO LABORATÓRIO DO CURSO DE EDIFICAÇÕES DO IFPA

Luciano Costa de Farias

Marcelo Martins Farias

Wellen Patrícia Farias dos Reis

Celestina de Lima Rezende Farias

Cleydimara Aquino de Brito

DOI 10.22533/at.ed.71820090719

**CAPÍTULO 20 ..... 256**

A QUALIFICAÇÃO DO PROFISSIONAL DE ENGENHARIA CIVIL NO MERCADO ATUAL E O SEU IMPACTO DE CUSTO PARA UMA EMPRESA FORMAL

Rafaela Cardoso Galace

Flávia Aparecida Reitz Cardoso

DOI 10.22533/at.ed.71820090720

<b>CAPÍTULO 21</b> .....	<b>267</b>
ANÁLISE OBSERVACIONAL GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA DE UM TRECHO DA RODOVIA DO CAFÉ Amanda Fernandes de Oliveira Leonardo Cesar de Souza Sowinski Gabrielly De Souza dos Santos Alex Sandro da Costa Mariana Alher Fernandes DOI 10.22533/at.ed.71820090721	
<b>SOBRE OS ORGANIZADORES</b> .....	<b>280</b>
<b>ÍNDICE REMISSIVO</b> .....	<b>281</b>

## ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA DA UTILIZAÇÃO DE RESÍDUO DE CORTE DE MÁRMORE E GRANITO PARA PRODUÇÃO DE ARGAMASSA AUTONIVELANTE

Data de aceite: 01/06/2020

Data de submissão: 19/03/2020

### Augusto Felipe Chiella

Universidade de Caxias do Sul/UCS

Caxias do Sul – RS

<http://lattes.cnpq.br/5465301082677424>

### Vinícius Felipe Chiella

Universidade de Caxias do Sul/UCS

Caxias do Sul – RS

<http://lattes.cnpq.br/6821333760606562>

### Nathália Cortes Tosi

Universidade de Caxias do Sul/UCS

Caxias do Sul – RS

<http://lattes.cnpq.br/8189098228117640>

### Juliana Alves de Lima Senisse Niemczewski

CCET, Universidade de Caxias do Sul/UCS

Caxias do Sul – RS

<http://lattes.cnpq.br/0759962154482745>

**RESUMO:** A indústria da construção civil é responsável pelo consumo exacerbado de diversos recursos naturais não renováveis, assim como pela geração de grande quantidade de resíduos. Por outro lado, este setor apresenta um grande potencial para o aproveitamento de resíduos reciclados provenientes de outras

atividades industriais. Dentro deste contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a viabilidade técnica do emprego de Resíduo de Corte de Mármore e Granito (RCMG) como adição mineral para produção de argamassa autonivelante. Para tal, foram produzidas argamassas com os traços 1:4 e 1:5 (cimento:areia, em massa), empregando em sua composição – como adição mineral – o RCMG em teores de 0, 5, 10, 15 e 20%, em relação a massa de cimento. No estado fresco da mistura foram realizados os ensaios de consistência (mini *slump*) e tempo de fluxo, caracterizando a argamassa quanto a sua capacidade de fluidez e de se manter homogênea. Já no estado endurecido foram realizados os ensaios de resistência à tração na flexão e à compressão. Para as argamassas de traço 1:4 constatou-se que – por já apresentar uma elevada relação de materiais finos – o emprego do RCMG ocasionou uma diminuição na consistência da mistura e um aumento na viscosidade desta. Nas argamassas de traço 1:5 – de modo geral – verificou-se que a maior proporção de agregado miúdo resulta em uma matriz com maior quantidade de poros, deste modo – ao ser inserido nestas argamassas – o RCMG acomodou-se nos poros da matriz, realizando o efeito *fíler*, aumentando a fluidez e a viscosidade da argamassa. Quanto aos

ensaios no estado endurecido, observou-se que o emprego do resíduo proporcionou aumento nas resistências mecânicas para ambos os traços, principalmente quando inserido em teores de adição de 15 e 20%.

**PALAVRAS-CHAVE:** Argamassa autonivelante. Resíduo de Corte e Granito (RCMG). Resíduo reciclado. Adição mineral. Contrapiso.

## TECHNICAL FEASIBILITY ANALYSIS FROM THE USE OF RESIDUE OF COURT OF MARBLE AND GRANITE FOR PRODUCTION OF SELF-LEVELING MORTAR

**ABSTRACT:** The civil construction industry is responsible for excessive consuming natural resources, as well as the generating large amounts of waste. On the other hand, this sector presents a great potential of using recycled waste from other industrial activities. In this context, the objective of this paper was to evaluate the technical feasibility of the using Residue of Court of Marble and Granite (RCMG) as a mineral addition to self-leveling mortar production. In order to do this, it was produced mortar with 1: 4 and 1: 5 traces (cement:sand, in mass), employing in its composition – as mineral addition – the RCMG in contents of 0, 5, 10, 15 and 20%, relative to the cement mass. In the fresh state, consistency test (mini slump) and flow time test were performed, characterizing the mortar in terms of its fluidity capacity and the capacity of keeping itself homogeneous. In the hardened state, it was performed tests of flexural and the compressive strength. As for 1: 4 mix mortars, it was found that – since it already has a high ratio of fine materials – the use of RCMG caused a decrease in the consistency of the mixture and an increase in its viscosity. In 1: 5 mix mortars – in general – it was found that the highest proportion of fine aggregate results in a matrix with a greater amount of pores, thus – when inserted in the mortar – the RCMG accommodated itself in the pores of the matrix, where the filler effect happened, which increases the mortar fluidity and viscosity. As for the tests in the hardened state, it was observed that the use of the residue provided an increase in the mechanical resistance for both traces, mainly when inserted in addition levels of 15 and 20%.

**KEYWORDS:** Self-leveling mortar. Residue of Court of Marble and Granite (RCMG). Recycled waste material. Mineral addition. Subfloor.

## 1 | INTRODUÇÃO

O setor da construção civil apresenta um grande potencial ao reaproveitamento de materiais reciclados provenientes de outras atividades industriais. Averigua-se que – quando bem empregado – tais materiais alternativos proporcionam a redução de custo das misturas e do impacto ambiental. Neste contexto enquadra-se o Resíduo de Corte de Mármore e Granito (RCMG), um rejeito oriundo de marmorarias, produzido a partir dos processos de corte e polimento das pedras ornamentais. Quando gerado, tal resíduo é despejado em lagoas de sedimentação por onde fica armazenado por tempo

indeterminado, acarretando custos para a empresa geradora. Conforme uma estimativa apresentada por Matta *et al.* (2013), em 2011 gerou-se, no Brasil, em torno de 2 milhões de toneladas de resíduo de corte de pedras ornamentais, assim, evidenciando a importância do desenvolvimento de estudos propondo uma nova utilização a este tipo de rejeito industrial.

Além do justaposto acima, há – no mercado da construção civil – uma exigência por obras mais rápidas. Neste contexto, desenvolveu-se, na década de 80, na Europa, um sistema de contrapisos autonivelantes (CICHINELLI, 2012), que permite a execução da camada de regularização de pisos de forma mais rápida e fácil, permitindo a liberação ao tráfego em até 3 horas após a aplicação (NAKAKURA; BUCHER, 1997).

O contrapiso autonivelante – desenvolvido com o emprego de argamassas autonivelantes – ao ser lançado, nivela-se pela ação conjunta da gravidade e de sua própria capacidade de fluxo, não sendo necessária a execução de procedimentos complexos para adensamento ou acabamento superficial. Deste modo a argamassa empregada deve apresentar elevada fluidez e uma viscosidade adequada para que atenda aos três requisitos de trabalhabilidade de sistemas autonivelantes: capacidade de enchimento, capacidade de passagem de obstáculos e a resistência à segregação (EFNARC, 2002). Para a obtenção destas características reológicas, faz-se necessário o uso de aditivos químicos. Ainda pode-se empregar algumas adições minerais, que – por serem materiais finos – podem contribuir para a melhoria da viscosidade da mistura, representando uma alternativa de redução dos custos de produção.

Mediante ao exposto, este trabalho propôs avaliar a viabilidade técnica do emprego de RCMG como adição mineral para produção de argamassas autonivelantes. Para isto, foi realizada uma série de ensaios que permitem avaliar a influência deste resíduo nas misturas.

## 2 | PROGRAMA EXPERIMENTAL

Para o programa experimental, estabeleceu-se como parâmetros controláveis o teor de adição de RCMG empregado na mistura (0,5,10,15 e 20% sobre a massa de aglomerante) e o traço das argamassas produzidas – 1:4 e 1:5, cimento:agregado, em massa – e verificou-se a influência destes fatores nas propriedades das argamassas produzidas. O comportamento das argamassas foi avaliado mediante os ensaios de consistência pelo método de mini *slump test*, viscosidade (tempo de fluxo) pelo ensaio no mini-funil V (ambos apresentados pela EFNARC, 2002) e resistência à tração na flexão e à compressão (ABNT NBR 13279:2005).

## 2.1 Materiais Utilizados

### 2.1.1 Aglomerante

As argamassas forma produzidas com Cimento Portland de Alta Resistência Inicial Resistente a Sulfatos (CP V ARI RS), visto que este apresenta uma alta velocidade de endurecimento e de ganho de resistência, essenciais para a liberação rápida ao tráfego sobre o piso autonivelante. Tal aglomerante apresentou massa específica (ABNT NBR NM 23:2001) de 2,96 g/cm<sup>3</sup> e módulo de finura (ABNT NBR 11579:2012) de 0,8%.

### 2.1.2 Agregado miúdo

O agregado miúdo utilizado na pesquisa corresponde a uma composição de 50% de areia fina fluvial quartzosa natural e 50% de areia industrial. Estas foram caracterizadas quanto suas propriedades físicas através dos ensaios de granulometria (ABNT NBR NM 248:2003), massa específica (ABNT NBR 9776:1988) e massa unitária (ABNT NBR 7251:1982). Os resultados desta caracterização estão apresentados na Tabela 1.

Areia	Módulo de finura	Massa específica (g/cm <sup>3</sup> )	Massa unitária (g/cm <sup>3</sup> )
Natural Fina	0,81	2,63	1,42
Industrial	3,39	2,54	1,2

Tabela 1 – Caracterização física das areias utilizadas

Fonte: Autores (2020).

### 2.1.3 Aditivos químicos

Para produção das argamassas foram utilizados dois aditivos químicos, um deles desenvolvido especificamente para autonivelantes – aqui chamado de AN – a base de resinas sintéticas e policarboxilato. O outro, um aditivo superplastificante (SP), que apresenta como composição básica policarboloxilatos.

### 2.1.4 Adição mineral

Para realização do estudo, foi empregado – como adição mineral – o resíduo de corte de mármore e granito, em teores de 0, 5, 10, 15 e 20% da massa de aglomerante da mistura. Este foi obtido em uma marmoraria que realiza atividades de corte de placas de mármore e granito para comercialização, localizada na cidade de Bento Gonçalves/RS. A Figura 1a apresenta os procedimentos realizados na marmoraria para realização do corte das rochas, assim como os processos realizados no resíduo para prepará-lo para ser utilizado neste trabalho. Já a Figura 1b apresenta o aspecto físico do RCMG saturado

(logo após ser coletado) e a Figura 1c apresenta a amostra seca e destorroada (pronta para ser empregada nas misturas).

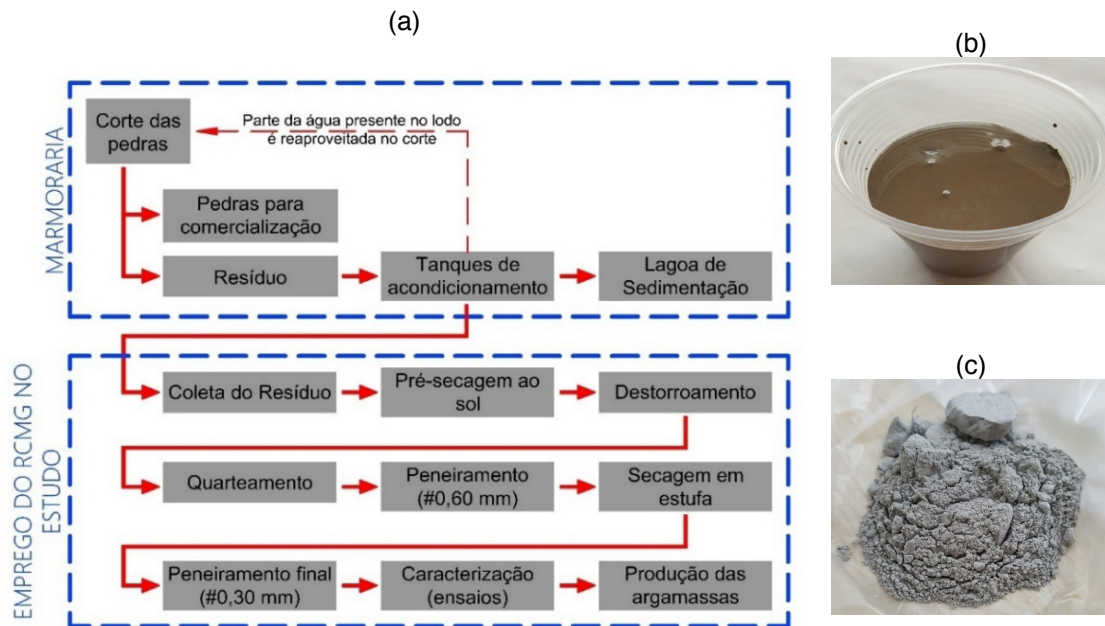


Figura 1 – Produção do resíduo e preparação para o estudo

Fonte: Autores (2020).

A granulometria do resíduo foi avaliada por peneiramento (Tabela 2) e através da análise das imagens de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) produzidas no Laboratório Central de Microscopia (LCMic)/UCS (Figura 2).

Peneiras ( $\mu\text{m}$ )	150	75	38	25	<25	Diâmetro Máximo ( $\mu\text{m}$ )
Percentual médio retido (%)	2,05	4,13	33,27	58,98	1,58	150
Percentual médio retido acumulado (%)	2,05	6,18	39,44	98,42	100,00	

Tabela 2 – Granulometria do RCMG

Fonte: Autores (2020).

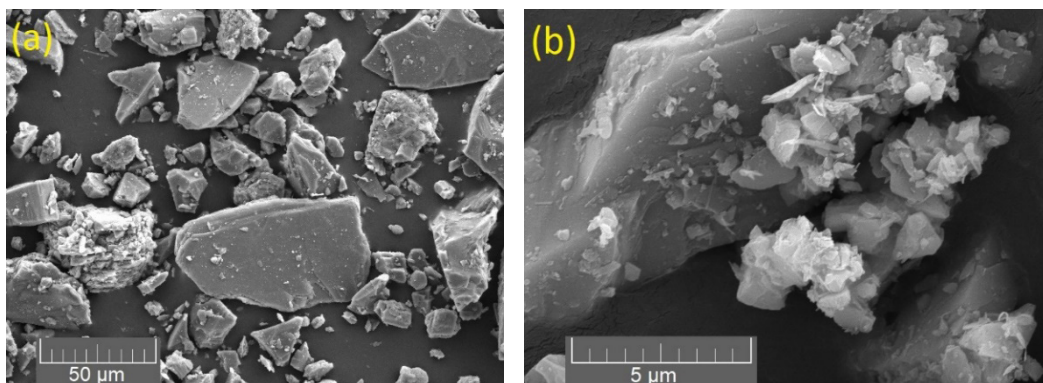


Figura 2 – Imagem produzida por MEV. (a) ampliação de 1.000 vezes. (b) ampliação de 15.000 vezes.

Fonte: Autores (2020).



Conforme pode-se constatar nas imagens, as partículas do RCMG apresentam geometrias irregulares e com arestas vivas, o que poderia implicar em um maior atrito interno quando comparado com partículas esféricas (como por exemplo as da microssílica). Ainda, através das imagens, verifica-se a presença de partículas com grande variedade de dimensões, observando-se desde fragmentos inferiores a  $5 \mu\text{m}$  até frações com dimensão de  $150 \mu\text{m}$ . Desta forma, quando inseridas em argamassas, as partículas do RCMG auxiliam a manter os grãos de cimento e areia suspensos (devido ao efeito de empacotamento), o que contribui para melhoria da coesão e fluidez da mistura.

Ainda, a análise deste resultado – conjuntamente ao obtido no ensaio de granulometria – indica que, por apresentar dimensões muito pequenas, as partículas do RCMG tendem a flocular, o que dificulta o processo de peneiramento. Deste modo, embora o MEV abranja uma pequena área da amostra de resíduo, acredita-se que uma parcela mais significativa que os 1,58% passante no ensaio de granulometria apresenta granulometria inferior a  $25 \mu\text{m}$ .

Além destes ensaios, verificou-se a composição química e mineralógica do resíduo por Espectroscopia de Dispersão em Energia (EDS) e Difratomia de Raios X (DRX), respectivamente, ambos feitos no LCMic/UCS. O primeiro foi realizado no equipamento Oxford modelo X-Max  $50 \text{ mm}^2$ , com tensão de aceleração dos elétrons de 20KV e metalizando a amostra com ouro. Já o segundo, foi realizado no equipamento Shimadzu LabX XDR-6000 e as condições analíticas do ensaio foram a utilização de uma faixa de  $5^\circ$  a  $120^\circ$ , espaçamento entre as leituras (passos) de  $0,05^\circ$  e tempo de integração (tempo de leitura de cada passo) de 1s. O resultado obtido no ensaio de DRX está apresentado na Figura 3.

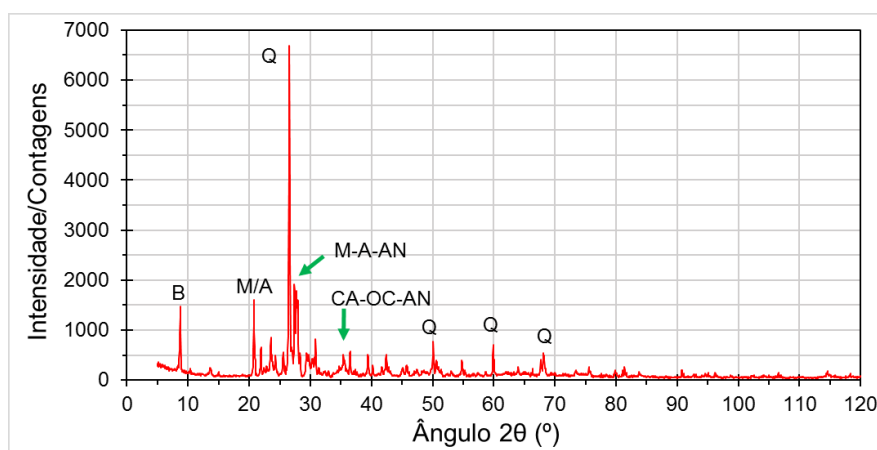


Figura 3 – Difratograma da amostra de RCMG

Onde: B = Biotita ( $\text{KMg}_3(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ , PDF 42-1339); M = Microclínio ( $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$ , PDF 84-0708); A = Albita ( $\text{Na}(\text{AlSi}_3\text{O}_8)$ , PDF 84-0982); Q = Quartzo ( $\text{SiO}_2$ , PDF 85-0504); AN = Anortita ( $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ , PDF 73-0264); CA = Calcita ( $\text{CaCO}_3$ , PDF 81-2027); OC = Óxido de cálcio ( $\text{CaO}$ , PDF 03-0865). Sendo os quatro primeiros minerais comumente presentes nos granitos, e os dois últimos nos mármore. Fonte: Autores (2020).

Pelo resultado obtido no ensaio de EDS constatou-se – de forma qualitativa – que a amostra tem como principal constituinte o Silício, possivelmente constituindo os minerais de quartzo ( $\text{SiO}_2$ ), feldspatos – microclínio ( $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$ ) e albita ( $\text{Na(AlSi}_3\text{O}_8)$ ) – e silicatos, ou ainda em forma de sílica livre, conforme averiguado no resultado do ensaio de DRX. A análise do difratograma indica que os compostos químicos presentes na amostra de RCMG se apresentam na forma cristalina, visto que o gráfico contém picos de intensidade em diversos ângulos de análise, principalmente entre os  $20^\circ$  e  $30^\circ$  (sendo que cada pico corresponde a uma estrutura cristalina diferente que compõe a amostra). Ainda, a capacidade de reatividade do RCMG foi avaliada de forma mais quantitativa no ensaio de Índice de Atividade Pozolânica (IAP), pelo ensaio descrito na ABNT NBR 5752:2014, onde verificou-se que a amostra não apresenta potencial pozolânico, visto que apresentou um IAP de 88%, sendo que – segundo a ABNT NBR 12653:2015 – para um material ser classificado como pozolânico ele deve apresentar um IAP superior a 90%. Assim, o resíduo em questão, embora chamado – neste trabalho – como adição mineral, por não apresentar reação pozolânica, enquadra-se como uma adição mineral inerte (fíler).

## 2.2 Produção das argamassas

Para a mistura dos materiais, primeiramente adicionou-se na argamassadeira a água ( $a/c=0,95$ ) conjuntamente com o cimento e o RCMG, misturando-os por 1 minuto em velocidade média. Após, durante 1 minuto em velocidade alta, acrescentou-se o agregado miúdo aos poucos, sem parar o processo de mistura. Posteriormente, adicionou-se os aditivos químicos e misturou-se a argamassa por mais 10 minutos. Quanto aos aditivos químicos, foi empregada uma quantidade suficiente destes para que as argamassas de referência – sem RCMG – obtivessem um diâmetro de espalhamento no ensaio de mini slump test entre 24 e 26cm (conforme a recomendação da EFNARC (2002)), sendo estes mantidos para todas as argamassas de mesmo traço para eliminar qualquer influência que os aditivos pudessem exercer nas argamassas. Para o traço 1:4, fixou-se um teor de aditivo AN de 1,0% e de SP de 0,7% e para o traço 1:5, utilizou-se, respectivamente, 1,0% e 1,5%. A Figura 4 esquematiza o processo de mistura dos materiais.

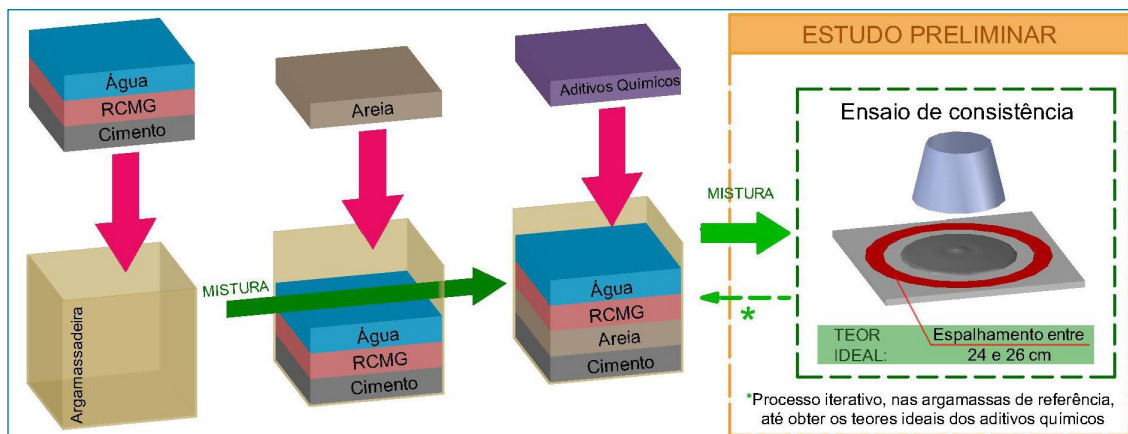


Figura 4 – Procedimento de mistura dos materiais

Fonte: Autores (2020).

## 2.3 Métodos de ensaio

### 2.3.1 Consistência e tempo de fluxo (viscosidade plástica)

A determinação da consistência das argamassas produzidas foi realizada através da medição do diâmetro de espalhamento destas no ensaio de mini *slump* e da viscosidade plástica pelo ensaio do mini-funil V, ambos apresentados pela norma europeia EFNARC (2002). O ensaio de consistência consiste no preenchimento de um molde tronco cônico (Figura 5a) com a argamassa, liberação desta e verificação do diâmetro de espalhamento. A norma indica como valores de referência um espalhamento entre 24 e 26cm. Já o ensaio de viscosidade consiste no enchimento de um funil (Figura 5b) com a argamassa, liberação desta e medição do tempo de queda (tempo de fluxo). Tal ensaio fornece parâmetros para avaliar a viscosidade da argamassa, pois, segundo a EFNARC (2002), tempos de queda inferiores a 8s indicam uma baixa viscosidade.

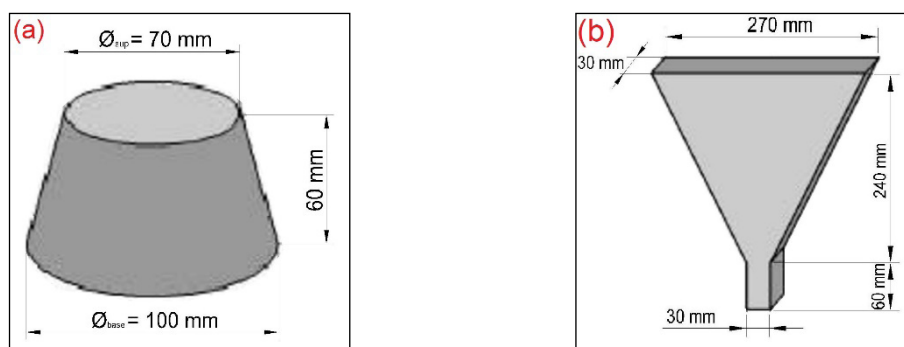


Figura 5 – Moldes: a) ensaio de consistência; b) ensaio de tempo de fluxo.

Fonte: Adaptado de EFNARC (2002).

### 2.3.2 Resistência à tração na flexão e à compressão

A caracterização mecânica das argamassas foi realizada através da metodologia apresentada na ABNT NBR 13279:2005, pelo ensaio de resistência à tração na flexão e à compressão, nas idades de 7 e 28 dias, em uma prensa hidráulica modelo EMIC PC200i. Para tal, foram produzidos 6 corpos de prova prismáticos (4x4x16cm) para cada tipo de argamassa, moldados em uma única camada – sem aplicação de golpes – dada à característica autonivelante da argamassa.

## 3 | ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os dados experimentais obtidos foram submetidos a análise da variância (ANOVA) com o intuito de investigar a influência que as variáveis controláveis exerceram sobre o resultado obtido. Esta foi realizada através do *software* Excel, utilizando-se um percentual de confiança de 95%.

### 3.1 Consistência e tempo de fluxo

Os resultados médios dos espalhamentos apresentados pelas argamassas no ensaio de mini *slump* e do ensaio de tempo de fluxo estão apresentados na Tabela 3. Na Tabela 4 estão apresentados os comportamentos das argamassas no ensaio de mini *slump* onde – através de uma análise visual – nota-se que nenhuma das argamassas produzidas apresentou uma segregação exacerbada, sendo esta observada quando há um acúmulo de partículas localizadas no centro do espalhamento da argamassa, ou – segundo Martins (2009) – pela presença de bordas não uniformes que indicam uma tendência à segregação.

Traço	1:4					1:5				
Teor de adição de RCMG	0%	5%	10%	15%	20%	0%	5%	10%	15%	20%
Consistência (cm)	25,67	24,17	24,10	25,57	23,33	25,97	26,73	28,17	26,87	27,67
Tempo de fluxo (s)	1,97	2,20	2,35	2,44	2,55	3,40	3,56	3,63	3,70	3,76

Tabela 3 – Resultados do ensaio de consistência e tempo de fluxo

Fonte: Autores (2020).


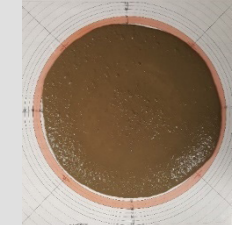
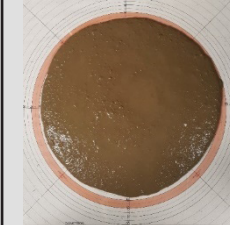

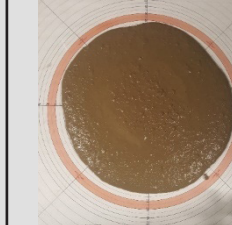
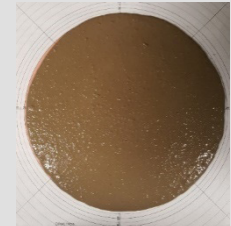




		Teor de RCMG				
		0%	5%	10%	15%	20%
Traço 1:4						
Traço 1:5						

Tabela 4 – Espalhamento das argamassas no ensaio de mini slump

Fonte: Autores (2020).

Através da análise dos resultados, verifica-se que todas as argamassas de traço 1:4 com resíduo em sua composição apresentaram uma consistência inferior a obtida pela argamassa de referência deste traço. Ainda, com exceção da argamassa com 15% de RCMG, observa-se uma relação inversamente proporcional entre o teor de resíduo e o espalhamento apresentado. Crê-se que – por ter uma maior relação de finos – os poros da matriz cimentícia das argamassas deste traço já estão praticamente colmatados, assim, quando inserido na mistura, o RCMG colabora para o aumento do atrito interno em condições de fluxo, visto que as partículas deste material apresentam geometria angular (conforme constatado no ensaio MEV).

Já para o traço 1:5, verifica-se uma tendência ao aumento do diâmetro de espalhamento com a inserção do resíduo, em virtude deste traço apresentar uma menor proporção de aglomerante. Deste modo, comparadas às argamassas do traço 1:4, as do traço 1:5 apresentam uma matriz com mais vazios entre os agregados, o que permite o RCMG acomodar-se nos interstícios desta. Assim acredita-se que, ao ser inserido na argamassa, o resíduo auxilia a manter os demais sólidos da mistura suspensos (dispersando-os) e – com isto – reduzindo o atrito interno da argamassa e aumentando sua fluidez.

Quanto ao ensaio de tempo de fluxo, os resultados revelam que todas as argamassas produzidas apresentam um tempo de escoamento inferior ao limite apresentado pela norma, de 8s, indicando uma deficiência na viscosidade o que pode, segundo Repette (2005) acarretar em uma segregação da mistura. Verifica-se que – para ambos os traços – o aumento do teor de RCMG proporcionou um aumento no tempo de fluxo e, conseqüentemente, uma melhoria na viscosidade das argamassas. Ainda, destaca-se que as argamassas do traço 1:5 apresentaram resultados mais satisfatórios (em média,

57% maior que as do outro traço), isto, provavelmente em função da maior proporção de agregado miúdo. Afinal, as partículas de maior dimensão – por proporcionarem um maior atrito interno – reduzem a velocidade do escoamento da argamassa.

A Tabela 5 e a Tabela 6 apresentam a análise estatística da variância dos resultados obtidos no ensaio de consistência e de tempo de fluxo, respectivamente. Em ambos os ensaios constatou-se que, tanto o teor de adição de resíduo como o traço das argamassas proporcionaram variações significativas nos resultados dos ensaios realizados. No ensaio de consistência, averiguou-se, ainda, que a interação entre estas variáveis apresentou influência nos resultados obtidos. Isto revela que – em virtude da distinção entre as proporções de materiais – o resíduo, quando inserido nas argamassas, exerce uma influência particular, dependendo do traço da argamassa.

Variável	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico	Significância
Teor de RCMG (1)	2,9686667	4	0,74217	6,28955	0,001908	2,866081	S
Traço (2)	47,376333	1	47,3763	401,494	1,04E-14	4,351244	S
1 x 2	18,148667	4	4,53717	38,4506	4,01E-09	2,866081	S
Erro	2,36	20	0,118				
Total	70,853667	29					

Tabela 5 – Análise de variância dos resultados de consistência das argamassas

Onde: SQ - soma quadrática; gl - graus de liberdade; MQ - média quadrática; valor-P - probabilidade de significância; S - valor significativo; NS - valor não significativo (considerando  $p < 5\%$  como efeito significativo).

Fonte: Autores (2020).

Variável	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico	Significância
Teor de RCMG (1)	0,26594	4	0,06648	17,5654	0,008391	6,388233	S
Traço (2)	4,27716	1	4,27716	1130,03	4,67E-06	7,708647	S
Erro	0,01514	4	0,00379				
Total	4,55824	9					

Tabela 6 – Análise de variância dos resultados de tempo de fluxo das argamassas

Onde: SQ - soma quadrática; gl - graus de liberdade; MQ - média quadrática; valor-P - probabilidade de significância; S - valor significativo; NS - valor não significativo (considerando  $p < 5\%$  como efeito significativo).

Fonte: Autores (2020).

### 3.2 Resistência à tração na flexão e à compressão

Os resultados obtidos nos ensaios de resistência à tração na flexão e à compressão estão apresentados na Tabela 7.

Traço			1:4					1:5				
Teor de adição de RCMG			0%	5%	10%	15%	20%	0%	5%	10%	15%	20%
Resistências médias (MPa)	Tração na flexão	7 dias	3,44	3,72	4,00	4,20	4,37	4,37	4,60	4,58	4,63	4,71
		28 dias	5,10	5,44	5,34	5,78	5,69	5,14	5,73	5,69	5,57	5,91
	Compressão	7 dias	11,65	13,84	13,23	13,31	12,15	10,59	10,58	11,63	12,78	11,97
		28 dias	19,47	18,77	19,85	20,15	19,68	18,69	17,12	19,58	21,60	18,70

Tabela 7 – Resultado dos ensaios de resistência mecânica

Fonte: Autores (2020).

Através da análise dos resultados constata-se que – para ambos os ensaios – o emprego do RCMG proporcionou uma melhoria no desempenho mecânico das argamassas. Em virtude de o resíduo não demonstrar potencial pozolânico no ensaio de IAP sabe-se que o incremento da resistência mecânica decorre do efeito físico que uma adição mineral pode apresentar, que – segundo Dal Molin (2005) – pode ser pelo efeito de microfiller, refinamento da estrutura de poros e dos produtos de hidratação do cimento ou alteração da microestrutura da zona de transição.

Quanto aos resultados do ensaio de resistência à tração na flexão, acredita-se que o incremento na resistência com a utilização do RCMG deve-se – principalmente – ao fato destas partículas atuarem como pontos de nucleação para os produtos de hidratação, produzindo cristais de menor dimensão e distribuídos de forma mais homogênea pela matriz cimentícia. Assim, tal resíduo contribuiu para densificar a zona de transição entre as partículas de agregado e a pasta cimentícia, sendo esta a região de maior fragilidade para o ensaio de resistência à tração.

Para este ensaio, os resultados demonstram que todas as argamassas com algum percentual de resíduo apresentaram resistência média superior à argamassa de referência. Para o traço 1:4 – aos 28 dias – obteve-se uma resistência máxima empregando-se 15% de RCMG, em que a resistência média obtida corresponde a um aumento de 13,33% em relação a argamassa sem resíduo. Em relação ao traço 1:5, a melhor performance foi obtida pela argamassa com 20% de adição mineral, que apresentou um acréscimo – em relação a argamassa de referência – de 14,98%.

Em relação a resistência à compressão, acredita-se que a melhoria no desempenho apresentado com o acréscimo do RCMG dá-se, de forma mais expressiva, pelo efeito filler apresentado pelo resíduo. Quanto aos resultados apresentados, destaca-se que apenas as argamassas contendo 5% de resíduo exibiram uma perda na resistência aos 28 dias em relação as argamassas de referência (para o traço 1:4 a respectiva argamassa apresentou um decréscimo de 3,60% enquanto que a argamassa do traço 1:5 demonstrou uma perda de 8,40%). Ainda em relação aos resultados exibidos para a idade mais avançada, observa-se uma convergência de ambos os traços, apontando o teor de RCMG de 15% como o melhor resultado.

Para o traço 1:4 a utilização de 15% de resíduo proporcionou um aumento de – aproximadamente – 3,50%, e para o traço 1:5, de 15,57%. Observa-se um aumento mais acentuado para o segundo traço, em virtude de este apresentar – em sua matriz – uma maior quantidade de vazios, portanto, a inserção do resíduo nesta mistura permite uma melhoria mais efetiva da colmatação dos poros existentes na argamassa.

A Tabela 8 apresenta a ANOVA para o ensaio de resistência à tração na flexão e a Tabela 9 para à compressão.

Variável	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico	Significância
Traço (1)	2,21184	1	2,21184	17,67045258	0,000143289	4,084745733	S
Teor de RCMG (2)	2,937656667	4	0,734414167	5,867255636	0,000820364	2,605974949	S
Idade (3)	24,37162667	1	24,37162667	194,7056176	5,85327E-17	4,084745733	S
1 x 2	0,44091	4	0,1102275	0,880610628	0,484191136	2,605974949	NS
1 x 3	0,89304	1	0,89304	7,134521923	0,010881138	4,084745733	S
2 x 3	0,087556667	4	0,021889167	0,174873174	0,950021965	2,605974949	NS
1 x 2 x 3	0,301876667	4	0,075469167	0,602925316	0,662746729	2,605974949	NS
Erro	5,006866667	40	0,125171667				
Total	36,25137333	59					

Tabela 8 – Análise de variância da resistência à tração na flexão

Onde: SQ - soma quadrática; gl - graus de liberdade; MQ - média quadrática; valor-P - probabilidade de significância; S - valor significativo; NS - valor não significativo (considerando efeito significativo com  $p < 5\%$ ).

Fonte: Autores (2020).

Variável	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico	Significância
Traço (1)	23,70963	1	23,70963	9,291608618	0,002945443	3,936142986	S
Teor de RCMG (2)	59,11452833	4	14,77863208	5,79162413	0,000310881	2,462614926	S
Idade (3)	1549,58907	1	1549,58907	607,2711871	2,84419E-44	3,936142986	S
1 x 2	26,171545	4	6,54288625	2,564103205	0,042849422	2,462614926	S
1 x 3	5,790413333	1	5,790413333	2,269215269	0,13511917	3,936142986	NS
2 x 3	18,85082167	4	4,712705417	1,846870418	0,125795378	2,462614926	NS
1 x 2 x 3	7,619678333	4	1,904919583	0,746522287	0,562592704	2,462614926	NS
Erro	255,1725	100	2,551725				
Total	1946,018187	119					

Tabela 9 – Análise de variância da resistência à compressão

Onde: SQ - soma quadrática; gl - graus de liberdade; MQ - média quadrática; valor-P - probabilidade de significância; S - valor significativo; NS - valor não significativo (considerando efeito significativo com  $p < 5\%$ ).

Fonte: Autores (2020).



Conforme pode-se constatar, as três variáveis avaliadas separadamente apresentaram influência significativa nos ensaios de resistência mecânica. Em relação ao traço, tal comportamento – já esperado – demonstra a influência de diferentes consumos de cimento nas argamassas e, também, indica que os diferentes níveis de empacotamento, observados entre os dois traços, proporciona uma variação significativa na resistência mecânica das argamassas. Ao avaliar a idade de ruptura, verifica-se um aumento na resistência dos 7 dias para os 28 dias, em virtude do desenvolvimento das reações de hidratação do cimento, que ocorrem ao transcorrer deste período, conforme esperado.

O efeito não significativo observado entre a interação do teor de resíduo e da idade de ruptura indica que o RCMG – como adição mineral – não provoca ganhos significativos na resistência mecânica ao longo do tempo, sendo tal comportamento esperado – segundo Gonçalves (2000) – para as adições que não apresentam potencial pozolânico. Isto porque, a melhor compactação proporcionada pelo efeito fíler apresenta-se imutável em relação à idade das argamassas. Deste modo, o ganho de resistência ao passo que há um aumento na idade das argamassas (observado através da significância desta variável) decorre exclusivamente pelo desenvolvimento das reações de hidratação do Cimento Portland.

Quanto a significância da interação do traço e do teor de RCMG observada na análise estatística dos resultados do ensaio de resistência à compressão conclui-se que a amplitude de influência do emprego do resíduo está em função do traço da argamassa. Quanto mais porosa for a argamassa, maior a potencialidade da influência exercida pelas partículas da adição mineral.

Por fim, visto que o emprego do RCMG proporcionou aumento na resistência mecânica das misturas de argamassa, observa-se que tal utilização permite reduzir o consumo de cimento para obter uma determinada resistência mecânica e com isso contribui para a redução do calor de hidratação gerado. Assim, o emprego do RCMG substituindo parcialmente o aglomerante da mistura pode reduzir o surgimento de fissuras oriundas da retração plástica, química e autógena (bastante comuns em argamassas autonivelantes devido ao baixo tempo de pega). Contudo, tal substituição deve ser avaliada mediante estudos específicos para tal.

## 4 | CONCLUSÕES

Nas argamassas de traço 1:4, devido a elevada proporção de finos, verificou-se que o acréscimo do resíduo resultou em um decréscimo em sua consistência. Já nas argamassas de traço 1:5 – que contém uma maior quantidade de poros em sua matriz – verificou-se que o RCMG, ao ser inserido, auxiliou a manter os demais sólidos suspensos, reduzindo o atrito interno da mistura e aumentando sua fluidez. Quanto aos resultados do ensaio de tempo de fluxo observou-se que – para ambos os traços – a inserção do

resíduo provocou uma melhoria na viscosidade das argamassas. Por atuar como fíler e – possivelmente – auxiliar para o refinamento da estrutura de poros da matriz cimentícia, na maior parte dos casos, o emprego do RCMG proporcionou um aumento na resistência mecânica.

Deste modo, a viabilidade técnica da utilização do RCMG como adição mineral inerte em argamassas autonivelantes foi constatada para o traço 1:5, visto que o resíduo permitiu obter resultados satisfatórios nos ensaios realizados. Ainda, com a utilização do RCMG, verificou-se uma maior consistência nas argamassas, remetendo a necessidade de emprego de menores quantidades de aditivos químicos, o que pondera em favor da redução do custo para fabricação de argamassa autonivelante com este traço.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5752**: Materiais pozolânicos - Determinação do índice de desempenho com cimento Portland aos 28 dias. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7251**: Agregado em estado solto - Determinação da massa unitária. Rio de Janeiro, 1982.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 9776**: Agregados - Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco chapman - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1988.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 11579**: Cimento Portland — Determinação do índice de finura por meio da peneira 75 µm (nº 200). Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 12653**: Materiais pozolânicos — Requisitos. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 13279**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR NM 23**: Cimento portland e outros materiais em pó - Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR NM 248**: Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

CICHINELLI, Gisele. **Execução de contrapiso autonivelante industrial**. Revista Técnica. 192. ed., mar. 2012. Disponível em: <http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/192/execucao-de-contrapiso-autonivelante-industrial-286998-1.aspx>. Acesso em: 12 set. 2016.

DAL MOLIN, Denise Carpena Coitinho. Adições Minerais para Concreto Estrutural. *In*: ISAIA, Geraldo C. **Concreto**: Ensino, Pesquisa e Realizações. São Paulo: IBRACON, 2005. v.1. p. 345-379.

EUROPEAN FEDERATION FOR SPECIALIST CONSTRUCTION CHEMICALS AND CONCRETE SYSTEMS (EFNARC). **Specification and Guidelines for Self-Compacting Concrete**, Farnham, United Kingdom, fev. 2002.

GONÇALVES, Jardel Pereira. **Utilização do resíduo de corte de granito (RCG) como adição para**

**produção de concretos.** 2000. 120 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Porto Alegre, 2000.

MARTINS, Eliziane Jubanski. **Procedimento para dosagem de pastas para argamassa autonivelante.** 2009. 139 f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Universidade Federal do Paraná, Programa de Pós-Graduação em Construção Civil, Curitiba, 2009.

## ÍNDICE REMISSIVO

### A

Adição Mineral 1, 2, 3, 4, 7, 12, 14, 15, 17, 18, 19, 22, 31

Adiciones Minerales 62

Agregado Cerâmico 49, 53, 55, 57, 58

Análise Estrutural 193, 194, 208, 217

Argamassa 1, 2, 3, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 19, 20, 25, 26, 30, 33, 46, 49, 51, 57, 58, 59, 81, 85, 86, 90, 95, 96, 97, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 111, 112, 113, 114, 115, 117, 121, 123, 149, 153, 157, 158, 159, 160

Argamassa de Assentamento 49, 113

Argamassas 1, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 14, 15, 21, 25, 49, 50, 51, 53, 54, 55, 56, 58, 59, 60, 79, 80, 82, 83, 95, 96, 97, 99, 100, 101, 103, 104, 105, 106, 111, 112, 114, 115, 116, 118, 123, 130, 132

Autonivelante 1, 2, 3, 4, 9, 15, 16

Avaliação Funcional 165

### B

Baixo Custo 59, 114, 115, 239, 261

Bioetanol 64, 79, 80, 81, 95

### C

Canalização 133, 136

Cimento 61, 62, 63, 67, 68, 69, 70, 71, 74, 75, 76

Colombia 61, 62, 63, 64, 65, 66, 69, 74, 75, 76

Concreto 15, 17, 18, 19, 20, 29, 32, 33, 34, 35, 37, 38, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 59, 60, 61, 62, 67, 68, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 79, 80, 81, 82, 95, 96, 100, 101, 105, 108, 116, 123, 128, 129, 130, 139, 140, 149, 150, 151, 152, 153, 154, 155, 156, 157, 159, 161, 162, 163, 169, 199, 201, 202, 207, 208, 210, 223, 224, 225, 226, 227, 228, 229, 230, 233, 236, 237, 269

Construção 1, 2, 3, 16, 36, 38, 46, 47, 48, 49, 50, 59, 60, 79, 80, 86, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 107, 111, 112, 113, 114, 115, 116, 122, 124, 125, 126, 130, 131, 132, 139, 141, 144, 145, 147, 149, 150, 151, 152, 153, 154, 157, 161, 162, 163, 164, 177, 179, 185, 194, 210, 237, 243, 246, 247, 248, 250, 255, 256, 257, 259, 260, 261, 264, 265

Contrapiso 2, 3, 15, 104

### D

Demolição 49, 52, 59, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 107, 111, 112, 113, 124, 126, 132

Dimensionamento 133, 134, 135, 136, 137, 152, 197, 210, 213, 217, 221, 224, 225, 226, 229, 230, 231, 235, 237

Drenagem em Pavimentos 165

## E

Edifício Empresarial 149, 150

Elementos Finitos 209, 210, 213, 216, 217, 219, 221, 222, 223

Esgotamento Sanitário 133, 134, 135, 137

## F

Fundações 147, 209, 210, 211, 213, 223

## G

Granito (RCMG) 1, 2

## L

Laje Maciça 150, 152, 153, 154

Lignina 80, 81, 82, 83, 96

## M

Macapá 164, 165, 170, 171, 174, 175, 177, 178

## P

Patologia 33, 149, 150, 151, 162, 163, 167, 178

Pavimentos 74, 130, 151, 164, 165, 166, 167, 169, 170, 171, 175, 178, 180, 191, 192, 193, 194, 195, 197, 198, 199, 201, 204, 205, 206, 207, 208

Pavimentos Isolados 193, 195, 197, 198, 199, 204, 205, 207, 208

Pilar 156, 193, 195, 196, 197, 198, 199, 205, 206, 214, 215

Pórtico Plano 193, 195, 199, 204, 205, 206, 207, 208

## R

Recalque 138, 142, 145

Reciclagem de RCD, 49

Redes Coletoras 133, 136

Rejeito de Cobre 114, 115, 116, 117, 119, 123

Resíduo 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 17, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 29, 31, 32, 36, 37, 38, 49, 50, 51, 52, 53, 58, 59, 60, 79, 80, 81, 82, 83, 90, 91, 93, 94, 95, 97, 98, 100, 102, 103, 114, 115, 132

Resíduo de Corte 1, 2, 3, 4, 15

Resíduo Reciclado 2

Resistência Mecânica 12, 14, 15, 17, 49, 51, 54, 55, 56, 57, 105, 115, 116, 120

Risco 138, 139, 147, 195, 226, 251, 255

## S

Saneamento 107, 133, 134, 135, 137, 178, 182, 240, 279

Sapatas 209, 210, 211, 212, 213, 214, 216, 223

Solo 69, 71, 123, 135, 138, 139, 141, 143, 146, 147, 166, 168, 209, 210, 211, 212, 214, 215, 217, 220, 221, 222, 240, 267, 268, 269, 272, 273, 274, 276, 277, 279

Subsistência 138, 147

Sustentabilidade 80, 115, 240

## T

Teoria da Elasticidade 209

## V

Vigas 156, 157, 195, 196, 198, 199, 201, 208, 224, 225, 227, 228, 229, 230, 231, 232, 233, 234, 235, 236

 **Atena**  
Editora

**2 0 2 0**