



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  
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná  
Profª Drª Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia  
Prof. Dr. Écio Souza Diniz – Universidade Federal de Viçosa  
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Fágner Cavalcante Patrocínio dos Santos – Universidade Federal do Ceará  
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Profª Drª Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará  
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa  
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Profª Drª Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido  
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

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

Prof. Dr. André Ribeiro da Silva – Universidade de Brasília  
Profª Drª Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás  
Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri  
Profª Drª Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília  
Profª Drª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina  
Profª Drª Eysler Gonçalves Maia Brasil – Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira  
Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof. Dr. Fernando José Guedes da Silva Júnior – Universidade Federal do Piauí  
Profª Drª Gabriela Vieira do Amaral – Universidade de Vassouras  
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria  
Profª Drª 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  
Profª Drª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. Marcus Fernando da Silva Praxedes – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Profª Drª Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federaci do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá  
Profª Drª Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora  
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª 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>

## ESTUDO DO DESEMPENHO DE ARGAMASSAS COM RESÍDUO LIGNOCELULÓSICO COMO SUBSTITUTO PARCIAL DO CIMENTO

Data de aceite: 01/06/2020

Data de Submissão: 03/04/2020

### **Bruna Ferraz Carvalho Dantas**

Universidade de Pernambuco, Departamento de Engenharia Civil  
Recife – PE

<http://lattes.cnpq.br/2804082970534169>

### **Carlos Fernando de Araújo Calado**

Universidade de Pernambuco, Departamento de Engenharia Civil  
Recife – PE

<http://lattes.cnpq.br/4014899919649100>

### **Aires Camões**

Universidade do Minho (UMinho)  
Guimarães – Portugal

<http://orcid.org/0000-0002-9677-3627>

**RESUMO:** O setor da construção civil nos últimos anos vem causando significativos impactos no meio ambiente pela extração de matéria prima e produção de cimento, entre outros. Esta pesquisa visa analisar a viabilidade técnica da substituição parcial do cimento pelo resíduo do bioetanol celulósico, ou etanol de segunda geração em argamassas de concreto, sem que o resíduo passe por outros processos industriais. O resíduo foi estudado de duas

formas: seco em estufa e destorroado ( $R_{seco}$ ), e queimado em um forno para a obtenção de cinzas ( $R_{cinza}$ ). Foram estudadas doze composições diferentes ajustando a substituição parcial dos diferentes resíduos e a incorporação de aditivos químicos superplastificante (SP) e plastificante (P). No estado fresco, foram realizados ensaios de tempo de pega com a agulha de Vicat e determinação do índice de consistência através de mesa vibratória. Já no estado endurecido, ensaios de resistência à compressão e de durabilidade, sendo estes: absorção de água por capilaridade, ascensão capilar e índice de vazios. Com base nos resultados, verificou-se que: houve a compatibilidade de utilização do resíduo com os aditivos químicos SP + P; a presença do resíduo  $R_{seco}$  foi suficiente para retardar o tempo de início e fim de pega, mesmo sem o uso de aditivos químicos retardadores; a incorporação do resíduo não afetou a trabalhabilidade da mistura; houve uma diminuição da resistência à compressão nas composições com resíduo, mas esta não interferiu na viabilidade; e a utilização do resíduo provocou melhores resultados de durabilidade em todos os testes realizados. Por fim, os resultados mostraram que houve viabilidade técnica para a aplicação dos resíduos estudados, incentivando a continuidade da pesquisa com o

uso de novas composições, novas porcentagens, testes e variáveis de análise.

**PALAVRAS-CHAVE:** resíduo, lignina, bioetanol, sustentabilidade, argamassas.

## EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE PERFORMANCE OF CEMENTITIOUS MIXTURES WITH LIGNOCELLULOSIC RESIDUE AS A PARTIAL CEMENT REPLACEMENT

**ABSTRACT:** The construction industry, one of the most important productive and economic activities, is also responsible for environmental impacts like the extraction of raw materials, generation of waste and cement manufacturing, among others. The main objective was to study the technical feasibility of applying the residue generated by the second-generation ethanol obtained from sugarcane to partially replace the cement in concrete mixtures. The residue has lignin in its composition and was applied without further industrial processing. In addition, the research sought to obtain answers regarding the performance of these compositions in relation to the workability in the fresh state and the compressive strength and durability in the hardened state and compared the possible behavior differences between the residues with and without the presence of superplasticizer and plasticizers, both chemical admixtures. The results showed that there was compatibility between the residues and chemical admixtures; the setting time and the consistency index increased with the application of the residues; the compressive strength with residues was lower than the reference composition, but still demonstrated feasibility; in all the tests carried out the durability improved in the residue compositions. Thus, the results were very promising and pointed to major developments.

**KEYWORDS:** residue, lignina, bioethanol, sustainability, mortars.

### 1 | INTRODUÇÃO

A sustentabilidade é uma das principais preocupações no cenário atual da construção civil, a exemplo, temos a redução do consumo de cimento na produção de concreto, substituindo-o parcialmente por resíduos de outros processos industriais. Dessa forma, ao reduzir o consumo de cimento, podemos efetivamente reduzir custos e danos ambientais causados pela extração de matérias-primas e emissões de CO<sub>2</sub> (BENATTI, 2008 e BETAT, 2009). O bioetanol celulósico, também chamado de etanol de segunda geração, é gerado a partir dos resíduos da produção de açúcar e etanol da primeira geração, palha e bagaço da cana-de-açúcar. Pouco se sabe sobre a utilização desse resíduo na substituição parcial do cimento em composições de concreto. Como o bioetanol já é um processo de fabricação que utiliza resíduos da geração de etanol, sua produção reduz a emissão de dióxido de carbono em cerca de 35%, gerando assim combustível mais limpo. É chamado de etanol celulósico porque sua geração é a partir da quebra das moléculas de glicose que compõem a celulose (RAÍZEN, 2014). O Brasil, por causa dos projetos promovidos

pelo Plano Conjunto BNDES - FINEP de Apoio à Inovação Tecnológica Industrial do Setor Sucroenergético e do Setor Químico de Açúcar (PAISS), possui atualmente uma capacidade de produção de etanol de segunda geração de cerca de 140 milhões de litros por ano (MILANEZ, 2015). Com base nas duas indústrias pioneiras na fabricação do etanol de segunda geração, GranBio e Raízen, que juntos investiram 203 milhões de dólares para construir suas novas fábricas, a produção de etanol deve chegar a dois bilhões de litros por ano na próxima década (ECYCLE, 2018). Além disso, segundo a Biomass Magazine (2013), a produção de etanol de segunda geração também deixa resíduos com lignina, que ainda podem ser utilizados em reuso, como visto na pesquisa desenvolvida na Universidade do Kansas, que acrescentou as cinzas do resíduo de produção de bioetanol de milho ao cimento com 20% de substituição e aumentou a resistência à compressão do concreto em 32%. Quanto à produção de cimento, 63 milhões de toneladas foram produzidas e consumidas no Brasil no período de um ano, entre março de 2015 e fevereiro de 2016, de acordo com a publicação da Associação Brasileira do Cimento Portland - ABCP, citando o Sindicato Nacional da Indústria do Cimento – SNIC (2016). Isso indica a escala de demanda para reutilização dos resíduos gerados nessas indústrias em vez de cimento, diminuindo assim o impacto ambiental causado pelo uso do cimento.

Os objetivos desta pesquisa incluem estudar a viabilidade dos resíduos a serem aplicados no concreto sem novos processos industriais, que gerariam novos custos e poluição ambiental, assim como verificar a compatibilidade dos resíduos com os aditivos superplastificantes (SP) e plastificantes (P). Foram analisadas doze composições de argamassa diferentes, onde C1 a C6 com relação água/ligante ( $a / l$ ) = 0,50 e C7 a C12 para  $a / l$  = 0,45. Foram realizadas composições de referência (sem resíduo), e composições com substituição parcial do cimento pelo diferentes resíduos,  $R_{seco}$  e  $R_{cinza}$ , bem como estudos com incorporação de aditivo plastificante e superplastificante. No estado fresco, foram aplicados testes com a agulha de Vicat para determinação do tempo de início e fim de pega e testes para determinação dos índices de consistência. No estado endurecido, foram realizados o ensaio de resistência à compressão e de durabilidade, com ensaios através da absorção de água por capilaridade, ascensão capilar e índice de vazios.

## 2 | MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Constituintes

O resíduo de etanol de segunda geração foi fornecido pela GranBio, uma fábrica de bioetanol celulósico localizada na cidade de São Miguel dos Campos - Alagoas, e foi coletado *in natura* do armazém. No laboratório, uma parte do resíduo foi seco na estufa por 24h a  $(105 \pm 5) ^\circ\text{C}$ , destorroado e misturado para melhor homogeneização, obtendo-

se o  $R_{\text{seco}}$  indicado na Figura 1 (a). A Figura 1 (b) mostra o resíduo queimado por 30 minutos a  $(300 \pm 20)^\circ\text{C}$  em um forno, fabricado para uso na pesquisa, mostrado na Figura 1 (c), já destorroado e misturado, adquirindo  $R_{\text{cinza}}$ .

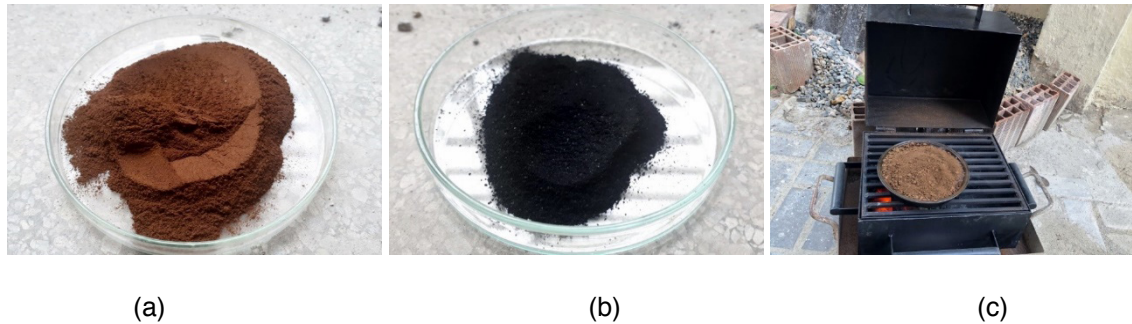


Figura 1 – (a) Resíduo *in natura*  $R_{\text{seco}}$ ; (b) Resíduo queimado  $R_{\text{cinza}}$ ; (c) Forno.

Foi decidido testar as argamassas em vez de amostras de concreto, uma vez que elas podem fornecer as informações necessárias com muito menos tempo e esforço (CAMÕES, 2005 e DACZKO, 1999). A porcentagem de 2,5% em peso de resíduo em substituição ao cimento foi escolhida a partir dos resultados de pesquisas anteriores com lignina, desenvolvidos por Calado et al (2017).

Para determinar o teor final de cinzas nos resíduos, utilizou-se a balança termogravimétrica DTG-60, fabricada pela Shimadzu®. Uma amostra de aproximadamente 20 mg de resíduo foi queimada por 2 horas, na presença constante de oxigênio, com temperatura variável entre a temperatura ambiente e  $950^\circ\text{C}$  (taxa de aquecimento de  $10^\circ\text{C}/\text{min}$ ) ou até a estabilização gravimétrica da amostra. A Figura 2 (a) mostra o gráfico termogravimétrico de  $R_{\text{seco}}$  e a Figura 2 (b) do  $R_{\text{cinza}}$ , com estabilização próxima a  $950^\circ\text{C}$ . O termograma identificou 8,45% de umidade, 82,29% de voláteis, e no final do processo 17,21% de cinzas. Além disso, é possível concluir sobre a estabilidade térmica de  $R_{\text{cinza}}$ , já que suas substâncias voláteis só foram consumidas após a temperatura de  $400^\circ\text{C}$ , ao contrário de  $R_{\text{seco}}$ , consumidas logo após  $300^\circ\text{C}$ .

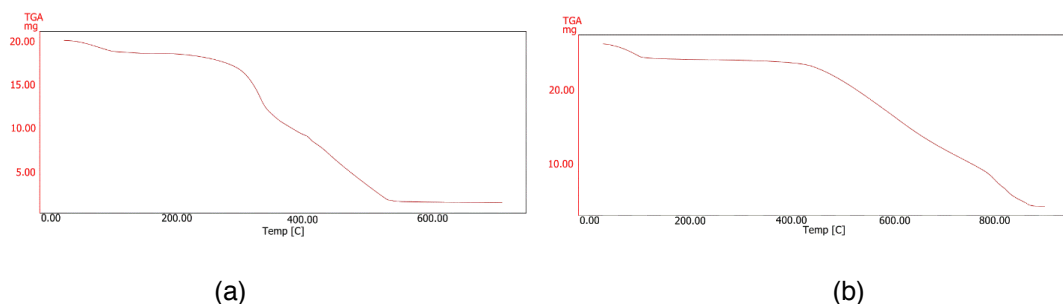


Figura 2 – (a) Gráfico termogravimétrico de  $R_{\text{seco}}$ ; (b) Gráfico termogravimétrico de  $R_{\text{cinza}}$ .

A análise das fibras para determinar a porcentagem de hemicelulose, celulose, lignina e constituintes celulares também foi realizada no laboratório de combustíveis da

Escola Politécnica da UPE. Soluções de detergente neutro e ácido foram utilizadas para a remoção de constituintes, cinzas solúveis, hemicelulose, lignina remanescente, celulose e cinzas insolúveis. A determinação da lignina foi realizada em três amostras com 0,3g do material, onde foi adicionado 72% de solução de ácido sulfúrico, maceradas por 1 hora como mostrado na Figura 3 (a) e levado ao digestor, Figura 3 (b), por 4 horas. Logo depois, elas foram filtradas, Figura 3 (c), e secas em um forno, obtendo a porcentagem pelo material que foi retido no filtro. Os resultados são mostrados na Tabela 1.

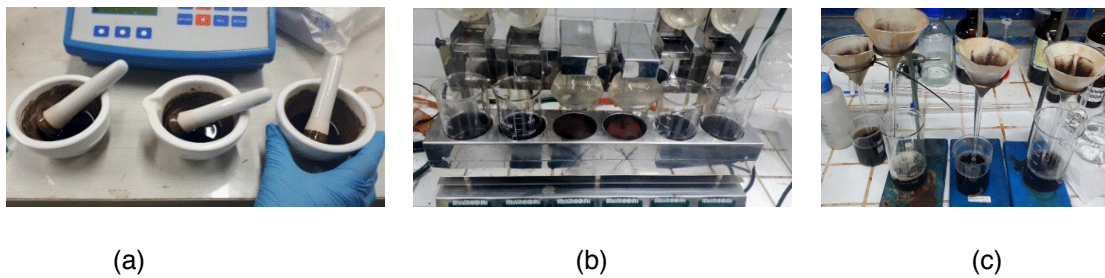


Figura 3 - (a) Amostras maceradas; (b) Amostras no digestor; (c) Amostras sendo filtradas.

Amostra	Filtro (g)	Filtro + Filtrado (g)	Variação (g)	Lignina (%)		
				individual	média	Cov*
1	1.905	2.0607	0.1557	51.90	53.50	2.70%
2	1.9698	2.1315	0.1617	53.90		
3	2.035	2.1991	0.1641	54.70		

Tabela 1 – Análise das fibras.

\*cov: coeficiente de variação

Com base nos resultados mostrados na Tabela 1 o mesmo pode ser caracterizado como um resíduo com um Alto Teor de Lignina (*High Lignin Residue – HLR*) que, segundo Ataie (2014), apresenta uma alta quantidade de sílica em uma estrutura orgânica fracamente polimerizada. Além disso, usar as cinzas produzidas pela queima desse tipo de resíduo resulta em um material pozolânico muito reativo.

## 2.2 Composições das argamassas

Nas composições de C1 a C6, cuja relação água / ligante (a / l) foi de 0,50, o cimento utilizado foi o CP III 40 RS (resistente a sulfato). A areia utilizada foi adquirida em Recife, com jazida localizada entre Pernambuco e Paraíba, com uma dimensão máxima de 2,39 mm e um módulo de finura de 2,409. Os dois resíduos tiveram módulo de finura de 1,37, apesar de  $R_{seco}$  ter um valor de densidade de  $0,4g / cm^3$  e  $R_{cinza}$  de  $0,5g / cm^3$ . Os aditivos químicos aplicados foram o superplastificante Sika® Viscocrete 60 HE (SP) e o plastificante Bauchemie®FK 840-MC (P), comumente utilizados na região. As composições usadas são mostradas na Tabela 2.



Constituintes	Unidade	C1	C2	C3	C4	C5	C6
CP III 40 RS	kg/m <sup>3</sup>	588.75	588.75	544.96	544.96	544.96	544.96
R <sub>seco</sub> (2,5%)	kg/m <sup>3</sup>	-	-	13.97	13.97	-	-
R <sub>cinza</sub> (2,5%)	kg/m <sup>3</sup>	-	-	-	-	13.97	13.97
Areia	kg/m <sup>3</sup>	1189.71	1189.71	1189.71	1189.71	1189.71	1189.71
Água	L/m <sup>3</sup>	273.67	264.85	273.67	264.85	273.67	264.85
SP	L/m <sup>3</sup>	-	5.59	-	5.59	-	5.59
P	L/m <sup>3</sup>	-	3.33	-	3.33	-	3.33
Relação a/l	-	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5

Tabela 2 – Composições usando relação a/l = 0.50.

Para as composições C7 a C12, onde a relação água / ligante foi de 0,45, o cimento utilizado foi o CP II-F 40 (cimento composto com fíler). A areia também foi do mercado do Recife, com jazida localizada entre Pernambuco e Paraíba, com uma dimensão máxima de 2,39 mm e um módulo de finura de 2.409. Ambos os resíduos (R<sub>seco</sub> e R<sub>cinza</sub>) tiveram módulo de finura de 1,37, porém, R<sub>seco</sub> possui um valor de densidade de 0,4g / cm<sup>3</sup> e R<sub>cinza</sub> de 0,5g / cm<sup>3</sup>. Os aditivos químicos aplicados foram o superplastificante Sika® Viscocrete 60 HE (SP) e o plastificante Bauchemie®FK 840-MC (P), comumente utilizados na região. As composições usadas são mostradas na Tabela 3.

Constituintes	Unidade	C7	C8	C9	C10	C11	C12
CP II-F 40	kg /m <sup>3</sup>	572.54	572.54	557.94	557.94	557.94	557.94
R <sub>seco</sub>	kg /m <sup>3</sup>	-	-	14.31	14.31	-	-
R <sub>cinza</sub>	kg /m <sup>3</sup>	-	-	-	-	14.31	14.31
Areia	kg /m <sup>3</sup>	1219.08	1219.08	1219.08	1219.08	1219.08	1219.08
Água	L/m <sup>3</sup>	258.03	248.90	258.03	248.90	258.03	248.90
SP	L/m <sup>3</sup>	-	5.72	-	5.72	-	5.72
P	L/m <sup>3</sup>	-	3.41	-	3.41	-	3.41
Relação a/l	-	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45

Tabela 3 – Composições usando relação a/l = 0.45.

## 2.3 Composições das pastas

Foram estudadas doze diferentes composições de pastas, como detalhado nas tabelas 4 e 5, com o propósito de avaliar o efeito dos resíduos no tempo de pega das misturas cimentícias.

Constituintes	Unidade	P1	P2	P3	P4	P5	P6
CP III 40 RS	kg /m <sup>3</sup>	1420.45	1420.45	1383.52	1383.52	1383.52	1383.52
R <sub>seco</sub>	kg /m <sup>3</sup>	-	-	35.51	35.51	-	-
R <sub>cinza</sub>	kg /m <sup>3</sup>	-	-	-	-	35.51	35.51
SP	L/m <sup>3</sup>	-	14.2	-	14.2	-	14.2
P	L/m <sup>3</sup>	-	8.52	-	8.52	-	8.52
Água	L/m <sup>3</sup>	448.86	426.14	448.86	426.14	448.86	426.14

Tabela 4 – Composições das pastas.

Constituintes	Unidade	P7	P8	P9	P10	P11	P12
CP II-F 40	kg /m <sup>3</sup>	1449.27	1449.27	1413.04	1413.04	1413.04	1413.04
R <sub>seco</sub>	kg /m <sup>3</sup>	-	-	36.23	36.23	-	-
R <sub>cinza</sub>	kg /m <sup>3</sup>	-	-	-	-	36.23	36.23
SP	L/m <sup>3</sup>	-	14.49	-	14.49	-	14.49
P	L/m <sup>3</sup>	-	8.70	-	8.70	-	8.70
Água	L/m <sup>3</sup>	440.58	417.39	440.58	417.39	440.58	417.39

Tabela 5 – Composições das pastas.

## 2.4 Procedimento experimental e execução dos testes

### 2.4.1 Execução do ensaio da agulha de Vicat

Os ensaios de Agulha de Vicat foram realizados conforme a Norma ABNT NBR NM 65 (2003) usando as composições mostradas nas Tabelas 4 e 5. O teste pode ser visualizado na imagem mostrada na Figura 4, com o dispositivo de agulha Vicat em operação.



Figura 4 - Ensaio da agulha de Vicat.

### 2.4.2 Ensaio do índice de consistência

Os ensaios foram realizados de acordo com ABNT NBR 13276 (2002) e a ABNT NBR 7215 (1996), utilizando sempre três moldes para cada composição testada, apresentadas nas Tabelas 2 e 3, onde o índice de consistência foi a medida do diâmetro médio da base do tronco do cone da argamassa após o espalhamento / abatimento, com as medidas sendo feitas com o auxílio de um paquímetro e expressas em milímetros. O resultado da

argamassa após o teste pode ser visto na Figura 5.



Figura 5 - Argamassa após o teste de espalhamento.

### 2.4.3 Ensaio de resistência à compressão

O ensaio foi realizado no laboratório de materiais de construção da Escola Politécnica da UPE, nas idades de 28 e 90 dias, seguindo as recomendações da NBR 7215. Todos os corpos de prova cilíndricos tinham diâmetro de 50 mm e altura de 100 mm. Após sua moldagem, foram armazenados em câmara úmida por 3 dias, depois desmoldados e imersos em água saturada com cal a 28 ° C de temperatura para sua cura. A Figura 6 (a) mostra uma composição regular com  $R_{cinza}$  e a Figura 6 (b) mostra os corpos de prova (CPs) desmoldados.



(a)



(b)

Figura 6 - (a) Composição; (b) CPs desmoldados.

### 2.4.4 Durabilidade: Absorção de água capilar, ascensão capilar e índice de vazios

Para os ensaios de durabilidade, foram moldados seis corpos de prova (CPs) para cada composição na idade de 60 dias, onde foram colocados em estufa e depois resfriados até a temperatura ambiente de 27°C, sendo pesados para determinação de suas massas e iniciados os ensaios. Os ensaios de absorção de água por capilaridade e ascensão capilar, tomam por base a ABNT NBR 9779 (2012) e a ABNT NBR 7222 (2011), enquanto a determinação do índice de vazios foi conforme a ABNT NBR 9778 (2005). A Figura 7 mostra uma fotografia dos corpos de prova após o teste de ruptura diametral.



Figura 7 - Ascensão capilar.

## 3 | RESULTADOS

### 3.1 Estado Fresco

#### 3.1.1 Tempo de pega inicial (Ti) e final (Tf) com agulha de Vicat

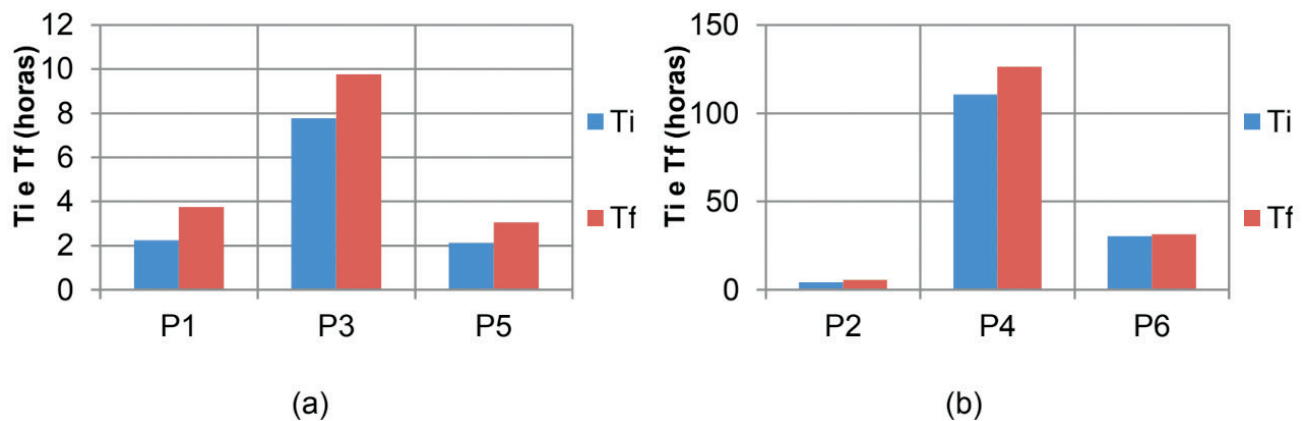


Figura 8 - (a) Resultados das pastas sem aditivos químicos; (b) Resultados das pastas com aditivos químicos.

A Figura 8 (a) mostra o gráfico dos resultados para as pastas P1, P3 e P5 de acordo com as composições indicadas. Os resultados mostraram que a presença de  $R_{cinza}$  reduziu o valor de Ti em 5,3% quando comparado com a pasta de referência P1. Entretanto, a presença de  $R_{seco}$ , aumentou em 245% o Ti da pasta P3 em relação a P1. Por outro lado, ao analisar o gráfico da Figura 8 (b) onde todas as pastas continuam aditivos químicos SP e P em suas composições, é possível verificar que P6 aumentou o valor de Ti por 617% em relação à pasta de referência P2. No entanto, P4 aumentou em 26 vezes o tempo Ti em relação a P2, valor superior a 3,6 vezes o Ti para P6.

Portanto, verificou-se que, no aspecto do tempo de pega, a presença de  $R_{seco}$  aumentou o tempo de início de pega da pasta, indicando comportamento semelhante ao obtido quando se adiciona aditivos químicos retardadores do tempo de pega nas composições cimentícias de referência. Entretanto,  $R_{seco}$  atrasou significativamente o tempo inicial na presença das adições SP e P, diferente do comportamento de  $R_{cinza}$ .

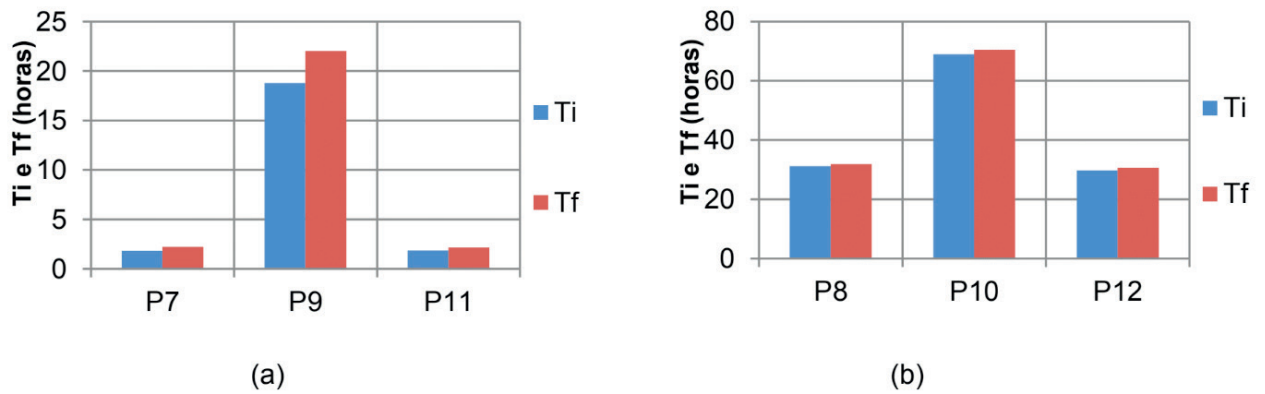


Figura 9 - (a) Resultados das pastas sem aditivos químicos; (b) Resultados das pastas com aditivos químicos.

A Figura 9 (a) mostra o gráfico dos resultados para as pastas P7, P9 e P11. Os resultados mostraram que a presença de  $R_{cinza}$  em P11 aumentou o valor de Ti em 1,1% quando comparado à pasta de referência P7. No entanto, a presença de  $R_{seco}$  aumentou mais de 1000% o Ti da pasta P9 em relação ao P7. Por outro lado, ao analisar o gráfico da Figura 9 (b) onde todas as pastas continham aditivos químicos SP e P em suas composições, é possível verificar que P12 reduziu o valor de Ti em 4,7% em relação à pasta de referência P8. No entanto, P10 aumentou em 221,3% o tempo Ti em relação a P8, valor superior a 2,3 vezes o Ti para P12. Logo, verificou-se que, no aspecto do tempo de pega, a presença de  $R_{cinza}$  indicou comportamento semelhante à composição de referência. No entanto,  $R_{seco}$  atrasou significativamente o tempo inicial de pega na presença das misturas com SP e P, diferente do comportamento de  $R_{cinza}$ , e foi possível observar que o resultado de  $R_{seco}$  sem adição de aditivos químicos foi semelhante à composição de referência adicionando aditivos químicos. Os resultados do tempo de pega final seguiram o mesmo padrão do tempo de pega inicial.

### 3.1.2 Índice de Consistência

Os resultados de espalhamento obtidos nos testes na mesa vibratória manual, aplicados nas composições testadas de C1 a C6, podem ser vistos no gráfico da Figura 10.

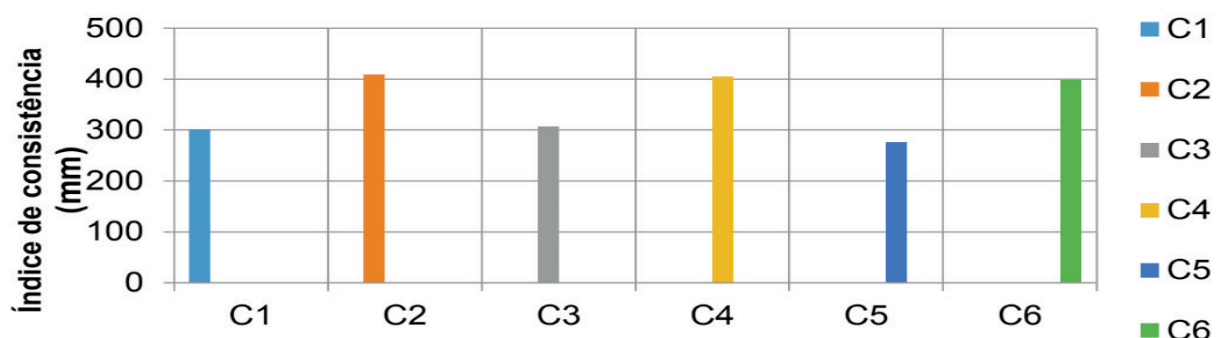


Figura 10 - Resultados de espalhamento das composições C1 a C6.

Considerando as composições C1, C3 e C5, que não continham aditivos químicos SP e P, verificou-se que o melhor comportamento de C3 em comparação com C1 com um pequeno aumento no resultado do espalhamento em 1,7%. Considerando as composições C2, C4 e C6, que continham misturas químicas SP e P, verificou-se que o melhor comportamento foi de C4 em relação a C2, com pequena diminuição no resultado do espalhamento em 0,7%.

Os resultados de espalhamento obtidos nos testes da mesa vibratória manual aplicada nas composições testadas C7 a C12 podem ser vistos no gráfico mostrado na Figura 11.

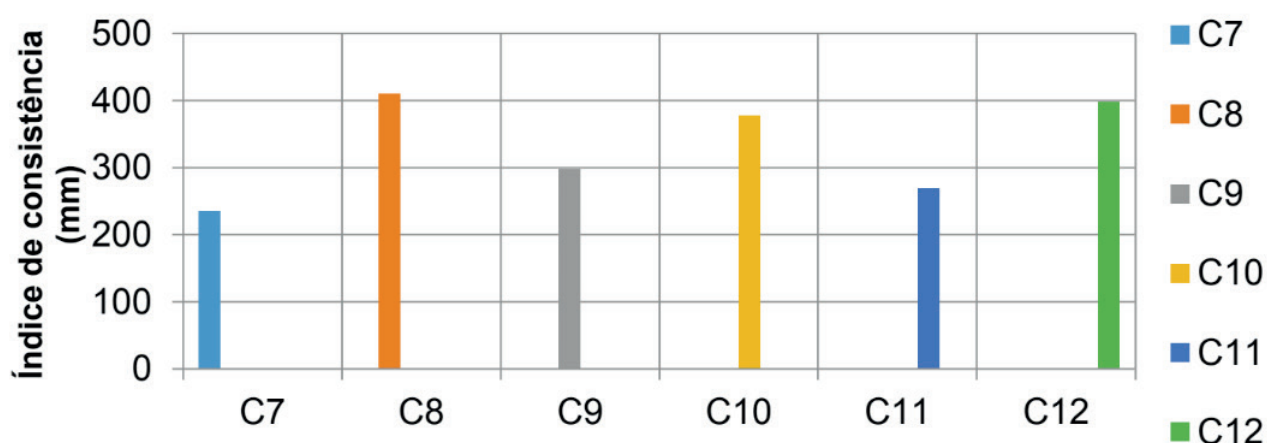


Figura 11 - Resultados de espalhamento das composições C7 a C12.

Considerando as composições que não apresentaram aditivos químicos SP e P, verificou-se que o melhor comportamento foi de C9 e C11, em comparação com C7, com um aumento no resultado de espalhamento em 26%. Ao considerar as composições que continham SP e P, verificou-se que o melhor comportamento foi de C8, com pequena diminuição no resultado do espalhamento em C12 de 3% e em C10 de 8%. Como esperado, o teste foi claramente sensível à presença de aditivos químicos.

## 3.2 Estado endurecido

### 3.2.1 Resistência à compressão

Os resultados dos testes de resistência à compressão são mostrados na Figura 12 (a) para as composições sem o uso de SP e P, e na Figura 12 (b) para composições com o uso de aditivos químicos SP e P.

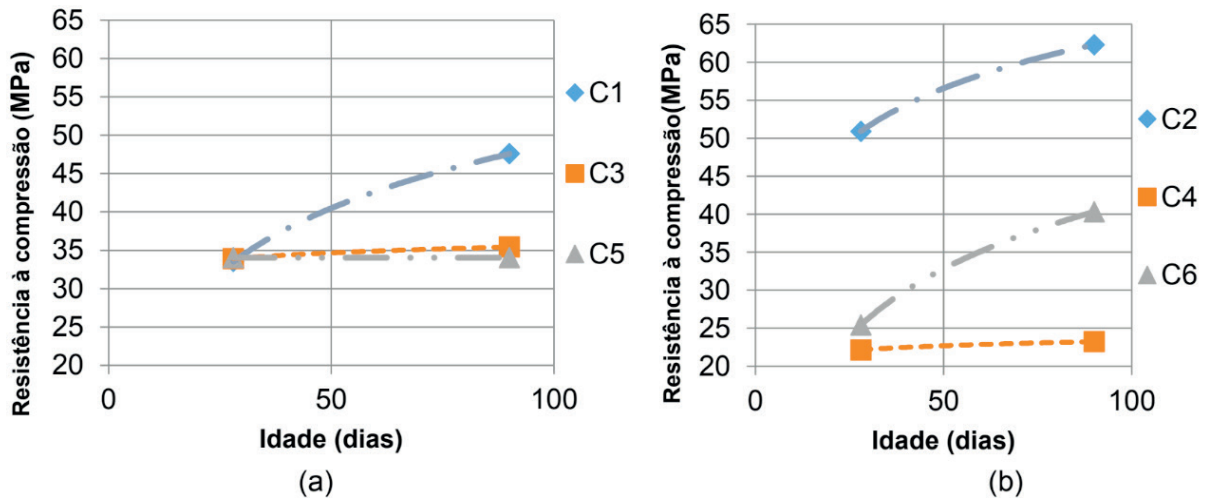


Figura 12 - (a) Resultados sem aditivos químicos; (b) Resultados usando aditivos químicos.

A partir dos resultados apresentados no gráfico da Figura 12 (a), verificou-se que até os 28 dias de idade, as três composições sem aditivos químicos apresentaram valores de resistência à compressão semelhantes. Entretanto, aos 90 dias de idade, a composição de referência C1 apresentou um resultado melhor que C3 e C5, 38,9% de crescimento em relação à resistência média destas composições. Ao analisar os resultados apresentados no gráfico da Figura 12 (b), na qual as três composições tiveram a presença de aditivos químicos, verificou-se que para as duas idades testadas, a composição de referência C2 apresentou a maior resistência à compressão. Contudo, as composições C4 e C6 apresentaram menores valores de resistência à compressão para todas as idades testadas, onde o desempenho de C4 foi de cerca de 37% em relação a C2 e de 58% em relação a C6 aos 90 dias, mas aos 28 dias, foi de 44% e 87%. Considerando a resistência à compressão, a aplicação de  $R_{seco}$  promoveu redução da resistência à compressão quando comparado ao outro resíduo testado. Destaca-se a compatibilidade da associação de resíduos com os aditivos químicos SP e P, onde foi possível identificar a melhoria do desempenho da curva de resistência à compressão com o aumento da idade da argamassa.

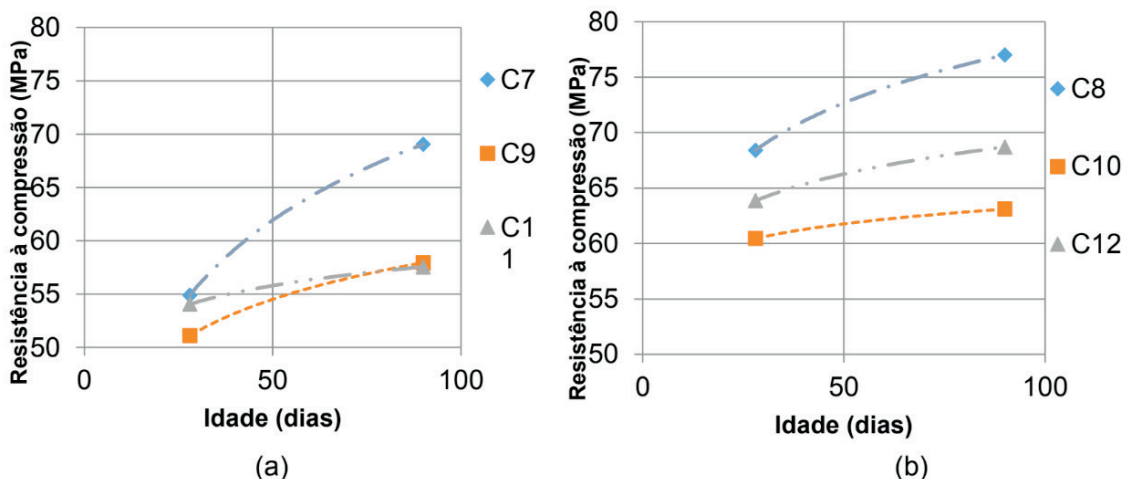


Figura 13 - (a) Resultados sem aditivos químicos; (b) Resultados usando aditivos químicos.

Os resultados dos testes de resistência à compressão são mostrados no gráfico da Figura 13 (a) para as composições sem o uso de SP e P, e na Figura 13 (b) para composições com o uso de SP e P. A partir dos resultados apresentados no gráfico da Figura 13 (a), verificou-se que até os 28 dias, as três composições sem aditivos químicos estavam com valores de resistência próximos. No entanto, aos 90 dias de idade, a composição de referência C7 apresentou um resultado melhor que C9 e C11, 13,9% de crescimento em relação à resistência média destas composições. Ao avaliar os resultados apresentados no gráfico da Figura 13 (b), onde as três composições tiveram a presença das misturas químicas, verificou-se que para as duas idades testadas, a composição de referência C8 apresentou a maior resistência à compressão. Contudo, as composições C10 e C12 apresentaram menores valores de resistência à compressão para todas as idades testadas, onde o desempenho de C10 foi de 82% em relação ao C8 e C12 o desempenho foi de cerca de 89% em relação ao C8.

### 3.2.2 Absorção por capilaridade

Os gráficos mostram os resultados dos valores médios encontrados para a absorção por capilaridade em  $g/cm^2$ , de 60 dias. Todos os resultados apresentaram coeficiente de variação inferior a 5%. Com isso, o resultado final foi o resultado médio entre as duas amostras com a menor variância entre elas. A Figura 14 (a) mostra o gráfico das composições que não tiveram a presença dos aditivos químicos SP e P. A Figura 14 (b) mostra o gráfico para as composições tendo a presença dos aditivos químicos SP e P.

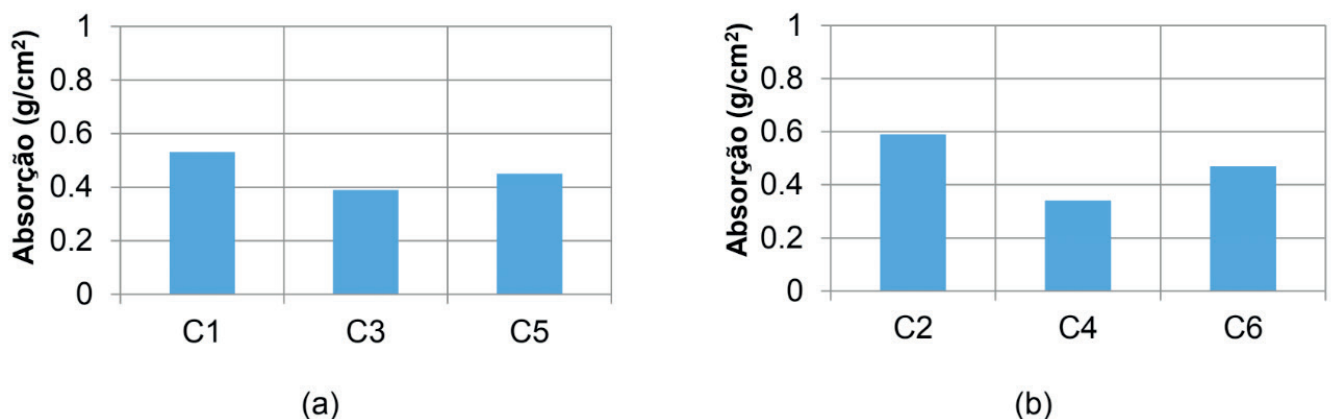


Figura 14 - (a) Resultados sem aditivos químicos; (b) Resultados usando aditivos químicos.

Verificou-se que os dois resíduos quando adicionados nas composições com e sem SP e P, quando comparados com C1 e C2, composições de referência sem qualquer adição de resíduo, promoveram redução da absorção de água por capilaridade com melhor desempenho para  $R_{seco}$ , seguido de  $R_{cinza}$ .

A Figura 15 mostra os resultados dos valores médios encontrados para a absorção



por capilaridade em g / cm<sup>2</sup>, idade de 60 dias. A Figura 15 (a) mostra o gráfico das composições que não tiveram a presença dos aditivos químicos SP e P. A Figura 15 (b) mostra o gráfico das composições tendo a presença dos aditivos químicos SP e P.

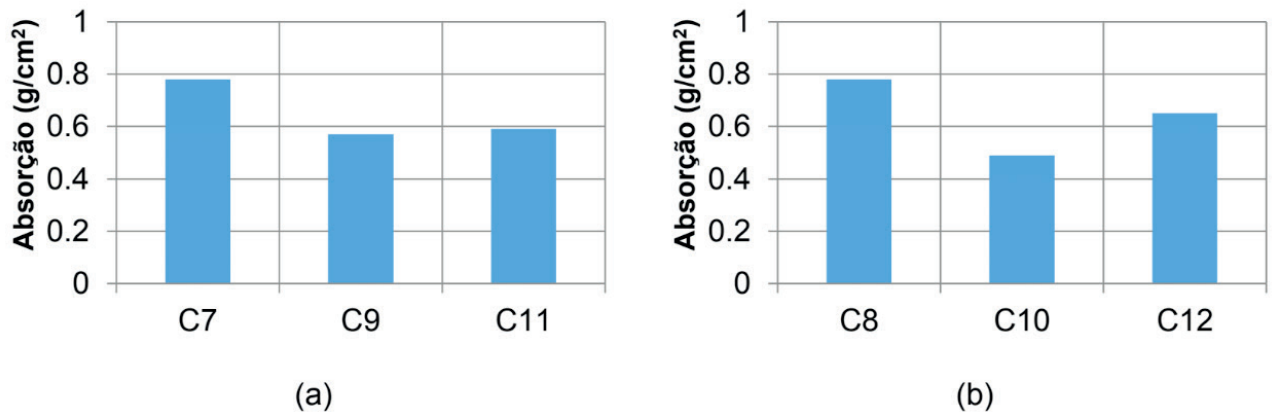


Figura 15 - (a) Resultados sem aditivos químicos; (b) Resultados usando aditivos químicos.

Compararam-se os resultados de  $R_{seco}$  e  $R_{cinza}$ . Ambos promoveram redução da absorção de água por capilaridade com melhor desempenho para  $R_{seco}$  (C9 e C10), seguido de  $R_{cinza}$  (C11 e C12). Os resultados são semelhantes, com tendência para uma menor absorção de água por capilaridade nas composições que incorporam resíduos, em particular nas composições com  $R_{seco}$ .

### 3.2.3 Ascensão Capilar

Os gráficos apresentam os resultados dos valores médios encontrados para o aumento capilar como uma porcentagem do valor medido em centímetros em relação à altura de 10 cm, para a idade de 60 dias. A Figura 16 (a) mostra o gráfico das composições que não continham os aditivos químicos SP e P: C1, C3 e C5. A Figura 16 (b) mostra o gráfico das composições contendo os aditivos químicos SP e P: C2, C4 e C6.

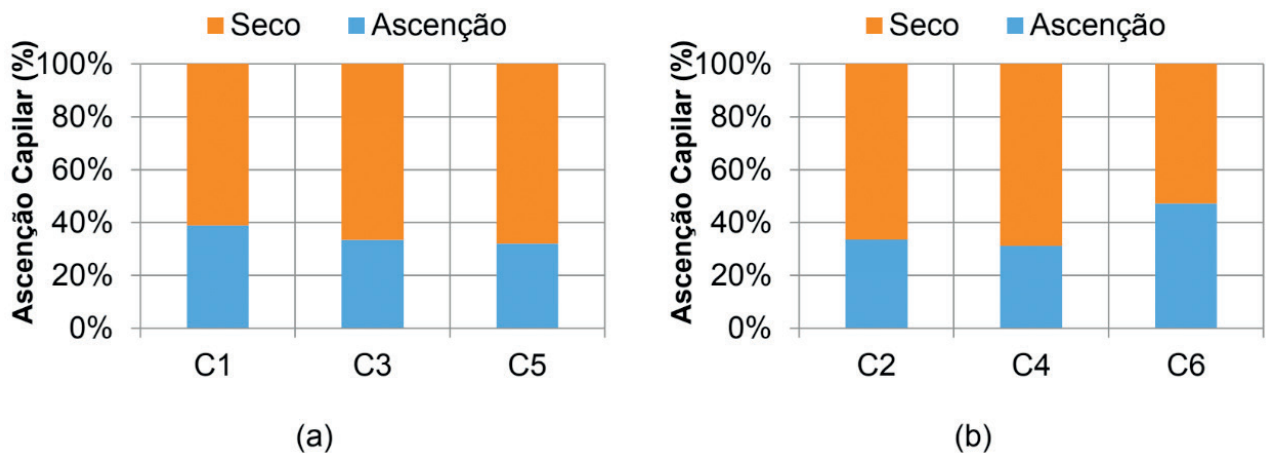


Figura 16 - (a) Resultados sem aditivos químicos; (b) Resultados usando aditivos químicos.

Ao analisar o gráfico da Figura 16 (a), onde todas as composições não possuíam aditivos químicos, verificou-se um melhor desempenho de  $R_{cinza}$  e uma pequena redução do desempenho de  $R_{seco}$ . Verificou-se que o resíduo  $R_{seco}$ , conforme a Figura 16 (b), quando comparado ao C2, trouxe um desempenho ligeiramente melhor com a redução do aumento capilar, enquanto o  $R_{cinza}$  aumentou 25% o aumento capilar em relação a C2.

Os gráficos abaixo apresentam os resultados dos valores médios encontrados para o aumento capilar como uma porcentagem do valor medido em centímetros em relação à altura de 10 cm, para a idade de 60 anos. dias. A Figura 17 (a) mostra o gráfico das composições que não continham as misturas químicas SP e P. A Figura 17 (b) mostra o gráfico das composições contendo as misturas químicas SP e P.

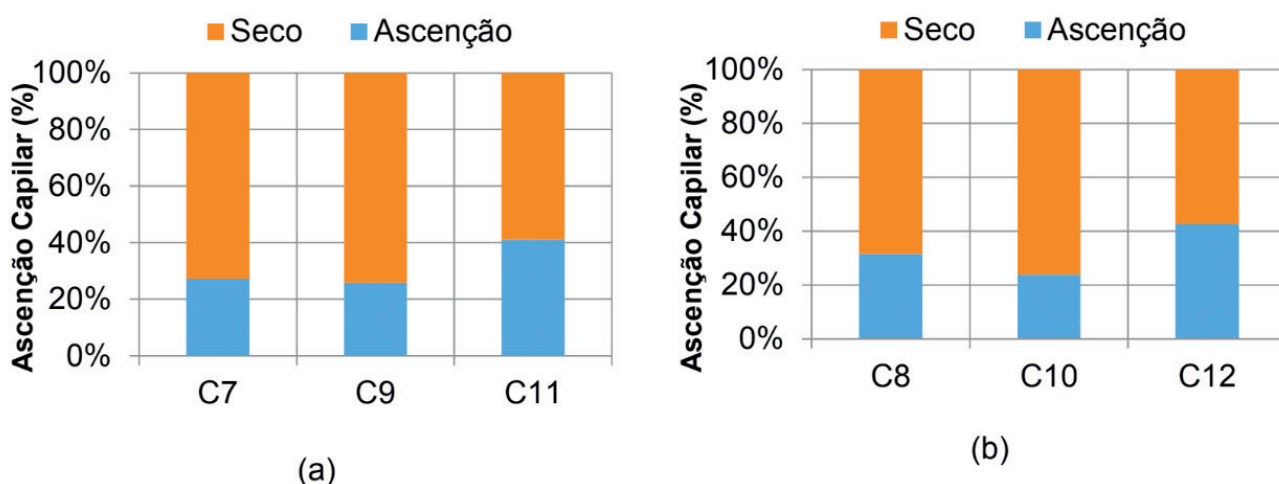


Figura 17 - (a) Resultados sem aditivos químicos; (b) Resultados usando aditivos químicos.

Ao analisar o gráfico da Figura 17 (a), verificou-se um melhor desempenho de  $R_{seco}$  e redução do desempenho de  $R_{cinza}$  quando relacionado a C7. Verificou-se que o resíduo  $R_{seco}$ , conforme Figura 16 (b), quando comparado ao C8, apresentou melhor desempenho com redução do aumento capilar, enquanto que  $R_{cinza}$  aumentou em 35% em relação a C8. Os resultados são, em geral, de acordo com a análise feita anteriormente para as Figs. 14 e 15, observando que existe uma tendência para as composições com  $R_{cinza}$  serem superiores às das composições de referência.

### 3.2.4 Índice de vazios

Os gráficos apresentam os resultados dos valores médios encontrados para o índice de vazios, em porcentagem (%), para a idade de 60 dias. A Figura 18 (a) mostra o gráfico das composições sem a presença dos aditivos químicos SP e P. A Figura 18 (b) mostra o gráfico das composições com a presença de SP e P.

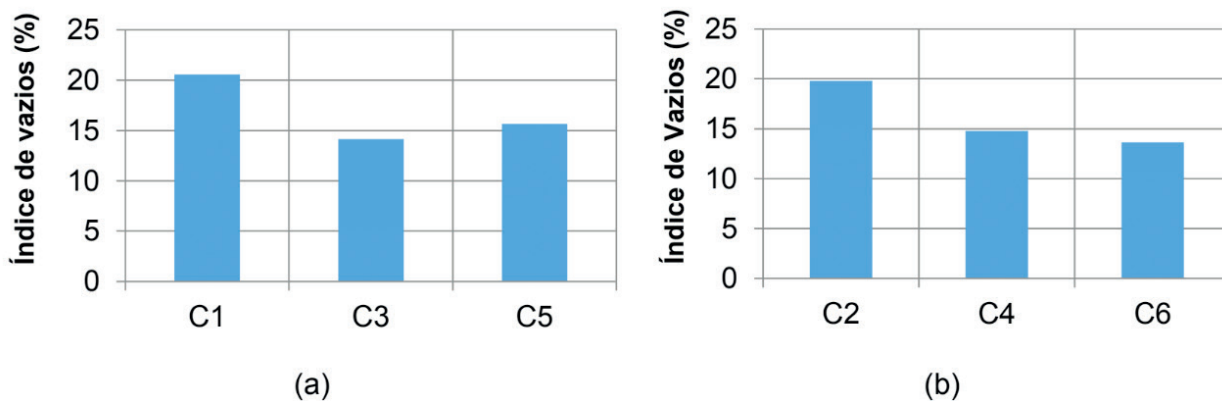


Figura 18 - (a) Resultados sem aditivos químicos; (b) Resultados usando aditivos químicos.

Analisando a Figura 19 (a), onde os resíduos foram testados sem SP e P, quando comparados a C1,  $R_{seco}$  apresentou melhores resultados que  $R_{cinza}$ . Quando adicionado às composições com aditivos químicos SP e P, quando comparado a C2, verificou-se que os dois resíduos promoveram redução do índice de vazios com desempenho equivalente entre eles; estes foram os melhores resultados para  $R_{cinza}$ , depois para  $R_{seco}$ . Ao analisar a Figura 19 (b),  $R_{seco}$  e  $R_{cinza}$  apresentaram desempenho superior à composição C2. A presença de SP e P não alterou significativamente o índice de vazios. Os gráficos apresentam os resultados dos valores médios encontrados para o índice de vazios de ar para as composições apresentadas na Tabela 3, em porcentagem (%), para a idade de 60 dias. A Figura 19 (a) mostra o gráfico das composições sem os aditivos químicos SP e P. A Figura 19 (b) mostra o gráfico das composições com a presença de SP e P.

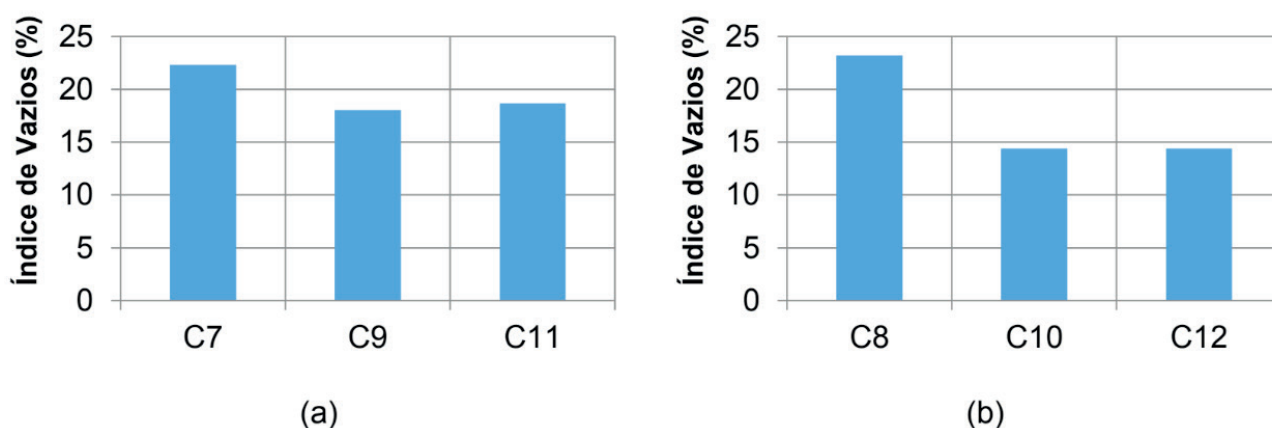


Figura 19 - (a) Resultados sem aditivos químicos; (b) Resultados usando aditivos químicos.

Verificou-se que os dois resíduos quando adicionados nas composições sem aditivos químicas SP e P, quando comparados a C7, composição de referência sem adição de resíduo, promoveram redução do índice de vazios com desempenho equivalente entre eles, tendo sido o melhor resultado para  $R_{seco}$ . Ao analisar a Figura 19 (b),  $R_{seco}$  e  $R_{cinza}$  apresentaram desempenho superior à composição C8. O comportamento das composições

com  $R_{\text{seco}}$  e  $R_{\text{cinza}}$  em relação às composições de referência é semelhante, além da troca de cimento e da mudança da razão  $a / l$ . No entanto, há uma pequena mudança de desempenho entre os resíduos  $R_{\text{seco}}$  e  $R_{\text{cinza}}$ , especialmente com a presença de SP + P. As composições mais fluidas resultaram em argamassas endurecidas mais compactas com menos volume de vazios. Isto é mostrado (Fig. 18) uma vez que os vazios de ar das composições C10 e C12 eram, em comparação com C9 e C11, inferiores.

## 4 | CONCLUSÕES

A partir dos resultados encontrados, foi possível estabelecer os seguintes indicativos:

- Houve mudanças previsíveis de comportamento das composições com resíduo quando confrontadas com os valores encontrados para as composições de referência, sem resíduos, adotadas;
- Com relação ao tempo de pega, verificou-se que o  $R_{\text{seco}}$ , quando aplicado sem a presença de aditivos químicos, apresentou um tempo de pega inicial mais longo quando comparado às demais composições;
- Ao analisar o índice de consistência, verificou-se a viabilidade dos dois resíduos estudados, tanto nas composições que não continham SP e P, quanto nas composições com os aditivos químicos;
- Para a resistência à compressão, os dois resíduos estudados apresentaram comportamento semelhante. Embora as resistências à compressão em todas as idades estudadas tenham sido inferiores à composição de referência, não houve redução significativa, havendo ainda viabilidade técnica para o uso dos resíduos;
- Os testes de durabilidade demonstraram que há viabilidade técnica no uso dos dois resíduos, especialmente quando aplicados com os aditivos químicos SP e P;
- O principal objetivo da pesquisa foi verificar a viabilidade do uso de um resíduo gerado pela utilização de outro resíduo, como é o caso do bioetanol celulósico da cana-de-açúcar. Consideramos esse objetivo alcançado, pois não há outros estudos na comunidade científica usando este mesmo resíduo;
- Por fim, os resultados mostraram que houve viabilidade técnica para a aplicação dos resíduos estudados, incentivando a continuidade da pesquisa com o uso de novas composições, porcentagem de reposição, testes e variáveis de análise.

## REFERÊNCIAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR NM 65**: Cimento Portland – Determinação do tempo de pega. Rio de Janeiro. 2003.

\_\_\_\_ **NBR 7215**: Cimento Portland - Resistência a Compressão. Rio de Janeiro. 1996.

\_\_\_\_ **NBR 7222**: Concreto e argamassa – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro. 2011.

\_\_\_\_ **NBR 9778**: Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro. 2005.

\_\_\_\_ **NBR 9779:** Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água por capilaridade. Rio de Janeiro. 2012.

\_\_\_\_ **NBR 13276:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Preparo da mistura e determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro. 2002.

Ataie, F. F., & Riding, K. A. **Use of bioethanol byproduct for supplementary cementitious material production.** Construction and Building Materials, 2014, 51, 89-96.

Betat, E.F.; *et. al.* **Concretos produzidos com resíduos do beneficiamento de ágata: avaliação da resistência à compressão e do consumo de cimento.** RM. 2009, 14, 1047-1060.

Biomass Magazine. **Scientists build stronger, greener concrete with lignin.** Disponível em: <http://biomassmagazine.com/articles/8756/scientists-build-stronger-greener-concrete-with-lignin> (acessado em 1 de maio de 2017).

Calado, C.; *et. al.* **Aplicação de lignina para adição ao cimento em argamassas de composições de concreto.** 59 Congresso Brasileiro do Concreto. Bento Gonçalves, IBRACON, Out-Nov 2017.

Camões, A.; Aguiar, B.; Jalali, S., **Estimating Compressive Strength of Concrete by Mortar Testing,** In Proceedings of INCOS'05, International Conference on Concrete for Structures, University of Coimbra, Portugal, 7-8 July 2005, S. Lopes, I. Pinto, L. Bernardo, L. Oliveira and R. Carmo ed., pp. 121-127, <http://hdl.handle.net/1822/4864>.

CBIC. **Produção e consumo de cimento no Brasil.** Disponível em: <http://www.cimentoverdedobrasil.com.br/producao-e-consumo-de-cimento-no-brasil/> (acessado em 2 de Outubro de 2017).

Daczko, J. **Mortar Testing for Estimating Strength.** Concrete International, ACI, 1999, p. 63-67

ECYCLE. **Etanol celulósico é alternativa mais sustentável na produção de combustível por meio de biomassa.** Disponível em: <https://www.ecycle.com.br/component/content/article/35/1600-etanol-celulosico-e-alternativa-mais-sustentavel-na-producao-de-combustivel-por-meio-de-biomassa.html> (acessado em 7 de novembro de 2018).

Lucas, D.; Benatti, C.T. **Utilização de resíduos industriais para a produção de artefatos cimentícios e argilosos empregados na construção civil.** RAMA. 2008, 1, 405-218.

Milanez, A.Y.; *et. al.* **De promessa a realidade: como o etanol celulósico pode revolucionar a indústria da cana-de-açúcar: uma avaliação do potencial competitivo e sugestões de política pública.** BNDES Setorial. 2015, 41, 237-294.

Raízen. **Tecnologia em energia renovável: etanol de segunda geração.** Disponível em: <https://www.raizen.com.br/energia-do-futuro-tecnologia-em-energia-renovavel/etanol-de-segunda-geracao> (acessado em 10 de julho de 2018).

## 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**