



Franciele Braga Machado Tullio  
Lucio Mauro Braga Machado  
(Organizadores)

# A Aplicação do Conhecimento Científico na Engenharia Civil

2

  
Ano 2020



Franciele Braga Machado Tullio  
Lucio Mauro Braga Machado  
(Organizadores)

# A Aplicação do Conhecimento Científico na Engenharia Civil

2

**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 2 [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 978-65-5706-170-1            DOI 10.22533/at.ed.701200907</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 2” contempla vinte e três capítulos com pesquisas relacionadas a temas da engenharia civil.

O desenvolvimento de novos materiais e a utilização de novas tecnologias na sua composição permitem um grande avanço na área, gerando alternativas de execução e muitas vezes evitando patologias nas edificações.

O estudo sobre o comportamento de materiais utilizados na construção civil permite o aperfeiçoamento de sistemas construtivos já existentes e proporciona uma otimização na execução de projetos.

O livro aborda também artigos que avaliam desempenho de solos, seu comportamento junto a estruturas de edificações e obras de pavimentação.

Esperamos que esta obra proporcione uma leitura agradável e contribua para a geração de novas pesquisas na área da engenharia civil, contribuindo para o desenvolvimento tecnológico.

Franciele Braga Machado Tullio

Lucio Mauro Braga Machado

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
ADERÊNCIA DO CHAPISCO COM ADIÇÃO DE CAL	
André Miranda dos Santos Ângelo Just da Costa e Silva João Manoel de Freitas Mota	
<b>DOI 10.22533/at.ed.7012009071</b>	
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>13</b>
AVALIAÇÃO DA ABSORÇÃO CAPILAR EM ARGAMASSAS ESTABILIZADAS DE REVESTIMENTOS SUBSTITUINDO AGREGADOS NATURAIS POR AGREGADOS ARTIFICIAIS	
Valéria Costa de Oliveira Emílio Gabriel Freire dos Santos Leandro de Souza Carvalho Rafael Alves de Oliveira Fernanda dos Santos Gentil Ieda Maria Fagundes Zanolla	
<b>DOI 10.22533/at.ed.7012009072</b>	
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>30</b>
AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DO PIGMENTO NA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO E TRAÇÃO DE CONCRETOS DE ALTO DESEMPENHO	
Amanda Vieira Noletto Dalmo Gabriel da Silva Santana Beatriz Santos Neri Maria Carolina de Paula Estevam D'Oliveira Salmo Moreira Sidel	
<b>DOI 10.22533/at.ed.7012009073</b>	
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>38</b>
AVALIAÇÃO DO ATAQUE DE ÍONS CLORETO EM ESTRUTURAS DE CONCRETO, CONTENDO OU NÃO ADIÇÕES MINERAIS	
Rayssa Valéria da Silva Fuad Carlos Zarzar Júnior José Wertson Gonçalo Pereira Gênova Gabriela Oliveira de Paula Rocha Leonardo José Silva do Vale João Gabriel Souza dos Reis Igor Albuquerque da Rosa Teixeira Pedro Daltro Macedo de Alencar José Flávio Batista Vilela Carlos Fernando Gomes do Nascimento	
<b>DOI 10.22533/at.ed.7012009074</b>	
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>51</b>
AVALIAÇÃO DOS EFEITOS DA ADIÇÃO DE METACAULIM NO CONCRETO FRENTE À PENETRAÇÃO DE ÍONS CLORETO	
Jefferson Thales Siqueira Gomes Emerson José da Silva	
<b>DOI 10.22533/at.ed.7012009075</b>	



<b>CAPÍTULO 6</b> .....	<b>68</b>
COMPÓSITOS CIMENTÍCIOS REFORÇADOS COM FIBRAS DE CELULOSE: UMA REVISÃO	
Marllon Victor Soares Cabral Humberto Mycael Mota Santos	
<b>DOI 10.22533/at.ed.7012009076</b>	
<b>CAPÍTULO 7</b> .....	<b>81</b>
EFEITO DA SÍLICA ATIVA EM SUSPENSÃO NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DO CONCRETO	
Albert Luiz Follmann Bruno Teles Cordeiro Fernando Pelisser Artur Spat Ruviano	
<b>DOI 10.22533/at.ed.7012009077</b>	
<b>CAPÍTULO 8</b> .....	<b>95</b>
ESTUDO DAS PROPRIEDADES DE UM CONCRETO COM 20MPA NO ESTADO FRESCO, MISTURADO À MÃO E NA BETONEIRA, COM E SEM A SUBSTITUIÇÃO DA AREIA NATURAL POR AREIA BRITADA	
Gabriel Rigaud Figueirôa Lyra Anderson José Silva André Vinícius Melo Couto André William Barbosa Brito Sócrates Ildefonso Farias da Silva Simone Perruci Galvão	
<b>DOI 10.22533/at.ed.7012009078</b>	
<b>CAPÍTULO 9</b> .....	<b>105</b>
INFLUÊNCIA DO PROCEDIMENTO DE MISTURA DOS ADITIVOS NAS PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS ESTABILIZADAS	
Juliana Pippi Antoniazzi Luciano Vargas Vaz Gihad Mohamad Raquel Petry Brondani Schmidt Bernardete Trindade	
<b>DOI 10.22533/at.ed.7012009079</b>	
<b>CAPÍTULO 10</b> .....	<b>114</b>
VIABILIDADE TÉCNICA DO USO DE DETERGENTE DOMÉSTICO COMO ADITIVO PLASTIFICANTE EM ARGAMASSA CIMENTÍCEA	
Jessica Maria de Oliveira Galeno Ataídes Oliveira Galvão Junior Marcos Vinícios Aguiar Mohana Mylena Veras Cavalcante	
<b>DOI 10.22533/at.ed.70120090710</b>	
<b>CAPÍTULO 11</b> .....	<b>128</b>
AVALIAÇÃO DO ATRITO DE INTERFACE ENTRE BLOCOS DE EPS E DIFERENTE SOLOS E GEOSSINTÉTICOS ATRAVÉS DO CISALHAMENTO DIRETO	
Arthur Ivo Zuquim	
<b>DOI 10.22533/at.ed.70120090711</b>	

<b>CAPÍTULO 12</b> .....	<b>143</b>
CONTRIBUIÇÃO DA RIGIDEZ TORSIONAL DE VIGAS NO CÁLCULO DE MOMENTOS FLETORES EM LAJES MACIÇAS DE CONCRETO ARMADO	
Jonas Pereira Falcão Francisco dos Santos Rocha	
<b>DOI 10.22533/at.ed.70120090712</b>	
<b>CAPÍTULO 13</b> .....	<b>159</b>
DETERMINAÇÃO DA RIGIDEZ EXPERIMENTAL DE VIGOTA TRELIÇADA OBJETIVANDO O DIMENSIONAMENTO DE ESCORAS DE LAJES	
Rebeca Alexandra de Moraes Candido Tiago Duarte de Lima Adão Marques Batista	
<b>DOI 10.22533/at.ed.70120090713</b>	
<b>CAPÍTULO 14</b> .....	<b>170</b>
EFEITOS DA TEMPERATURA NAS DEFORMAÇÕES POR FLUÊNCIA DO CONCRETO	
Edmilson Lira Madureira Brenda Vieira Costa Fontes Juliana Caroline Neves de Araújo	
<b>DOI 10.22533/at.ed.70120090714</b>	
<b>CAPÍTULO 15</b> .....	<b>186</b>
ESTABILIDADE ELÁSTICA EM PILARES METÁLICOS SUBMETIDOS À ATUAÇÃO CONJUNTA DO CARREGAMENTO VERTICAL E DO VENTO	
Wesley Imperiano Gomes de Melo Normando Perazzo Barbosa	
<b>DOI 10.22533/at.ed.70120090715</b>	
<b>CAPÍTULO 16</b> .....	<b>205</b>
INFLUÊNCIA DO GRAUTE NA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DA ALVENARIA ESTRUTURAL DE BLOCOS CERÂMICOS	
Rafael Azevedo Lino Orieta Soto Izquierdo Indara Soto Izquierdo Márcio Roberto Silva Corrêa	
<b>DOI 10.22533/at.ed.70120090716</b>	
<b>CAPÍTULO 17</b> .....	<b>222</b>
INSPEÇÃO PRELIMINAR E MONITORAMENTO DE EDIFICAÇÃO EM CONCRETO ARMADO: ESTUDO DE CASO EM BRASÍLIA	
Matheus Nunes Reis Jorge Antonio da Cunha Oliveira Jocinez Nogueira Lima	
<b>DOI 10.22533/at.ed.70120090717</b>	
<b>CAPÍTULO 18</b> .....	<b>237</b>
O CÁLCULO CORRETO DOS EFEITOS DE SEGUNDA ORDEM EM ESTRUTURAS DE EDIFÍCIO DE CONCRETO ARMADO	
Antonio Oscar Cavalcanti da Fonte Felipe Luna Freire da Fonte Ennes do Rio Abreu	
<b>DOI 10.22533/at.ed.70120090718</b>	

<b>CAPÍTULO 19 .....</b>	<b>251</b>
REFORÇO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO COM PRF: UM ESTUDO DE CASO	
Elisson Bilheiro Ferreira Filho	
Ruan Richelly Santos	
Letícia Ikeda Castrillon Fernandez	
Diôgo Silva de Oliveira	
<b>DOI 10.22533/at.ed.70120090719</b>	
<b>CAPÍTULO 20 .....</b>	<b>270</b>
CAPACIDADE DE ANCORAGEM DE CONECTORES COM CABEÇA EM CONEXÕES VIGA-PILAR DE CONCRETO ARMADO	
Nataniel Wontoon Barbosa Lima	
Ana Paula Bona Barros Medeiros	
Guilherme Oití Berbert-Born	
João Gabriel Pacheco Monteiro	
Marcos Honorato de Oliveira	
Maurício Ferreira de Pina	
<b>DOI 10.22533/at.ed.70120090720</b>	
<b>CAPÍTULO 21 .....</b>	<b>285</b>
ESTUDO DA DOSAGEM DE CONCRETO AUTOADENSÁVEL REFORÇADO COM FIBRAS ADOTANDO O MÉTODO DO EMPACOTAMENTO COMPRESSÍVEL (MEC)	
Matheus Galvão Cardoso	
Rodrigo de Melo Lameiras	
<b>DOI 10.22533/at.ed.70120090721</b>	
<b>CAPÍTULO 22 .....</b>	<b>301</b>
IDENTIFICAÇÃO DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM FACHADAS DE EDIFICAÇÕES HISTÓRICAS	
Tauhana Eineck	
Diogo Rodrigues	
Patrícia Dalla Lana Michel	
<b>DOI 10.22533/at.ed.70120090722</b>	
<b>CAPÍTULO 23 .....</b>	<b>305</b>
UMA ABORDAGEM SOBRE A CARACTERIZAÇÃO DOS SOLOS LATERÍTICOS APLICADOS À PAVIMENTAÇÃO	
Lettycia Pinheiro da Silva	
Lázaro Fernandes Pereira	
Beatriz Almeida Nascimento	
Lívia Ramos Lima	
Roseli Oliveira Guedes Martins	
<b>DOI 10.22533/at.ed.70120090723</b>	
<b>SOBRE OS ORGANIZADORES.....</b>	<b>307</b>
<b>ÍNDICE REMISSIVO .....</b>	<b>308</b>

## AVALIAÇÃO DOS EFEITOS DA ADIÇÃO DE METACAULIM NO CONCRETO FRENTE À PENETRAÇÃO DE ÍONS CLORETO

*Data de aceite: 01/06/2020*

**Jefferson Thales Siqueira Gomes**

Cetro Universitário do Vale do Ipojuca

Caruaru – PE

[lattes.cnpq.br/1471349720815343](http://lattes.cnpq.br/1471349720815343)

**Emerson José da Silva**

Centro Universitário do Vale do Ipojuca

Caruaru-PE

[lattes.cnpq.br/7381858834545638](http://lattes.cnpq.br/7381858834545638)

**RESUMO:** Muitos pesquisadores consideram a corrosão por íons cloreto o tipo mais severo de manifestação patológica que ataca as estruturas de concreto armado, dito isto, têm-se observado a necessidade de implementar ao concreto materiais que pudessem auxiliar no combate a este tipo de patologia, o que levou ao aumento do uso das adições minerais, seja por adição ou por substituição. Assim, o principal objetivo deste estudo é avaliar os efeitos do uso do Metacaulim como adição, frente à penetração de íons cloreto, sendo a relevância deste trabalho justificada pela busca de conhecimentos que apresentem parâmetros para correta utilização deste material, assegurando os benefícios trazidos por ele em relação à redução da penetração de íons cloreto.

Para realização de tal análise, foram moldados 92 corpos de prova com 4 traços de concreto, onde, através de percentuais de 0, 5, 10 e 15% foram realizados ensaios de resistência à compressão, resistência à tração, absorção por capilaridade e de avaliação da profundidade de penetração de íons cloreto. Através destes ensaios foi possível observar um aumento da resistência mecânica com valores que chegam a um crescimento de aproximadamente 23% para resistência à compressão e uma resistência à tração que representa cerca de 15% quando comparada à resistência à compressão. Além de uma redução de 45,24% na permeabilidade do concreto, e uma redução de até 44,71% no avanço da frente de cloretos. Com a conclusão da pesquisa observou-se que o uso do Metacaulim proporcionou modificações favoráveis no concreto que podem ser capazes de aumentar sua durabilidade e vida útil, e melhorar o desempenho do material.

**PALAVRAS-CHAVE:** corrosão. manifestações patológicas. íons cloreto. metacaulim. adições minerais.

## EVALUATION OF THE EFFECTS OF THE ADDITION OF METACAULIM IN CONCRETE AGAINST THE PENETRATION OF CHLORIDE IONS

**ABSTRACT:** Many researchers consider the corrosion by chloride ions the most severe of pathological manifestation that attacks reinforced concrete structures, from this, it has been observed the need to implement to the concrete materials that could help in the combat to this kind pathology, what takes the increase in the use of mineral additives, for addition or substitution. Therefore, the principal propose of this study is evaluate the effects of use the Metacaulim as addiction, against the penetration of chloride ions, being the relevance of this work justified by the search for knowledge that present parameters for correct use of this material, guaranteeing the benefits brought by it regarding the reduction of penetration of chloride ions. For such analysis, 92 proof bodies were performed with 4 concrete trace, wich, through percentages of 0, 5, 10 and 15% tests of resistance to compression, tensile strength, capillary absorption and penetration depth evaluation of chloride ions were performed. Through these tests it was possible to observe an increase of mechanical resistance with values that reach a growth of about 23% for compressive strength and a tensile strength that represent about 15% when compare to resistance to compression. Besides a reduction of 45,24% in the permeability of the concrete, and a reduction of up to 44,71% in front of chloride. With the conclusion of the research it was observed that the use of Metacaulim provided favorable modifications in the concrete witch may be able to increase its durability and lifespan, and improve the material performance.

**KEYWORDS:** corrosion. pathological manifestation. chloride ions. metacaulim. mineral additives.

### 1 | INTRODUÇÃO

Na construção civil, o concreto é o material mais utilizado no mundo para o desenvolvimento de estruturas, com números que chegam a 11 bilhões de toneladas de concreto consumidos anualmente e que, segundo a Federación Iberoamericana de Hormigón Premezclado (FIHP). Duas características do concreto contribuíram para disseminação de seu uso: por ser um composto plástico, quando em estado fresco, permite sua modelagem em diversas formas e tamanhos; e sua resistência, no estado endurecido, análoga a de rochas minerais. (PEDROSO, 2009)

Devido ao amplo uso nas construções, passou a existir uma necessidade de concretos modificados, que pudessem atender as diversas exigências apresentadas nas novas estruturas. Assim, a indústria de adições para concreto tem preparado numerosos produtos que adicionados ao concreto podem modificar algumas de suas propriedades, permitindo a obtenção de concretos com variadas características de acordo com a necessidade do consumidor. (MARTIN, 2005)

Diante desta busca por melhoria das características do concreto temos as adições

pozolânicas. Este tipo de adição busca conferir ao concreto uma maior durabilidade melhorando seu desempenho e aumentando a vida útil do material. (Fonseca, 2010)

O uso das adições permite tanto a melhora das características técnicas do concreto utilizado, como também exerce influência na redução dos impactos ambientais e extração de matérias-primas, redução da poluição gerada, além das justificativas econômicas, por possuírem menores custos e preços em relação ao cimento Portland ou ao clínquer Portland. (Dal Molin, 2005)

Contudo, apesar desta evolução na indústria dos materiais de construção civil, ainda é observado uma grande ocorrência de manifestações patológicas que atuam nas estruturas. Cascudo e Helene (2001), afirmam que a corrosão de armaduras em estruturas de concreto constitui um dos problemas de maior exponência no contexto da patologia das construções. Em um estudo conduzido pela professora doutora Joseanne Maria Rosarola Dotto os gastos governamentais com recuperação de estruturas de obras públicas devido ao desenvolvimento do processo corrosivo no Brasil chegam a um valor de R\$ 800 milhões por ano. (SANTOS, 2012)

Segundo Dal Molin (2005), a adição de pozolanas mais ativas como é o caso do Metacaulim (MTC), seria responsável por uma considerável melhora em sua resistência. Devido ao refinamento dos poros e dos cristais presentes na pasta de cimento, exercem uma importante influência no aumento das resistências mecânicas, ao mesmo tempo que contribui para redução da penetração de agentes agressivos ao concreto.

Assim, este trabalho tem como objetivo analisar os benefícios proporcionados pelo uso do Metacaulim no que diz respeito a penetração de agentes agressivos, a fim de reduzir a ocorrência de corrosão da armadura presente no concreto. Bem como avaliar as modificações proporcionadas pelo uso deste tipo de adição com relação às propriedades físico-químicas e mecânicas apresentadas pelo concreto.

## 1.1 Corrosão da armadura

Cascudo (2005) explica que a corrosão é um processo de deterioração do metal existente no concreto o que resulta na perda de seção das barras utilizadas na armadura das peças. Simultaneamente ao processo de perda da seção ocorre a formação de produtos expansivos, que se acumulam provocando tensões internas e conseqüentemente causando fissuras no concreto, o que posteriormente acarretará na perda da camada de cobertura da peça. Este processo, se não realizada a intervenção, resultará no colapso total da estrutura.

A deterioração das barras de aço presentes no concreto, segundo Gentil (2011), ocorre em decorrência do ataque de íons cloretos no interior da peça, estes íons agem suprimindo a película passivante e proporcionando as condições necessárias para o processo de corrosão.

### 1.1.1 Corrosão eletroquímica

A corrosão do aço no concreto armado ocorre por meio de um processo eletroquímico, que segundo Callister e Rethwisch (2013), traduz-se por uma reação química onde verifica-se uma transferência de elétrons de uma espécie química para outra. Assim, uma parte do metal torna-se anódica, ou seja, perderá elétrons para a outra região do metal que receberá os elétrons tornando-se catódica, como observado na Figura 1.

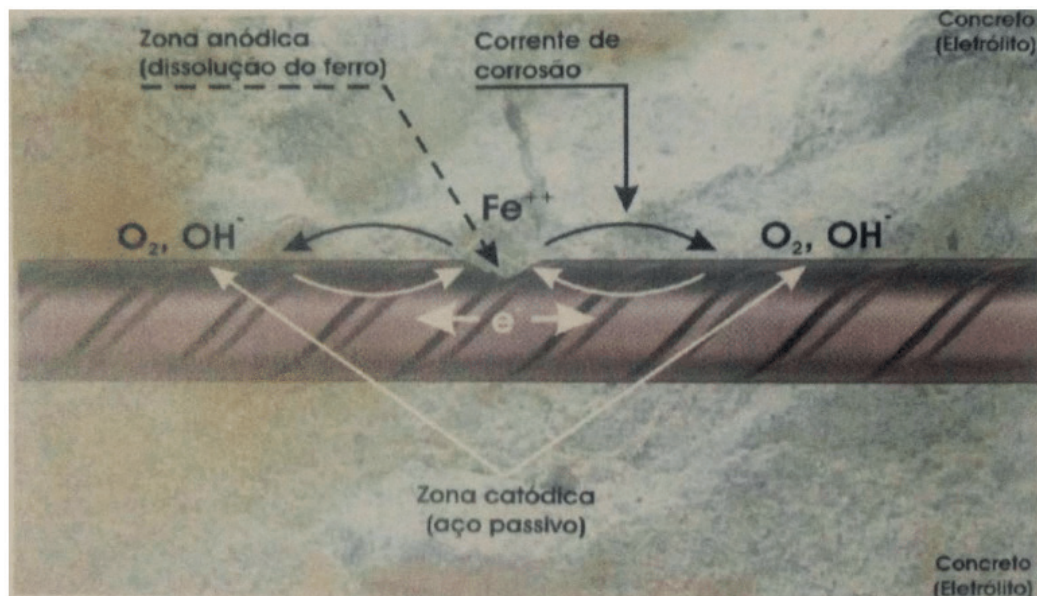


Figura 1–Pilha eletroquímica de corrosão no concreto armado

FONTE: Isaia (2005), Vol. 2, p

No concreto armado, os dois efeitos principais que são motivos de falhas no desempenho estrutural das peças são a perda de seção das barras de aço devido ao processo eletroquímico descrito, onde em função da migração dos íons nas reações anódicas e catódicas ocorre a diminuição da seção da barra na área catódica e acúmulo dos produtos de corrosão ao redor da armadura, na área catódica. O acúmulo destes produtos de corrosão é o agente ocasionador do segundo efeito principal, onde os produtos de corrosão gerados são produtos expansivos que ao se acumularem, ocupam volumes no interior do concreto que, segundo Mehta e Monteiro (2008), dependendo do estado de oxidação, pode chegar a um aumento de volume de 600% em relação ao metal original. Este aumento de volume é ilustrado na Figura 2.

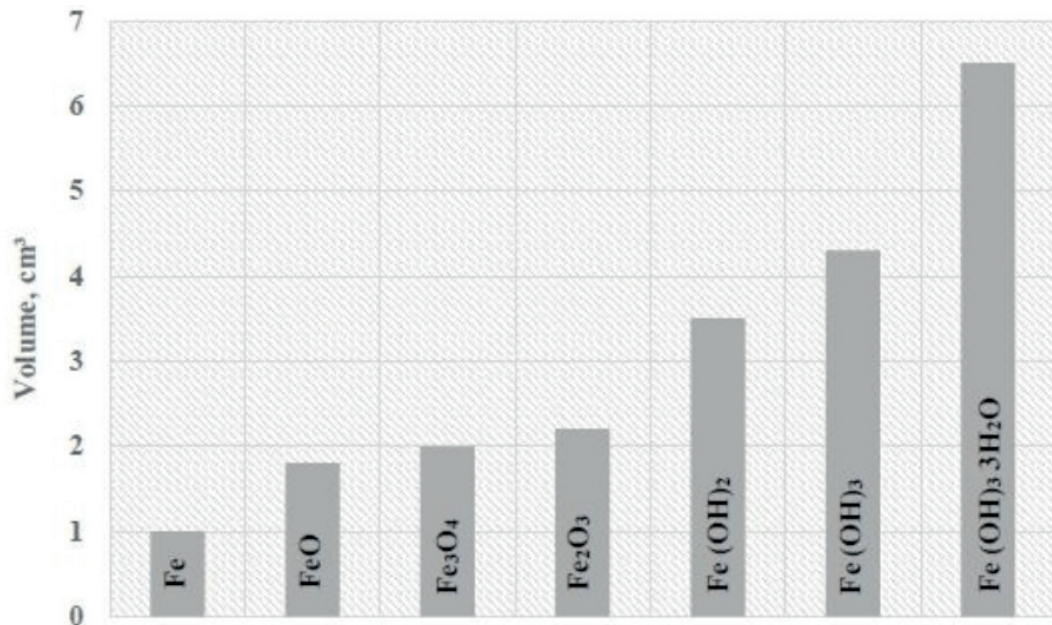


Figura 2—Aumento de volume sólido com relação ao estado de oxidação

FONTE: Mehta e Monteiro (2008), p. 180. Adaptado pelo autor.

Cascudo (2005) explica que o aumento de volume mostrado na Figura 2 pode causar no concreto, tensões internas. com valores que podem chegar a 15MPa, os esforços causados por essas tensões resultam em fissuras na peça de concreto. As fissuras causadas pelo esforço gerado no interior do concreto vão aumento de acordo com o avanço do processo corrosivo, o que posteriormente resultará no lascamento do concreto e destacamento da camada de cobrimento.

## 1.2 Adições minerais

Um dos materiais utilizados para melhorar as características dos concretos produzidos são as adições minerais, que podem ser usadas tanto com o objetivo de somar, ou como forma de substituição parcial da matéria-prima cimento, já que possui propriedades similares.

O emprego das adições minerais proporciona principalmente melhorias das características técnicas do material, visto que tem a capacidade de modificar a estrutura interna da pasta de cimento hidratada, interagindo química e fisicamente com os produtos da hidratação do clínquer ou do cimento, como explicado por Silva (2007). Esta interação resulta em materiais cimentícios com melhores propriedades que vão desde melhoria na trabalhabilidade do concreto até a garantia da durabilidade necessária às condições de serviço.

De acordo com Silva (2007), as adições minerais são classificadas conforme sua ação físico-química, sendo divididas em três grandes grupos: material pozolânico, material cimentante e fíler. Dentro do grupo dos materiais pozolânicos, tem-se o metacaulim, que deterá uma maior atenção deste estudo, com o objetivo de compreender os efeitos



causados no concreto.

### 1.2.1 Metacaulim

O metacaulim é um tipo de adição mineral sílico-aluminoso proveniente da calcinação, entre 600°C e 900°C, de argilas caulínicas e os caulins resultando em um material pozolânico amorfo. A obtenção deste material ocorre devido à desidroxilação da estrutura cristalina da caulinita durante o processo de calcinação.

Fonseca (2010) afirma que o metacaulim é basicamente constituído de sílica e alumínio no estado amorfo, o que ao reagir com hidróxido de cálcio produzido na hidratação do cimento Portland, formam o silicato de cálcio hidratado (C-S-H) e o hidroaluminosilicato de cálcio. Assim, é correto afirmar que a presença desta adição confere ao concreto características especiais com relação à durabilidade e desempenho mecânico quando comparado a concretos produzidos sem a presença do metacaulim.

Devido à melhoria destas características técnicas obtidas através de sua atividade como material pozolânico o interesse pelo uso do metacaulim, seja como adição mineral ou como substituição parcial do cimento Portland, na produção de concreto tende a crescer cada vez mais.

## 2 | METODOLOGIA

Para avaliar o efeito da presença de metacaulim no concreto quanto à ação dos cloretos foram utilizados como amostras corpos de prova (CP) cilíndricos confeccionados em concreto, com dimensões de 10x20 cm, além da concepção de 4 traços de concreto sendo o concreto de referência, sem adição, e mais 3 traços com adição de Metacaulim.

O traço utilizado para produção dos corpos de prova foi o traço padrão 1 : 2 : 3 e um  $\alpha=50\%$ . A quantidade de adição foi acrescentada em 5% para cada composição dos corpos de prova, dentro de um intervalo de 0 a 15% com relação à massa de cimento. Os traços são descritos no Quadro 1.

Tipo de Traço	Traço com relação á massa de cimento (1 : a : b : a/c : adição)
T0	1 : 2 : 3 : 0,54 : 0%
T1	1 : 2 : 3 : 0,54 : 5%
T2	1 : 2 : 3 : 0,56 : 10%
T3	1 : 2 : 3 : 0,59 : 15%

Quadro 1–Aumento de volume sólido com relação ao estado de oxidação

FONTE: Autor.

Como a trabalhabilidade do concreto foi fixada para um valor de  $80 \pm 20$  mm no

Slump Test, foi necessário uma variação na relação água/cimento para que este valor fosse atendido.

## 2.1 Materiais Utilizados

### 2.1.1 Cimento

O cimento utilizado para composição dos corpos de prova foi o cimento Portland do tipo CII F-32, devido ao comum uso deste tipo de cimento na região. Além disso, é um cimento que não possui necessariamente adição pozolânica em sua composição, o que poderia interferir no resultado final das análises.

### 2.1.2 Agregado miúdo

O agregado miúdo utilizado na composição dos CPs foi uma areia natural. As características granulométricas do agregado são apresentadas no Quadro 2 e na Figura 3.

Agregado miúdo - Amostra 1				
Peneiras ( $\mu\text{m}$ )	Massa (g)	%		
		Retida	Acumulada	passante
4750	5	1	1	99
2360	51,2	10,24	11,24	88,76
1180	82,3	16,46	27,7	72,3
600	130,2	26,04	53,74	46,26
300	113,6	22,7	76,46	23,56
150	69,4	13,88	90,34	9,68
Fundo	48,3	9,66	100	0,02

Quadro 2–Distribuição granulométrica do agregado miúdo

FONTE: Autor.

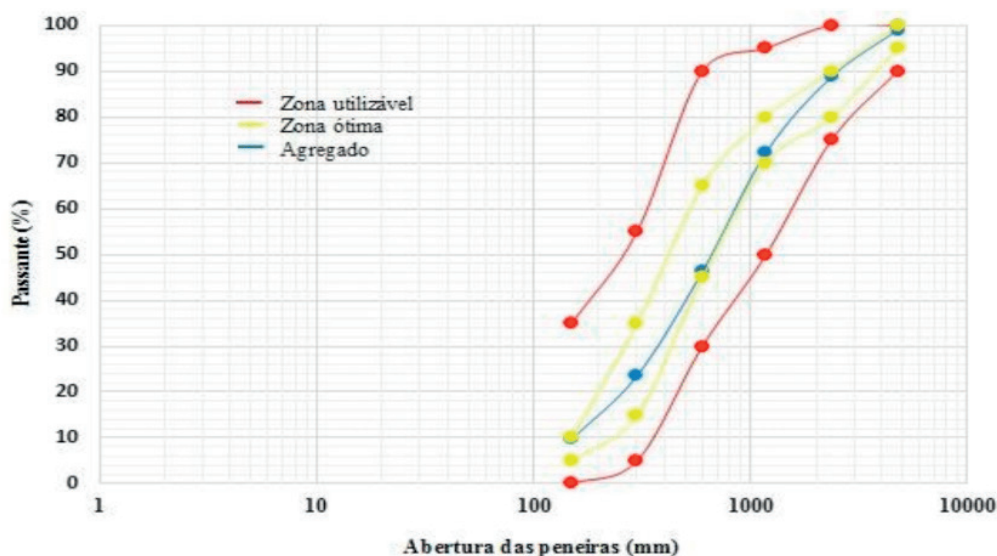


Figura 3 –Curva granulométrica do agregado miúdo

FONTE: Autor.

### 2.1.3 Agregado graúdo

O agregado graúdo utilizado na composição dos CPs foi pedra britada.

As características granulométricas do agregado são apresentadas no Quadro 3 e na Figura 4.

Agregado graúdo				
Peneiras ( $\mu\text{m}$ )	Massa (g)	%		
		retida	acumulada	passante
75000	0	0	0	100
50000	0	0	0	100
37500	0	0	0	100
25000	2973,2	59,464	59,464	40,536
19000	919,4	18,388	77,852	22,148
12700	884,1	17,682	95,534	4,466
9500	120,5	2,41	97,944	2,056
6300	87,8	1,756	99,7	0,3
4750	9,3	0,186	99,886	0,114
Fundo	5,7	114	100	0

Quadro 3–Distribuição granulométrica do agregado graúdo

FONTE: Autor.

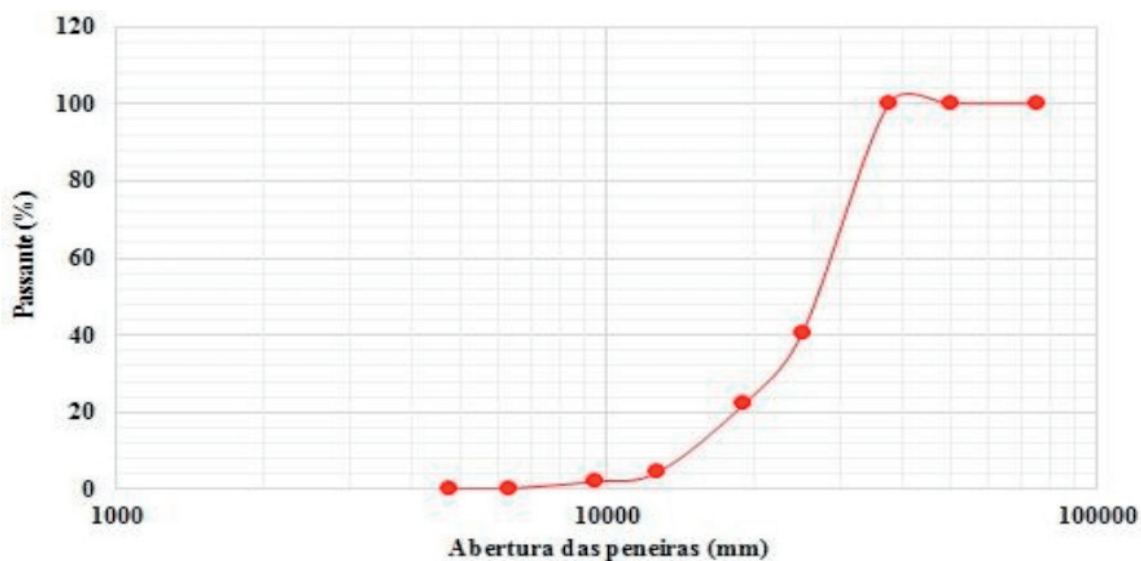


Figura 4–Curva granulométrica do agregado graúdo

FONTE: Autor.

## 2.2 Moldagem dos corpos de prova

Para realização do estudo foram moldados 92 corpos de prova cilíndricos (10 cm x 20 cm), divididos em 4 traços como fora mencionado no item 2.

Os corpos de prova foram moldados em duas camadas, e adensados de forma manual, com haste metálica, aplicando-se 12 golpes para cada camada. Após moldagem, os corpos de prova foram cobertos com filme plástico para evitar a perda de água.

Após 24 horas os CPs foram desmoldados, marcados por traço e colocados em tanque para realização de cura submersa, e permaneceram até o momento da realização de análises posteriores. Foram realizadas análises para 4 períodos de cura: 7 dias, 14 dias, 28 dias.

### 2.3 Ciclos de molhagem e secagem

Com o intuito de simular a penetração de íons cloreto ao longo do tempo, foram separados 3 CPs de cada traço para submetê-los a ciclos de secagem e molhagem em meio à solução agressiva, por imersão, conforme indicado na Figura 5.

Após 28 dias de cura os corpos de prova foram expostos à umidade ambiente por 4 dias, e em seguida foram imersos em solução agressiva contendo 3,5% de cloreto de sódio (NaCl-) e 5% de sulfato de sódio (NaSO<sub>4</sub>) durante 3 dias. A soma destes 7 dias constituiu um ciclo completo. A escolha desta solução foi baseada no trabalho de Lima (2017).

Os corpos de prova foram submetidos ao processo durante 21 dias, ou seja, 3 ciclos.

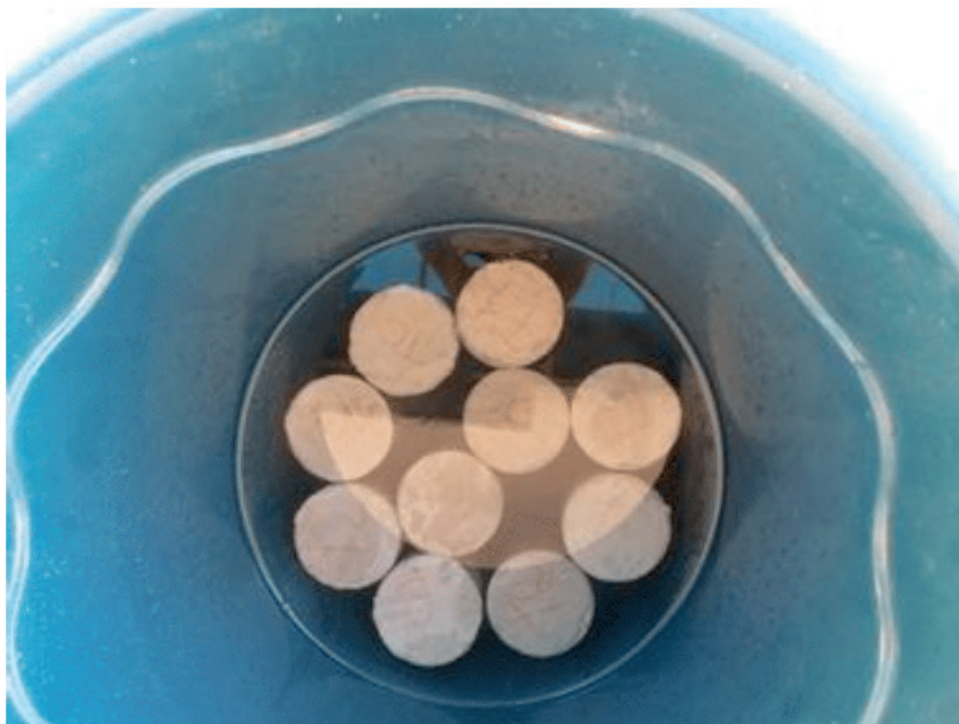


Figura 5—Corpos de prova submersos em solução agressiva para realização de ciclos de molhagem e secagem

FONTE: Autor.

### 2.4 Ensaios realizados

Os dados foram coletados mediante observação sistemática de ensaios realizados no laboratório de construção civil da Unifavip, com ambiente e condições controladas

buscando conhecer o concreto com relação à presença de íons cloreto ( $\text{Cl}^-$ ), além de avaliar a influência do metacaulim nas características mecânicas do concreto.

#### *2.4.1 Resistência à compressão*

Para realização do ensaio de resistência a compressão simples foram utilizados corpos de prova com idades de 7, 14 e 28 dias submetendo-se 3 corpos de prova cilíndricos de cada traço estudado à compressão axial. O ensaio foi realizado com base na NBR 5739:2018.

#### *2.4.2 Resistência à tração*

Para o ensaio de resistência à tração foram utilizados os corpos de prova com idades de 7 e 14 dias além dos CPs submetidos aos ciclos de molhagem e secagem, foram utilizados 3 corpos de prova cilíndricos de cada traço estudado. O ensaio foi realizado com base na NBR 7222:2011.

#### *2.4.3 Ensaio de absorção por capilaridade*

Para realização do ensaio de absorção por capilaridade foram utilizados os CPs com idade de 28 dias, com base na norma NBR 9779/2012. O objetivo do ensaio é determinar a capacidade de absorção de água do concreto, através da ascensão capilar.

#### *2.4.4 Análise de penetração de íons cloreto por aspersão de nitrato de prata*

Após rompimento com idade de 49 dias, os corpos de prova submetidos aos ciclos de molhagem e secagem foram utilizados para realização de uma análise da profundidade de penetração de íons cloreto por meio de aspersão de nitrato de prata ( $\text{AgNO}_3$ ). Foram utilizados 3 corpos de prova de cada traço estudado.

Quando aspergido no concreto ou argamassa contaminada com o cloreto, o nitrato de prata reage formando como produto da reação o cloreto de prata ( $\text{AgCl}$ ), que é um precipitado prateado, enquanto que a parte livre de cloretos assume uma coloração amarronzada. Assim, é possível medir a profundidade da frente de cloretos no concreto, conforme explicado por Figueiredo, et al (2014). A aspersão da solução de nitrato de prata é ilustrada na Figura 6.



Figura 6–Aspersão de AgNO<sub>3</sub> nos corpos de prova

FONTE: Autor.

A medida do avanço da frente de cloretos foi realizada com o auxílio do programa computacional ImageJ, que relaciona a medida real analisada com os pixels da foto criando uma escala e permitindo a medição das distâncias.

As medidas foram realizadas marcando 30 mm a partir do topo do CP, correspondendo ao local da primeira medida, e depois foram tomadas mais 7 medidas com intervalo de 20 mm entre si. Assim, foram realizadas 8 medições para cada lateral do corpo de prova totalizando 16 medidas por CP. No caso de impossibilidade de leitura por presença de agregado ou grande imperfeição na lateral do CP, a medida foi desconsiderada, contanto que houvesse no mínimo 5 medidas válidas.

### 3 | ANÁLISE E APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS

#### 3.1 Resistência à compressão

Os resultados de resistência à compressão média são apresentados no Quadro 4 e representados graficamente na Figura 7.

PERÍODOS	Resistência média à compressão (MPa)			
	T0	T1	T2	T3
<b>7 Dias</b>	23,42	25,45	27,60	29,84
<b>14 Dias</b>	24,70	27,70	30,12	31,45
<b>28 Dias</b>	29,23	31,71	32,50	35,98

Quadro 4–Resistência à compressão para cada traço de concreto analisado

FONTE: Autor.

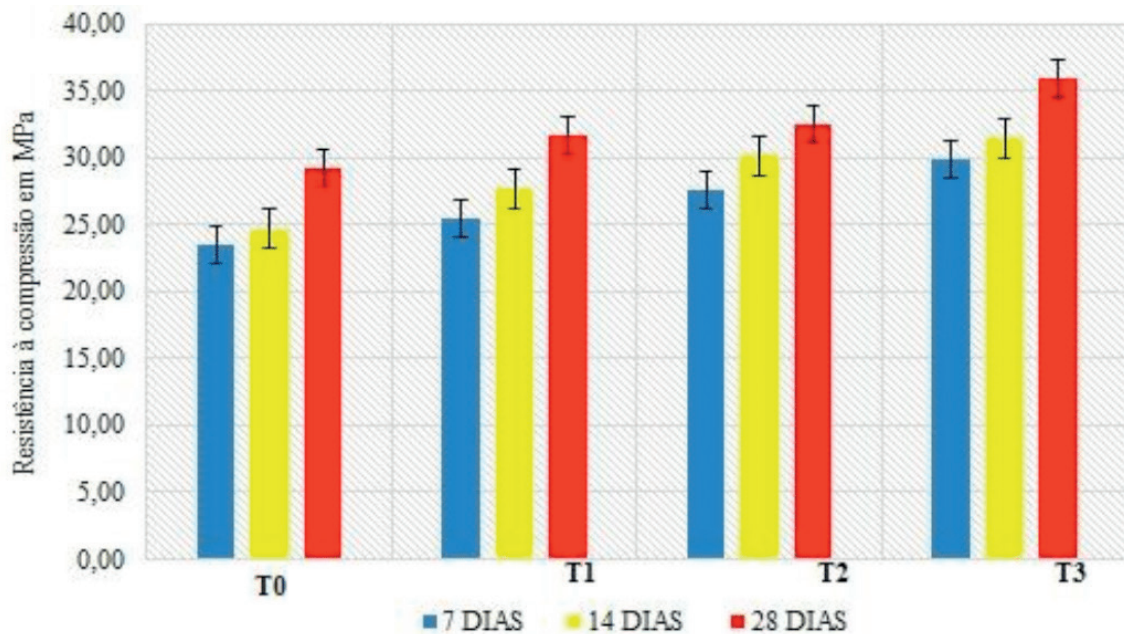


Figura7–Resistência média à compressão do concreto analisado

FONTE: Autor

Como observa-se na Figura 7, foi possível verificar um acréscimo de resistência de pelo menos 6 MPa de diferença entre o concreto de referência (T0), para o traço com 15% de MTC (T3) em todas as idades. Portanto, foi possível confirmar através do ensaio de resistência a compressão que o uso do metacaulim como adição mineral teve influência, de forma benéfica, nas propriedades mecânicas do concreto.

Este resultado dá-se no concreto pois, como citado anteriormente, o MTC presente no concreto ao reagir com o hidróxido de cálcio, auxilia na formação do silicato de cálcio hidratado, considerado por Freire e Beraldo (2003) o principal produto de hidratação do cimento Portland, já que é responsável por conferir a resistência ao material. Além dos efeitos reativos do material, considera-se também o efeito de preenchimento dos poros, o que contribui para o acréscimo de resistência, já que conforme explicado por Lima (2017), a porosidade do concreto está diretamente relacionada com a sua resistência mecânica.

### 3.2 Resistência à tração

O ensaio de resistência à tração foi realizado com 4 corpos de prova para cada traço, e para idades de 7 e 14 dias. Os resultados da resistência à tração por compressão diametral média são apresentados no Quadro 5 e representados graficamente na Figura 8.

Resistência média à tração (MPa)				
PERÍODOS	T0	T1	T2	T3
7 Dias	2,96	3,17	3,21	3,37
14 Dias	3,44	3,07	3,27	3,66

Quadro 5 –Resistência à tração para cada traço de concreto analisado

FONTE: Autor.

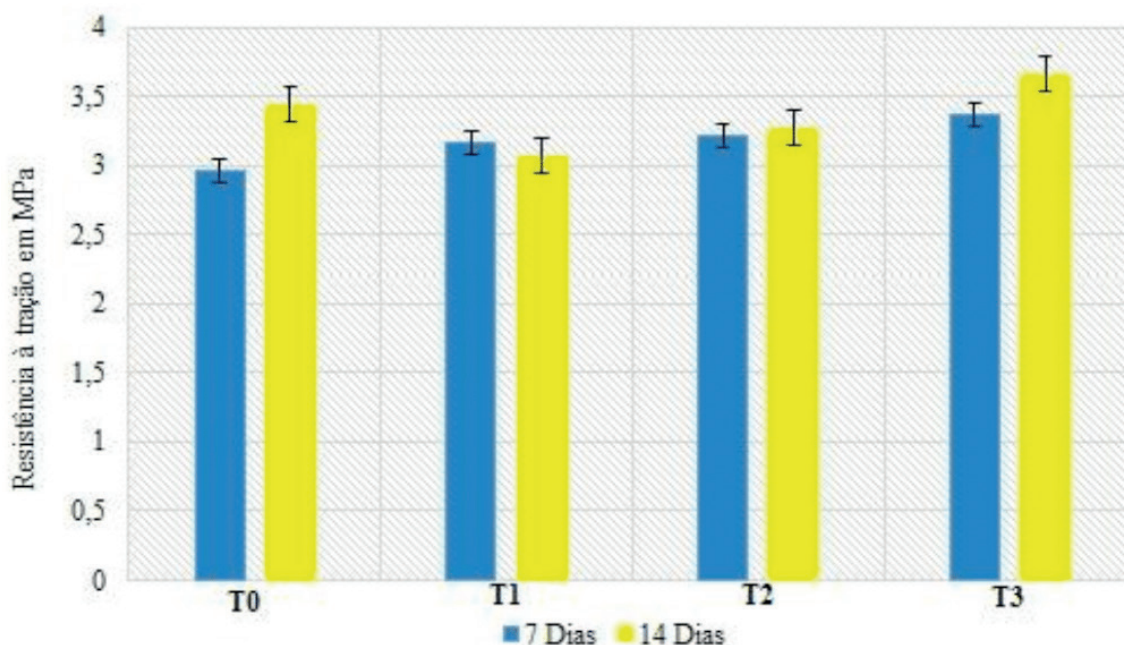


Figura 8–Resistência média à tração do concreto analisado utilizado

FONTE: Autor.

Através do ensaio de resistência à tração por compressão diametral da peça de concreto foi possível observar que em todos os traços analisados a resistência à tração superou a marca de 10% da resistência à compressão, e chegando a 15% quando comparado os valores de T3 com a resistência à compressão do traço de referência. Portanto, foi possível confirmar que o uso do MTC conferiu um aumento na resistência à tração do concreto, apesar deste apresentar-se em menor escala, já que as reações pozolânicas do MTC ocorrem de forma lenta.

O resultado é confirmado através de estudos como o de Guimarães (2002), onde afirma em seu trabalho que a resistência à tração do concreto deve apresentar um valor correspondente a cerca de 10 a 11% da resistência à compressão. Segundo a autora, a resistência à tração do concreto tem grande importância no controle de fissuração, bem como, com relação ao cisalhamento e ancoragem de armaduras. Por isso, é importante que, além da resistência à compressão, o concreto também apresente uma resistência à tração adequada.

### 3.3 Absorção por capilaridade

No Quadro 6 são apresentados os resultados finais médios de absorção, ao completar



as 72 horas. Já na Figura 9 é representado graficamente o comportamento com relação à absorção ao decorrer dos períodos analisados (3h, 6h, 24h, 48h e 72h).

Absorção por capilaridade média				
Períodos (horas)	T0	T1	T2	T3
3,00	0,13	0,13	0,08	0,11
6,00	0,20	0,21	0,08	0,17
24,00	0,49	0,48	0,28	0,37
48,00	0,72	0,69	0,40	0,54
72,00	0,84	0,79	0,46	0,62

Quadro 6–Absorção por capilaridade para cada traço de concreto analisado

FONTE: Autor.

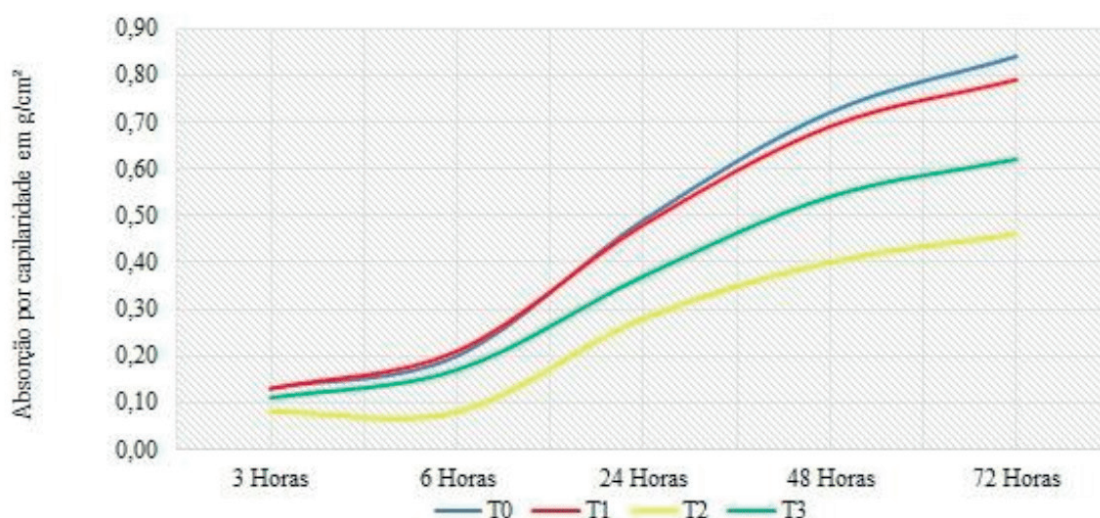


Figura 9–Absorção do concreto ao longo do período analisado

FONTE: Autor.

Como observado no Quadro 6 e na Figura 9 houve uma diferença significativa entre a absorção encontrada nos traços de concreto analisados. Os traços de concreto contendo o Metacaulim apresentaram uma menor absorção quando comparados ao traço de referência, este resultado ocorre devido ao efeito fíler e ao refinamento da estrutura de poros. Ao comparar os resultados do traço T2 com o traço de referência T0, há uma redução de 45,24%.

Também foi possível observar que o traço que apresentou uma melhor relação de quantidade de adição foi o traço T2, que contém 10% da adição, já que ao aumentar a quantidade de Metacaulim, as partículas não reagem em sua totalidade, o que reduz o efeito com relação à absorção para maiores teores de adição, como é constatado através dos resultados de T3.

Os resultados encontrados através do ensaio realizado são justificados nos estudos de Dal Molin (2011) e Silva (2007) onde os autores explicam que os efeitos físicos como

o efeito fíler e o refinamento dos poros auxiliam na redução da porosidade do material e da conexão destes poros, sendo o efeito fíler responsável pelo aumento da densidade da mistura devido ao preenchimento dos vazios pelas partículas das adições, e o refinamento dos poros, pela ação das partículas das adições como pontos de nucleação para os produtos de hidratação resultando em um grande número de pequenos cristais ao invés de poucos cristais de tamanhos maiores.

### 3.4 Penetração de íons cloreto por aspersão de nitrato de prata

A aspersão de nitrato de prata é capaz de apresentar visualmente um resultado, facilmente mensurável, onde é possível conseguir uma indicação da profundidade do avanço da frente de cloretos. Os resultados da análise são apresentados no Quadro 7.

Espessura média da frente de cloretos (mm)	
T0	9,73
T1	7,80
T2	5,56
T3	5,38

Quadro 7—Espessura média da frente de cloretos para cada traço de concreto

FONTE: Autor.

Através do ensaio de penetração de íons cloreto por aspersão de nitrato de prata foi possível observar que houve uma redução no avanço da frente de cloretos em todos os concretos que contém adição, o que evidencia uma melhor performance dos concretos contendo a adição de Metacaulim.

Ao comparar os resultados dos concretos contendo a adição com o traço de referência há uma redução de até 44,71% no avanço da frente de cloretos, o ensaio também demonstrou que não houve uma variação muito grande nos resultados de T2 (10%) e T3 (15%), pois como fora constatado no ensaio de absorção por capilaridade, o aumento da quantidade de adição não resulta diretamente numa redução da permeabilidade do concreto devido a não reação em totalidade das partículas de adição.

Estes resultados são confirmados pelo que é apresentado no estudo de Figueiredo, et al (2014), onde afirma que devido ao efeito densificador que o MTC confere ao concreto, seja quando utilizado como adição ou por substituição, aumenta a resistência do concreto com relação ao avanço dos cloretos pela estrutura porosa do concreto. Além disso, o autor traz também a relação da potencialização de sal de Friedel com a quantidade de MTC, já que a adição de MTC no concreto promove a formação do sal de Friedel quando

na presença de cloretos, a formação destes sais viabiliza a fixação dos cloretos evitando a presença de íons Cl<sup>-</sup> livres na matriz cimentícia.

Assim, a combinação dos dois fatores apresentados acima reduz a propagação de íons Cl<sup>-</sup> livres no concreto, evitando que estes agentes sejam capazes de atingir a armadura presente no concreto e desencadear o processo corrosivo.

#### 4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através das análises realizadas foi constatado que o uso do Metacaulim ocasionou um efeito positivo nas propriedades mecânicas do concreto, aumentando a resistência à compressão em 23,09% para o traço de 15%, e assegurando valores de resistência à tração que chegam a representar 15% da resistência à compressão. Estes efeitos mecânicos conferem uma melhoria considerável no desempenho do material.

Além disso, observou-se que o uso da adição reduziu significativamente a absorção do concreto, o que significa dizer que proporcionou o desenvolvimento de um concreto menos permeável e com uma melhoria em suas propriedades físicas, assegurando ao concreto o aumento de sua durabilidade.

Foi constatado também que a utilização da adição atribuiu ao concreto uma maior eficiência com relação à penetração de íons cloretos, pois além da redução do avanço da frente de cloretos em decorrência da redução da permeabilidade, há também uma redução da quantidade cloretos livres pela reação destes com a alumina reativa do Metacaulim.

Também foi possível analisar a aplicabilidade do método de aspersão de nitrato de prata para identificação da frente de cloretos, o qual se mostrou uma alternativa prática e barata para realização deste tipo de análise.

Portanto, através das informações obtidas, conclui-se que o uso do Metacaulim na dosagem correta apresenta-se como uma grande opção para mitigar a ocorrência da corrosão nas armaduras presentes no concreto. Além de garantir ao concreto um melhor desempenho e uma maior durabilidade o que possibilita o desenvolvimento de estruturas com uma vida útil prolongada.

#### REFERÊNCIAS

CALLISTER, William D.; RETHWISCH, David G. **Ciência e Engenharia de Materiais: uma introdução**. LTC, 2013. Ed. 8.

CASCUDO, Oswaldo; HELENE, Paulo. **Resistência à Corrosão no Concreto dos Tipos de Armaduras Brasileiras para Concreto Armado**. EPUSP, 2001. Disponível em: <[http://www.pcc.usp.br/files/text/publications/BT\\_00272.pdf](http://www.pcc.usp.br/files/text/publications/BT_00272.pdf)>. Acesso em: 18 set. 2017.

CASCUDO, Oswaldo. **Inspeção e diagnóstico de estrutura de concreto com problemas de corrosão da armadura**. In: Ed. Geraldo Isaia. *Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações*. IBRACON, 2005. Vol. 2. p 1071.

DAL MOLIN, Denise Carpena C. **Adições Minerais para Concreto Estrutural**. In: Ed. Geraldo Isaia. **Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações**. IBRACON, 2005. Vol. 1. p 345.

DAL MOLIN, D. C. C. Capítulo 8: Adições minerais. **Concreto: Ciência e Tecnologia**. IBRACON. 2011. Vol.1.

FIGUEIREDO, C. P. et al. **O Papel do Metacaulim na Proteção dos Concretos Contra à Ação Deletéria de Cloretos**. Estruturas e Materiais. IBRACON, N° 4, 2014.

FONSECA, Gustavo Celso da. **Adições Minerais e as Disposições Normativas Relativas à Produção de Concreto No Brasil: Uma Abordagem Epistêmica**. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2010. Disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/handle/1843/ISMS-8ALHAQ>>. Acesso em: 13 set. 2018.

FREIRE, W. Jorge; BERALDO, A. Ludovico. **Tecnologias e Materiais Alternativos de Construção**. Campinas, SP, 2013. Ed. 2.

GENTIL, Vicente. **Corrosão**. LTC, 2011. Ed. 6.

GUIMARÃES, J. P. Zubelli. **Estudo Experimental das Propriedades do Concreto de Alto Desempenho**. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2002. Disponível em: <[https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/3937/3937\\_4.PDF](https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/3937/3937_4.PDF)>. Acesso em: 05 nov. 2018.

LIMA, R. da Silva. **Efeito do Ciclo de Molhagem de Secagem na Resistividade Elétrica Superficial e na Resistência à Compressão do Concreto: Simulação da Agressividade Marinha**. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2017. Disponível em: <[http://www.dcc.ufpr.br/mediawiki/images/6/6c/TCC\\_Raquell.pdf](http://www.dcc.ufpr.br/mediawiki/images/6/6c/TCC_Raquell.pdf)>. Acesso em: 24 ago. 2018.

MARTIN, Juan F. M. **Aditivos para Concreto**. In: Ed. Geraldo Isaia. **Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações**. IBRACON, 2005. Vol 1. p 381.

MEHTA, P. Kumar; MONTEIRO, Paulo J. M. **Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais**. IBRACON, 2008.

PEDROSO, Fábio Luís. **Concreto: as origens e a evolução do material construtivo mais usado pelo homem**. **Concreto & Construções**. IBRACON, N° 53, p. 14, 2009.

SANTOS, Altair. **Ataque por íons de cloreto custa R\$ 800 milhões por ano ao Brasil**. Massa Cinzenta, 2012. Disponível em: <<http://www.cimentoitambe.com.br/ataques-por-ions-de-cloreto-custa-r-800-milhoes-por-ano-ao-brasil/>>. Acesso em: 21 nov. 2017.

SILVA, M. Gomes da. **Cimentos Portland com Adições Minerais**. In: Ed. Geraldo Isaia. **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. IBRACON, 2007. Vol. 1. p. 761.

## ÍNDICE REMISSIVO

### A

Aderência 1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 10, 11, 12, 17, 18, 20, 42, 183, 276

Adições Minerais 38, 39, 49, 51, 55, 67, 81, 82, 90, 94

Aditivo 18, 19, 20, 21, 23, 24, 26, 27, 32, 33, 45, 46, 47, 74, 83, 105, 107, 108, 110, 112, 113, 114, 116, 119, 120, 125, 126, 127

Aditivo Plastificante 114, 116, 119, 120

Areia de Brita 13, 14, 16

Argamassas 3, 4, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 97, 105, 106, 107, 108, 109, 112, 113, 114, 116, 117, 119, 120, 126, 127, 130, 139, 206, 210

Argamassas Estabilizadas 13, 14, 15, 16, 18, 19, 20, 21, 25, 27, 28, 105, 106, 112, 113

Arquitetura 30, 31

### C

Cal Hidratada 1, 5, 10

Chapisco 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12

Cisalhamento Direto 128, 134, 135, 136, 137, 138, 139, 140, 142

Colorido 30, 31, 32, 36, 37

Compósitos Cimentícios 68, 69, 71, 72, 73, 74, 75, 77, 78, 79

Concreto 3, 12, 13, 15, 18, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 72, 81, 82, 83, 84, 85, 87, 88, 89, 90, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 102, 103, 104, 113, 115, 116, 123, 127, 143, 144, 145, 146, 148, 149, 157, 158, 160, 161, 162, 163, 169, 170, 171, 172, 173, 174, 176, 177, 178, 180, 181, 182, 183, 184, 185, 204, 210, 211, 214, 217, 220, 221, 222, 223, 224, 227, 231, 236, 237, 238, 239, 240, 241, 242, 245, 250, 251, 252, 253, 255, 256, 257, 267, 269, 270, 271, 272, 273, 274, 275, 276, 277, 278, 279, 281, 282, 283, 284, 285, 286, 287, 288, 289, 290, 296, 298, 299, 303, 304

Corrosão 38, 40, 42, 49, 50, 51, 53, 54, 66, 67, 303

### D

Detergente Doméstico 114, 116, 119, 125, 127

### E

EPS 128, 129, 130, 131, 134, 135, 136, 137, 138, 139, 140, 141, 142, 277

Escoramento 159, 160, 161, 162, 163, 168, 169

## F

Fibras de Celulose 68, 71, 73, 78

## G

Geossintéticos 128, 140, 141

## I

Interação 55, 75, 76, 139, 143, 220, 250

Íon Cloreto 39, 42

## L

Laje Pré-Moldada 159, 166, 168

## M

Manifestações Patológicas 15, 51, 53, 223, 225, 226, 235, 301, 302, 303, 304

Metacaulim 11, 12, 50, 51, 52, 53, 55, 56, 60, 62, 64, 65, 66, 67

Método dos Elementos Finitos 143, 144

Migração de Íons 39, 43, 45

Módulo de Elasticidade 81, 83, 84, 85, 86, 87, 90, 91, 92, 93, 164, 198, 201, 207, 210, 211, 214, 217, 218, 239, 242, 276, 289

## P

Patologias 39, 97, 222, 223, 234, 252

Permeabilidade 13, 14, 16, 17, 18, 21, 23, 27, 28, 39, 40, 51, 65, 66, 112, 125, 306

Poliestireno Expandido 128, 129, 137, 138, 140, 141

Procedimento 11, 37, 49, 93, 105, 108, 132, 157, 165, 172, 174, 175, 185, 204, 211, 226, 229, 284, 292, 295, 304

Programa Computacional 61, 143

## R

Reforço 11, 50, 68, 69, 70, 71, 72, 74, 129, 232, 233, 236, 251, 252, 253, 255, 256, 257, 259, 261, 262, 263, 264, 265, 266, 267, 269, 272, 285, 288, 289, 304, 305

Rigidez à Torção 143, 144, 146, 148, 154, 155, 157

Rigidez Experimental 159, 167, 168

## S

Sílica 12, 32, 33, 38, 39, 41, 42, 43, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 56, 81, 82, 83, 84, 85, 88, 89, 90, 91, 92, 93

Sílica Ativa 32, 33, 38, 39, 41, 42, 43, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 81, 82, 83, 84, 85, 89, 90, 92, 93  
Solos 128, 129, 130, 133, 134, 135, 136, 137, 142, 305, 306

 **Atena**  
Editora

**2 0 2 0**