



Franciele Braga Machado Tullio
Lucio Mauro Braga Machado
(Organizadores)

A Aplicação do Conhecimento Científico na Engenharia Civil

2

Atena
Editora
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^a Dr^a 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^a Dr^a 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^a Dr^a Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Prof^a Dr^a 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^a Dr^a Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Prof^a Dr^a Andrezza Miguel da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia
Prof. Dr. Antonio Hot Pereira de Faria – Polícia Militar de Minas Gerais
Prof^a Ma. Bianca Camargo Martins – UniCesumar
Prof^a 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^a Dr^a Cláudia Taís Siqueira Cagliari – Centro Universitário Dinâmica das Cataratas
Prof. Me. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará
Prof^a Ma. Daniela da Silva Rodrigues – Universidade de Brasília
Prof^a 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^a 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^a Dr^a 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^a Ma. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia
Prof. Me. Javier Antonio Albornoz – University of Miami and Miami Dade College
Prof^a 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

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)	
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>
Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422	

Atena Editora
 Ponta Grossa – Paraná - Brasil
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

CAPÍTULO 1	1
ADERÊNCIA DO CHAPISCO COM ADIÇÃO DE CAL	
André Miranda dos Santos Ângelo Just da Costa e Silva João Manoel de Freitas Mota	
DOI 10.22533/at.ed.7012009071	
CAPÍTULO 2	13
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	
DOI 10.22533/at.ed.7012009072	
CAPÍTULO 3	30
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	
DOI 10.22533/at.ed.7012009073	
CAPÍTULO 4	38
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	
DOI 10.22533/at.ed.7012009074	
CAPÍTULO 5	51
AVALIAÇÃO DOS EFEITOS DA ADIÇÃO DE METACAULIM NO CONCRETO FRENTE À PENETRAÇÃO DE ÍONS CLORETO	
Jefferson Thales Siqueira Gomes Emerson José da Silva	
DOI 10.22533/at.ed.7012009075	

CAPÍTULO 6	68
COMPÓSITOS CIMENTÍCIOS REFORÇADOS COM FIBRAS DE CELULOSE: UMA REVISÃO	
Marllon Victor Soares Cabral Humberto Mycael Mota Santos	
DOI 10.22533/at.ed.7012009076	
CAPÍTULO 7	81
EFEITO DA SÍLICA ATIVA EM SUSPENSÃO NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DO CONCRETO	
Albert Luiz Follmann Bruno Teles Cordeiro Fernando Pelisser Artur Spat Ruviano	
DOI 10.22533/at.ed.7012009077	
CAPÍTULO 8	95
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 Ildelfonso Farias da Silva Simone Perruci Galvão	
DOI 10.22533/at.ed.7012009078	
CAPÍTULO 9	105
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	
DOI 10.22533/at.ed.7012009079	
CAPÍTULO 10	114
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	
DOI 10.22533/at.ed.70120090710	
CAPÍTULO 11	128
AVALIAÇÃO DO ATRITO DE INTERFACE ENTRE BLOCOS DE EPS E DIFERENTE SOLOS E GEOSSINTÉTICOS ATRAVÉS DO CISALHAMENTO DIRETO	
Arthur Ivo Zuquim	
DOI 10.22533/at.ed.70120090711	

CAPÍTULO 12	143
CONTRIBUIÇÃO DA RIGIDEZ TORSIONAL DE VIGAS NO CÁLCULO DE MOMENTOS FLETORES EM LAJES MACIÇAS DE CONCRETO ARMADO	
Jonas Pereira Falcão	
Francisco dos Santos Rocha	
DOI 10.22533/at.ed.70120090712	
CAPÍTULO 13	159
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	
DOI 10.22533/at.ed.70120090713	
CAPÍTULO 14	170
EFEITOS DA TEMPERATURA NAS DEFORMAÇÕES POR FLUÊNCIA DO CONCRETO	
Edmilson Lira Madureira	
Brenda Vieira Costa Fontes	
Juliana Caroline Neves de Araújo	
DOI 10.22533/at.ed.70120090714	
CAPÍTULO 15	186
ESTABILIDADE ELÁSTICA EM PILARES METÁLICOS SUBMETIDOS À ATUAÇÃO CONJUNTA DO CARREGAMENTO VERTICAL E DO VENTO	
Wesley Imperiano Gomes de Melo	
Normando Perazzo Barbosa	
DOI 10.22533/at.ed.70120090715	
CAPÍTULO 16	205
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	
DOI 10.22533/at.ed.70120090716	
CAPÍTULO 17	222
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	
DOI 10.22533/at.ed.70120090717	
CAPÍTULO 18	237
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	
DOI 10.22533/at.ed.70120090718	

CAPÍTULO 19	251
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	
DOI 10.22533/at.ed.70120090719	
CAPÍTULO 20	270
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	
DOI 10.22533/at.ed.70120090720	
CAPÍTULO 21	285
ESTUDO DA DOSAGEM DE CONCRETO AUTOADENSÁVEL REFORÇADO COM FIBRAS ADOTANDO O MÉTODO DO EMPACOTAMENTO COMPRESSÍVEL (MEC)	
Matheus Galvão Cardoso	
Rodrigo de Melo Lameiras	
DOI 10.22533/at.ed.70120090721	
CAPÍTULO 22	301
IDENTIFICAÇÃO DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM FACHADAS DE EDIFICAÇÕES HISTÓRICAS	
Tauhana Eineck	
Diogo Rodrigues	
Patrícia Dalla Lana Michel	
DOI 10.22533/at.ed.70120090722	
CAPÍTULO 23	305
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	
DOI 10.22533/at.ed.70120090723	
SOBRE OS ORGANIZADORES	307
ÍNDICE REMISSIVO	308

EFEITO DA SÍLICA ATIVA EM SUSPENSÃO NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DO CONCRETO

Data de aceite: 01/06/2020

Data de submissão: 02/04/2020

Albert Luiz Follmann

Universidade Federal de Santa Catarina
Florianópolis – Santa Catarina
<http://lattes.cnpq.br/0752627921306408>

Bruno Teles Cordeiro

Universidade Federal de Santa Catarina
Florianópolis – Santa Catarina
<http://lattes.cnpq.br/1185059209558420>

Fernando Pelisser

Universidade Federal de Santa Catarina
Florianópolis – Santa Catarina
<http://lattes.cnpq.br/4691118217681609>

Artur Spat Ruviano

Universidade Federal de Santa Catarina
Florianópolis – Santa Catarina
<http://lattes.cnpq.br/0673769826263975>

RESUMO: O concreto é um material amplamente utilizado, e essencialmente produzido por uma mistura de cimento Portland, agregados e água. Buscando melhorar suas propriedades, tanto no estado fresco quanto no estado endurecido, comumente são utilizadas adições minerais finamente moídas com elevado teor de sílica em sua composição. Dentre os materiais utilizados,

a sílica ativa é responsável por diminuir o volume de vazios, reduzir a exsudação, aumentar a coesão, reduzir a segregação, a porosidade na zona de transição entre a pasta e os agregados e elevar a durabilidade do concreto. Devido a sua elevada finura, a sílica ativa em pó pode apresentar problemas de manuseio, além de aumentar o consumo de água da mistura. Para atenuar os efeitos adversos e melhorar suas propriedades, a sílica ativa pode ser produzida em suspensão, também denominada sílica coloidal dispersa em água. Para avaliar o efeito da sílica ativa em suspensão no concreto, foram definidas 3 composições de concreto, e utilizadas as concentrações de 0% (referência) e de 5% de sílica ativa em suspensão. Foram determinadas as propriedades de resistência à compressão e módulo de elasticidade. Os resultados mostraram um aumento nas propriedades mecânicas de até 40%, e mostram o potencial da sílica ativa em suspensão para melhorar a eficiência dos concretos.

PALAVRAS CHAVE: sílica em suspensão, concreto de alto desempenho, módulo de elasticidade, módulo de elasticidade dinâmico.

THE EFFECT OF THE ADDITION OF COLLOIDAL SILICA FUME ON CONCRETE

MECHANICAL PROPERTIES

ABSTRACT: Concrete is a widely used material, and essentially produced by a mixture of Portland cement, aggregates and water. To improve its properties, in both the fresh and hardened states, the use of finely ground mineral additives with high silica content in its composition is common. Among the materials used, silica fume is responsible for reducing the volume of voids, reducing exudation, increasing cohesion, reducing segregation, reducing the porosity in the transition zone between paste and aggregates, and increasing concrete durability. Due to its high fineness, silica fume powder may present a handling problem, besides increasing the water consumption of the mixture. To attenuate adverse effects and improve their properties, the silica can be produced in suspension, also called colloidal silica dispersed in water. To evaluate the effect of silica in suspension on concrete, three concrete compositions were defined, and concentrations of 0% (reference) and 5% silica in suspension were used. The results showed an increase in mechanical properties of up to 40%, and indicate the potential of suspended silica to improve the efficiency of concretes.

KEYWORDS: Silica in suspension, high performance concrete, modulus of elasticity, dynamic modulus.

1 | INTRODUÇÃO

Segundo Mehta e Monteiro (1994) adições minerais são materiais silicosos finamente moídos, adicionados ao concreto em quantidades grandes, que atuam na melhoria das propriedades mecânicas. Os aditivos minerais podem ser classificados como pozolânicos, como a cinza volante com baixo teor de cálcio e a sílica ativa, podem ser cimentantes, como a escória de alto-forno, ou ainda serem tanto cimentantes quanto pozolânicos, como a cinza volante com alto teor de cálcio. Assim, muitos subprodutos industriais, antes descartados, têm se tornado fonte de adições minerais para o concreto ao redor do mundo.

As pozolanas são materiais que possuem origem em rochas vulcânicas e são compostas por materiais argilosos, siltes e areias. Para uso em concreto, são considerados como materiais pozolânicos naturais ou artificiais todos aqueles com características cimentícias, compostos por sílica em forma ativa. De acordo com Mehta e Monteiro (1994) uma pozolana é definida como um material silicoso ou sílico-aluminoso que em si mesmo possui pouca ou nenhuma propriedade cimentante mas, numa forma finamente dividida e na presença de umidade, reage quimicamente com hidróxido de cálcio a temperaturas ambientes para formar compostos com propriedades cimentantes. A reação entre a sílica ativa, estudada neste trabalho, e o cimento, consiste em uma reação lenta, onde a sílica consome o hidróxido de cálcio produzido nas reações de hidratação do cimento e produz mais silicato de cálcio hidratado (C-S-H), gerando uma matriz de alta resistência. O

material produzido pela reação da sílica ativa com o hidróxido de cálcio é responsável por preencher consideravelmente os espaços vazios na matriz de cimento, agindo como filler e diminuindo a porosidade do concreto. Essas propriedades da sílica melhoram o empacotamento do concreto, agindo especialmente na zona de transição onde o efeito parede (fenômeno na interface pasta-agregado, onde este dificulta a hidratação do cimento) é minimizado.

De acordo com Neville (1997) as pequenas partículas de sílica ativa aceleram a reação com o hidróxido de cálcio produzido nas reações de hidratação do cimento, bem como, preenchem os espaços vazios entre os compostos do cimento hidratado, diminuindo a porosidade e deixando a massa de concreto mais compacta e resistente, além de elevar a durabilidade do concreto. Segundo Silva, Battagin e Gomes (2017) a sílica ativa é uma pozolana de referência para a produção de concretos em meios agressivos. Isso por que a diminuição da porosidade em concretos com sílica, aumenta sua capacidade resistente a agentes externos que afetam a sua durabilidade. De acordo com Mehta e Monteiro (2008), a ação pozolânica, em especial da sílica ativa, age causando o refinamento dos poros do concreto, tornando-o mais impermeável a entrada de líquidos e gases o que gera aumento de sua durabilidade.

A sílica ativa pode ser produzida a partir de ligas de ferro-silício ou silício metálico em fornos elétricos. Sua formação ocorre quando o monóxido de silício (SiO) em forma de gás se oxida formando dióxido de silício (SiO_2). São formadas partículas esféricas, da ordem de $0,2 \mu\text{m}$ e menores que as partículas de cimento, que podem chegar a $30 \mu\text{m}$.

Considerando o exposto, esta pesquisa tem por objetivo analisar a influência da adição de sílica ativa em suspensão nas propriedades mecânicas, tal como resistência a compressão e módulo de elasticidade, de concretos com diferentes classes de resistência, com objetivo de contribuir para o desenvolvimento de materiais mais eficientes e duráveis.

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Materiais empregados, dosagem e moldagem

O concreto deste estudo utilizou o cimento CP-V-ARI-RS, aditivo superplastificante a base de policarboxilato (2%), areia de origem fluvial classificada como fina, areia industrial oriunda da britagem de rochas graníticas classificada como média e pedra britada granítica classificada como zona granulométrica 9,5/25 (ABNT NBR 7211, 2005), equivalente a brita 1. Além disso, os agregados foram caracterizados em laboratório, seguindo os procedimentos e classificações descritos nas seguintes normas:

- NBR NM 248 – Agregados - Determinação da composição granulométrica
- NBR 7211 – Agregados para Concreto – Especificação

Os resultados da caracterização dos agregados são apresentados na Tabela 1.

Material	Dim. Máxima característica (mm)	Dim. mínima característica (mm)	Classificação NBR 7211	Módulo de Finura
Areia média	4,8	< 0,15	Zona ótima	2,60
Areia fina	0,6	0,15	Não classificado	1,11
Pedra britada	19	6,3	9,5/25	6,85

Tabela 1 – Resultado da Caracterização dos Agregados

Fonte: Elaboração própria

O método de dosagem do concreto adotado foi o método do IPT-EPUSP. Foram definidos três traços unitários (1:3,5, 1:4,5, 1:6) e estabelecido o teor de argamassa, que resultou em 57%. Ademais, foram variados os fatores água/cimento para obtenção do abatimento de 100 ± 20 mm. As misturas tiveram fracionamento do agregado miúdo em 80% de areia média e 20% de areia fina, visando melhorar a compactidade e fluidez do concreto. As diferentes composições foram misturadas em misturador vertical.

A partir do método de dosagem e das relações existentes entre traço unitário, relação água/cimento, resistência à compressão e consumo de cimento, foram confeccionados concretos com traços unitários para as relações água/cimento de 0,35, 0,45 e 0,60, apresentados na Tabela 2, com o objetivo de atingir diferentes faixas de resistência e módulo de elasticidade.

Composição	Traço Unitário	Traço Final	Relação a/c	Consumo de cimento (kg/m ³)
I	1:3,5	1:1,56:1,94	0,35	487
II	1:4,5	1:2,14:2,36	0,45	400
III	1:6,0	1:3,00:3,00	0,60	314

Tabela 2 – Composições empregadas na pesquisa.

Fonte: Elaboração própria (2019)

Para cada composição, foram moldados 6 corpos de prova, com dimensões 100 x 200 mm, para medida das propriedades mecânicas aos 7 e 28 dias. Foram realizadas leituras do módulo de elasticidade dinâmico, aos 7 dias, segundo a ASTM E 1876 e módulo estático, aos 28 dias, segundo a NBR 8522:2017. Os corpos de prova foram desmoldados 24h após sua moldagem, e mantidos em câmara úmida até a data dos ensaios, conforme orientações da NBR 5738:2016.

A sílica ativa empregada na pesquisa foi fornecida pela empresa Tecnosil e constituiu-se diluída em água, em solução quimicamente estável, na proporção de 50% de água e

50% de sílica reativa. Deste modo, houve a necessidade de descontar a água presente na sílica da água da mistura do concreto. A quantidade utilizada fora de 5% sobre a massa de cimento, devido a limitação na quantidade de material, o que corresponde, à uma adição de 2,5% de sílica ativa.



Figura 1 – Sílica ativa em suspensão

Fonte: Dos autores (2019)

As propriedades da sílica ativa em suspensão foram fornecidas pelo fabricante e estão apresentadas na Tabela 3.

Nome químico comum ou técnico	Concentração (%)
Sílica amorfa	48-52
Água	48-52

Tabela 3 – Composição da sílica ativa em suspensão.

Fonte: Elaboração própria (2019)

2.2 Determinação do módulo de elasticidade dinâmico

Segundo Neville (1981), o módulo de elasticidade dinâmico refere-se quase que puramente à efeitos elásticos, não sendo afetado pela deformação do material, visto que, durante a vibração, o corpo sofre apenas uma pequena tensão. Além disso, segundo Mehta e Monteiro (1994) o módulo de elasticidade dinâmico pode ser considerado equivalente ao módulo estático tangente inicial. Entretanto, as normas técnicas brasileiras não definem um método específico de ensaio para caracterização do módulo de elasticidade dinâmico no concreto, por isso, os valores apresentados foram obtidos através do método de caracterização previsto na instrução normativa ASTM E1876 - Método padrão para a determinação do módulo dinâmico de Young, módulo de rigidez, e coeficiente de Poisson por excitação impulsionada por vibração.

2.2.1 O método da ASTM E 1876

A instrução normativa norte-americana prevê a medição das propriedades englobadas em seu escopo utilizando transdutores por contato direto ou indireto, especificando as formas de ensaio para cada um dos tipos de medição. O método utilizado na presente pesquisa é o indireto, por vibração flexional, realizado com o auxílio de um equipamento Sonelastic®, da marca ATCP Engenharia, disponível no Laboratório de Nanotecnologia – Nanotec, da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). O equipamento realiza um ensaio não destrutivo, utilizando um pulsador manual, um microfone unidirecional para captação das ondas emitidas, um suporte para colocação dos corpos de prova e um computador para aquisição dos dados e cálculos das propriedades dos materiais ensaiados. Segundo a ATCP Engenharia Física (2014), o equipamento responsável pela aquisição dos dados recebe um sinal, que sofre uma conversão pela Transformada Rápida de Fourier (FFT), obtendo os picos das frequências naturais de vibração e calculando as propriedades dos materiais.

Assim, deve-se realizar as medições posicionando o microfone captador do equipamento ligeiramente próximo à superfície do material, sem tocá-lo. O material ensaiado deve estar com os suportes de sua base distantes de $0,224L$ de ambas as extremidades, conforme Figura 2. Então, promove-se um impacto suave na superfície oposta àquela em que o microfone foi posicionado, fazendo com que a onda se propague pelo material e seja captada pelo microfone. Por fim, devem ser realizadas, no mínimo, cinco medições por corpo de prova, de modo que os valores das leituras não estejam discrepantes em mais de 1%, e assim, usa-se a média dos valores como resultado final.

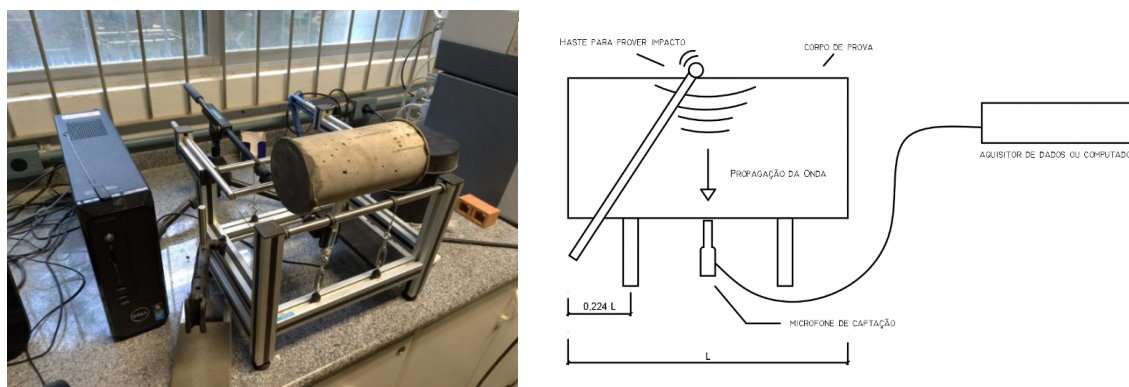


Figura 2 – Aparelho utilizado na determinação do módulo de elasticidade dinâmico

Fonte: Dos autores (2019)

2.3 Determinação do módulo de elasticidade estático

O módulo de elasticidade estático é normatizado pela NBR 8522 – Determinação dos módulos estáticos de elasticidade e de deformação à compressão, e determinado através do módulo de deformação tangente inicial, que equivale aproximadamente ao módulo

secante entre uma tensão inicial de 0,5 MPa e 30% da tensão de ruptura do concreto em estudo. Assim, conhecida a tensão de ruptura, pode-se realizar o ensaio estimando o valor de 30% desta, e escolhendo um dos métodos de ensaio propostos em norma para determinar o valor do módulo de elasticidade estático. A norma prevê dois métodos de ensaio para caracterização desta propriedade: com tensão fixada ou com deformação específica fixada. Deste modo, optou-se pelo método de carregamento que envolve a fixação da tensão, descrito na norma brasileira como metodologia A.

Os corpos de prova foram devidamente centralizados entre os pratos da prensa e para leitura do módulo de elasticidade estático utilizou-se um aparato com anéis metálicos e bases independentes, acoplados à dois transdutores para medições de deslocamento linear (LVDT), apresentado na Figura 3. Assim, foram medidas as tensões e suas deformações associadas com a posterior determinação da resistência a compressão do corpo de prova, levando este a ruptura. Deste modo, tornou-se possível traçar o diagrama de tensão x deformação, bem como, obter os valores dos módulos de elasticidade estático.

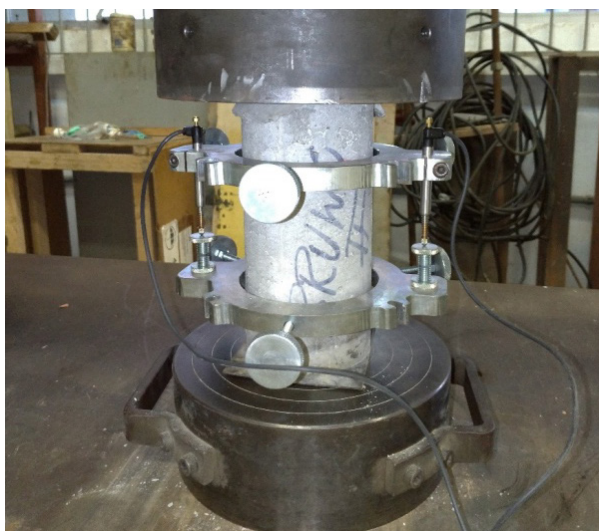


Figura 3 – Aparato com anéis metálicos e dois LVDT's - ligados ao sistema de aquisição de dados - para medição da deformação do corpo de prova de concreto.

Fonte: Dos autores (2019)

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Propriedades Mecânicas

Os resultados obtidos experimentalmente são apresentados na Tabela 4 e no Gráfico 1. O módulo de elasticidade estimado, apresentado na Tabela 4, foi determinado através das equações (1) e (2) estipuladas pela NBR 6118:2014.

$$E_{ci} = \alpha_E \cdot 5600 \sqrt{f_{ck}} \quad (\text{Equação 1})$$

$$E_{ci} = 21,5 \cdot 10^3 \cdot \alpha_E \cdot \left(\frac{f_{ck}}{10} + 1,25 \right)^{\frac{1}{3}} \quad (\text{Equação 2})$$

Onde α_E é o coeficiente de ajuste associado ao agregado graúdo utilizado na produção do concreto. Como o agregado utilizado é de rocha granítica, α_E assume valor igual a um. A equação 1 foi aplicada para concretos de até 50 MPa, e para os concretos acima de 55 MPa a equação 2 foi utilizada.

Composição	Traço	a/c	f_c 7 dias (MPa)	f_c 28 dias (MPa)	E_{din} 28 dias (GPa)	$E_{estático}$ 28 dias (GPa)	$E_{estimado}$ (GPa)
I	Ref.	0,35	52,8	55,7	45,3	37,6	41,8
	Sílica		40,3	71,8	46,7	38,6	43,8
II	Ref.	0,45	27,1	37,7	42,5	27,1	34,4
	Sílica		37,1	55,6	45,1	35,4	40,8
III	Ref.	0,60	17,9	22,5	36,3	22,5	26,5
	Sílica		23	33,7	40,6	28,5	32,5

Tabela 4 – Determinação das propriedades mecânicas dos concretos.

Fonte: Elaboração própria (2019)

3.1.1 Consistência e coesão do concreto produzido

Em todas as composições, foram realizados ensaios de espalhamento do concreto, *Slump Flow*, obtendo-se uma média de 60 cm para os traços de referência e 65 cm para os traços com utilização da sílica. Para os traços sem sílica foi visualizado uma maior segregação entre os agregados e a argamassa, além de uma maior exsudação após a moldagem. Para o traço com sílica, o concreto produzido apresentou melhor coesão entre os agregados e a argamassa, sem segregação, e com exsudação pouco perceptível. Como a sílica utilizada no concreto estava em estado coloidal, acredita-se que esta seja responsável por melhorar a fluidez, sem perda da coesão.

3.1.2 Resistência à Compressão

Pode-se verificar que a resistência à compressão sofreu influência significativa com variação da relação água/cimento (a/c), sendo que, com o aumento do teor de água, houve redução da resistência mecânica. Este comportamento é previsto pela Lei de Abrams, que relaciona o aumento de resistência do concreto com redução da relação água/cimento.

A evolução da resistência, dos 7 aos 28 dias, para as composições II e III de referência estiveram dentro do esperado, com aumentos de aproximadamente 20%. A

composição de referência I, entretanto, teve crescimento de apenas 6% dos 7 aos 28 dias. Este comportamento pode ser explicado pelo emprego do cimento de alta resistência inicial, que consome maiores quantidades de água e hidrata-se com maior velocidade nas primeiras idades, reduzindo o acréscimo de resistência ao longo do tempo.

As composições com a adição de sílica em suspensão apresentaram um ganho significativo de resistência mecânica entre os 7 e os 28 dias, com aumento de 78% para o traço I, atingindo a resistência à compressão média de 71,8 MPa, 50% para o traço II e 47% para o traço III. Foi associado ao ganho expressivo de resistência, dos 7 aos 28 dias, para o traço I com sílica, a ocorrência de erros na moldagem dos corpos de prova, utilizados para o ensaio de compressão axial aos 7 dias. Isso se verifica pela menor resistência média dos corpos de prova com sílica em relação aos sem a adição, que atingiram 52,8 MPa.

Ao comparar o concreto de referência com o concreto com adição de sílica ativa, observou-se maiores variações para os traços com maior relação de água/cimento. Dito isso, foi obtido um aumento de resistência aos 28 dias de 29% para o traço I, 47% para o traço II e 50% para o traço III. Esse aumento mais elevado para os traços I e II pode ser associado a porosidade do concreto. De acordo com Tutikian, Isaia e Helene (2011) a sílica ativa é responsável por melhorar as propriedades reológicas da pasta, como a coesão, fluidez, viscosidade, evitar a segregação e diminuir consideravelmente a porosidade do concreto. Esses efeitos são melhor visualizados em concretos com relação de água/cimento mais elevado, onde a porosidade é maior. Em concreto de alto desempenho com relação de água/cimento menor que 0,40, nem todo o cimento anidro consegue hidratar com a quantidade de água da mistura. Portanto, o cimento não hidratado se mantém como material ocupante dos espaços vazios na matriz, diminuindo a porosidade do concreto, o que acaba atenuando o acréscimo de resistência causado pela sílica.

Em trabalho realizado por Tsardaka e Stefanidou (2019), a sílica ativa em suspensão foi adicionada a pastas de cimento com o objetivo de analisar possíveis ganhos em suas propriedades mecânicas. Neste trabalho, a relação água/cimento foi mantida constante, e o teor de sílica ativa em suspensão variou entre 1,5 e 3%. Os resultados apresentados por Tsardaka e Stefanidou (2019) quando houve adição de sílica ativa em suspensão, mostraram ganhos de até 50% de resistência mecânica aos 7 dias. Aos 28 dias, o ganho médio foi de 30%.

Por outro lado, o trabalho de Lavergne, Belhadi, Carriat e Fraj (2019) avaliou o aumento de resistência mecânica em pastas de cimento com adição de nanossílica em suspensão, material semelhante, porém mais fino do que a sílica ativa. Os resultados obtidos evidenciam pouca diferença aos 28 dias entre as misturas com adição de nanossílica e a de referência. Aos 90 dias, entretanto, o comportamento diferencia-se para apenas uma mistura, havendo um ganho de resistência de mais de 50% contra apenas 5% nas demais composições. Isso evidencia diferentes comportamentos para o

ganho de resistência em misturas contendo sílica ativa e a nanossílica em suspensão.

3.1.3 Módulo de elasticidade

O módulo de elasticidade é uma das propriedades mais importantes do concreto estrutural, influencia a segurança, a durabilidade, a velocidade de construção e o custo das estruturas de concreto. A capacidade de deformação do concreto é influenciada por inúmeros fatores relacionados as propriedades da matriz cimentícia, dos agregados e da zona de transição interfacial. Pode-se citar, como exemplo, o grau de empacotamento e hidratação do C-S-H, o efeito das adições minerais, a porosidade da matriz cimentícias, e, as características mineralógicas, de porosidade, geometria, rugosidade e fração volumétrica dos agregados.

Os resultados obtidos na determinação do módulo de elasticidade estático, decrescem proporcionalmente à resistência mecânica das misturas, conforme esperado, tanto para a composição de referência, quanto para o concreto com adição de sílica ativa em suspensão. Além disso, sabe-se que a resistência mecânica do concreto é regida pela porosidade da matriz e fragilidade da zona de transição. Isso pode demonstrar que as características da zona de transição e a porosidade da matriz apresentam grande influência também nos valores do módulo de elasticidade, visto que, as misturas mantiveram suas variações de módulos de elasticidade coerentes com as alterações da resistência à compressão, mesmo tendo diferentes fracionamentos volumétricos de agregado.

Quando a comparação é feita entre os módulos de elasticidade estáticos das composições de referência e das composições com adição de sílica ativa em suspensão, percebe-se que, em misturas de resistência elevada a variação no módulo é inferior do que em misturas de menor resistência. Essa diferença existente pode ser explicada através da porosidade da matriz e do efeito fíler ocasionado pela adição de sílica ativa. Como se sabe, concretos com maior adição de água apresentam maior porosidade na matriz cimentícia, bem como, zonas de transição mais frágeis. Portanto, as composições II e III, que possuem relação água/cimento de 0,45 e 0,60, respectivamente, ao receberem adição de sílica ativa, beneficiaram-se preponderantemente de melhorias em sua porosidade, ocasionadas pelo efeito de preenchimento da sílica ativa, e conseqüentemente, aumento da resistência, menor capacidade de deformação e maior módulo de elasticidade, do que as composições que não tiveram adição da sílica.

Para o módulo de elasticidade dinâmico, a mesma variação supracitada é observada, tendo as composições II e III sofrido maiores acréscimos com a adição da sílica ativa em suspensão. No Gráfico 1, pode-se observar o ganho de resistência à compressão e do módulo de elasticidade, com adição da sílica ativa em suspensão, para as três composições avaliadas.

Os diagramas tensão-deformação das composições de concreto de referência e com

sílica em suspensão, estão apresentados no Gráfico 2 e Gráfico 3, respectivamente.

Complementarmente, foi verificado que a relação entre o módulo de elasticidade dinâmico, foi em média, 1,20 vezes o módulo de elasticidade estático, conforme já verificado em várias pesquisas.

A estimativa do módulo de elasticidade, através da fórmula empírica proposta pela NBR 6118 (2014), mostram valores um pouco inferiores aos resultados medidos experimentalmente. Este comportamento, reforça a importância de uma determinação experimental, em projetos de estruturas que dependem de uma maior precisão desta propriedade, para garantir a segurança e a durabilidade do sistema estrutural.

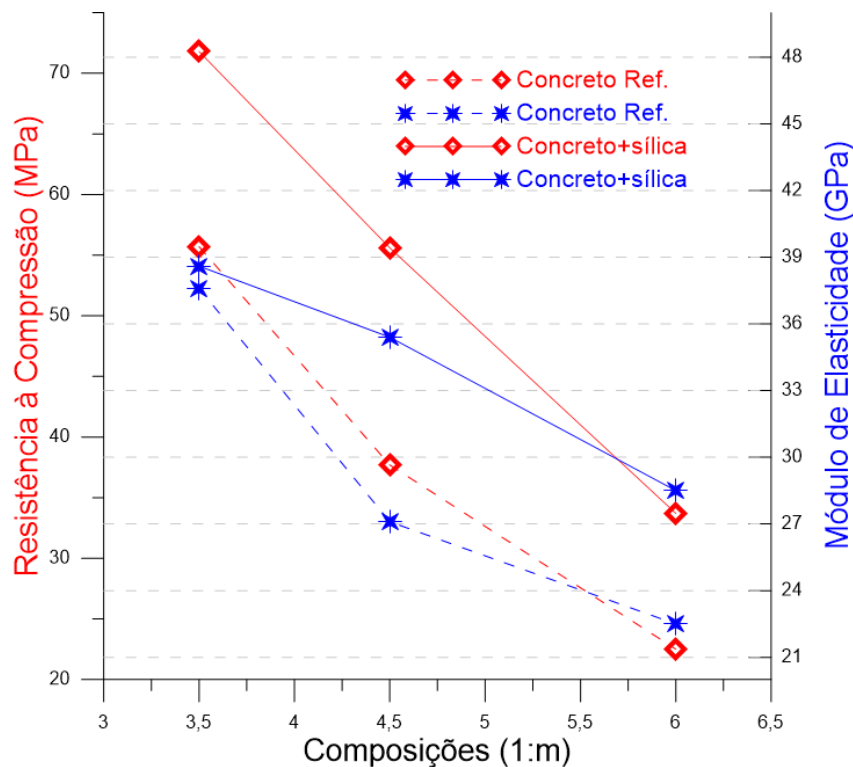


Gráfico 1 – Relações entre Resistência à Compressão, relação a/c e Módulo de Elasticidade Estático.

Fonte: Elaboração própria (2019)

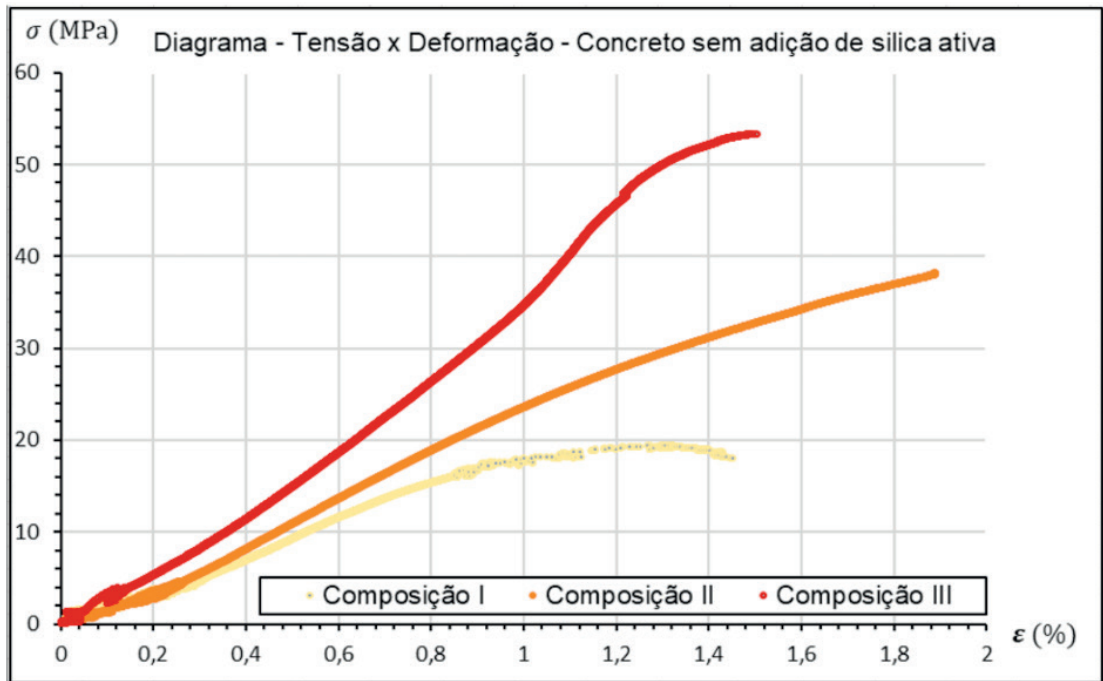


Gráfico 2 – Tensão x Deformação sem adição de sílica ativa.

Fonte: Elaboração própria (2019)

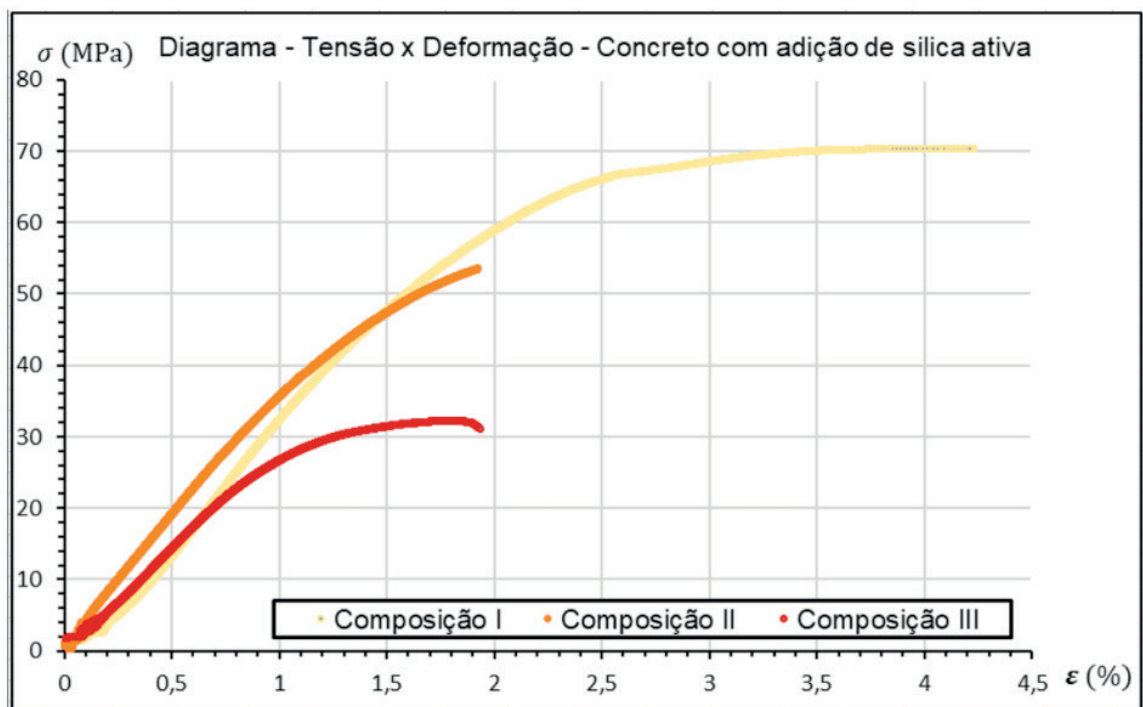


Gráfico 3 – Tensão x Deformação com adição de sílica ativa

Fonte: Elaboração Própria (2019)

4 | CONCLUSÃO

Ao analisar os resultados obtidos para as composições com sílica reativa em suspensão, foi verificado um aumento médio de resistência à compressão de 40%, em relação aos traços de referência, e, um aumento médio de 20% no módulo de elasticidade

estático. Os resultados expressam as vantagens de se utilizar sílica ativa como adição no concreto, especialmente em composições de elevada resistência, onde a baixa porosidade e os produtos da reação entre a sílica e os compostos do cimento, contribuem para a resistência da matriz, e, especialmente, da zona de transição. Também foi observado, que a sílica em suspensão, alterou as propriedades do concreto em seu estado fresco, melhorando a sua trabalhabilidade.

Considerando a relação entre os módulos de elasticidade estático e dinâmico, foram verificadas variações aproximadas, entre 20% a 30% inferiores para o módulo de elasticidade estático. Esta diferença é frequentemente relacionada com a metodologia de determinação.

Pode-se inferir, considerando as características da sílica em suspensão e as propriedades modificadas no concreto, um aumento da durabilidade prevista ao concreto estrutural. Considerando os resultados obtidos, e a reduzida existência de estudos avaliando este tipo de adição – principalmente se comparado à sílica ativa particulada –, pretende-se mensurar a concentração mais eficiente, além de ensaios de caracterização complementares.

REFERÊNCIAS

AMERICAN ASSOCIATION FOR TESTING MATERIAL. **ASTM E 1876: Standard Test Method for Dynamic Young's Modulus, Shear Modulus, and Poisson's Ratio by Impulse Excitation of Vibration**. ASTM International, West Conshohocken, PA, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738:2016 Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova**. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118:2014 – Estruturas de Concreto Armado - Procedimentos**. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211:2005 – Agregados para concreto – Especificação**. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8522:2017 – Concreto – Determinação dos Módulos Estáticos de Elasticidade e de Deformação à Compressão**. Rio de Janeiro.

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

ATCP Engenharia Física. **Sonelastic**. Disponível em <<https://www.sonelastic.com/pt/productos/sistemas/sonelastic-medio-porte.html>>. Acesso em 15 de Janeiro de 2019.

LAVERGNE, F.; BELHADI, R.; CARRIAT, J.; FRAJ, A.B.; **Efect of nano-silica particles on the hydration, the rheology and the strength development of a blended cement paste**. Cement and Concrete Composites v.95, Janeiro de 2019, p. 42-55.

MEHTA, P.K.; MONTEIRO, P.J.M. **Concreto: Estrutura, Propriedades e Materiais**. São Paulo: Pini, 1994.

MEHTA, P.K.; MONTEIRO, P.J.M. **Concreto: Microestrutura, propriedades e**

materiais.1.ed. Editora IBRACON, 2008.

NEVILLE, A.M. **Properties of Concrete**. 3 ed. Pitman Pub, 1981.

NEVILLE, A.M. **Propriedades do Concreto**. 2.ed. São Paulo: Pini, 1997.

SILVA, M.G.; BATTAGIN, A.F.; GOMES, V.; **Cimentos Portland com Adições Minerais**. In: Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia dos Materiais. 3ª ed. São Paulo. Editora IBRACON, 2017.

TSARDAKA, E.; STEFANIDOU, M. **Application of an alternative way for silica fume dispersion in cement pastes without ultrasonication**. Cement and Concrete Research v. 115, Janeiro de 2019, p. 59-69.

TUTIKIAN, B. F.; ISAIA, G.C.; HELENE, P. **Concreto de Alto e Ultra-alto Desempenho** . In: ISAIA, G.C. Concreto: Ciência e Tecnologia. 1 ed. São Paulo: Editora IBRACON, 2011.

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