



Franciele Braga Machado Tullio
Lucio Mauro Braga Machado
(Organizadores)

A Aplicação do Conhecimento Científico na Engenharia Civil

3

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 3 [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 978-65-5706-169-5 DOI 10.22533/at.ed.695200907</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

Em “A Aplicação do Conhecimento Científico na Engenharia Civil 3” trazemos vinte e um capítulos que trazem estudos com boas contribuições para a Engenharia Civil.

Temos vários estudos a respeito da utilização da simulação numérica e computacional na resolução de problemas no projeto e execução de estruturas.

O estudo sobre o comportamento de estruturas utilizando determinados materiais proporciona sua validação como alternativa construtiva. Trazemos também análises a respeito de estruturas submetidas a calor intenso, o que permite otimizar os projetos, considerando situações de incêndio.

Tendo em vista a crescente preocupação com o meio ambiente e a escassez de recursos naturais, torna-se imprescindível os estudos que visem soluções ligadas a otimização na utilização de materiais e desenvolvimento de materiais sustentáveis.

A análise de ferramentas computacionais para o desenvolvimento de projetos de engenharia permite realizar comparativos com a finalidade de subsidiar o projetista a optar por ferramentas mais adequadas e seguras, proporcionando uma melhor qualidade em projetos.

Esperamos que esta coletânea seja útil aos seus estudos. Boa leitura!

Franciele Braga Machado Tullio
Lucio Mauro Braga Machado

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
ANÁLISE DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DO CONCRETO COM SUBSTITUIÇÃO DO AGREGADO MIÚDO POR RESÍDUO DA SCHEELITA PARA PAVIMENTOS RÍGIDOS	
Manoel Domiciano Dantas Filho Dandara Pereira Moura de Assis Hérculys Guimarães Carvalho Larissa Santana Batista Damião Araújo dos Santos Júnior Jéniffer Paloma da Cruz Leal Nayla Kelly Antunes de Oliveira Adriano Lopes Gualberto Filho Wily Santos Machado Carlos Alexandre da Silva Vieira	
DOI 10.22533/at.ed.6952009071	
CAPÍTULO 2	15
ANÁLISE COMPARATIVA DA ESTABILIDADE GLOBAL DE EDIFICAÇÕES DE CONCRETO ARMADO	
Maurel Dreyer Roberto Domingos Rios	
DOI 10.22533/at.ed.6952009072	
CAPÍTULO 3	32
ANÁLISE DA ESTABILIDADE GLOBAL EM EDIFÍCIOS ALTOS DE CONCRETO ARMADO COM ESTRUTURAS DE LAJES PLANAS	
Camila de Melo Tavares André Felipe de Oliveira Lopes Hildo Augusto Santiago Filho Giuliana Furtado Franca Bono Gustavo Bono	
DOI 10.22533/at.ed.6952009073	
CAPÍTULO 4	48
ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA SÍLICA ATIVA NO DESEMPENHO DO CONCRETO EM SIMULAÇÃO DA AGRESSIVIDADE MARINHA	
André Luiz Louzeiro Carvalho Luciano Carneiro Reis Leandro Almeida Santos Mauricio Cavalcante Cutrim Fonseca Wesley da Cruz Gomes	
DOI 10.22533/at.ed.6952009074	
CAPÍTULO 5	60
ANÁLISE DE MODELOS DE CÁLCULO DE VIGAS DE CONCRETO ARMADO REFORÇADAS AO CISCALHAMENTO COM PRFC	
Daniel Marlon Rodrigues Guedes Ailín Fernández Pérez Paulo Fernando Matos de Santana Luiz Gustavo Dantas Gonçalves Guilherme Sales Soares de Azevedo Melo Marcos Honorato de Oliveira	
DOI 10.22533/at.ed.6952009075	

CAPÍTULO 6	77
ANÁLISE DINÂMICA NA FLAMBAGEM DE UMA COLUNA ESBELTA DE CONCRETO ARMADO COM CRITÉRIOS DA NBR 6118/14	
Alexandre de Macêdo Wahrhaftig Kaique Moreira Matos Magalhães	
DOI 10.22533/at.ed.6952009076	
CAPÍTULO 7	90
ANÁLISE DO COMPORTAMENTO À FLEXÃO DE COMPÓSITOS CIMENTÍCIOS REFORÇADOS COM TECIDOS ESTRUTURAIS DE FIBRAS DE SISAL	
Sande dos Santos Batista Mariana Santos Nunes Adilson Brito de Arruda Filho Paulo Roberto Lopes Lima Ricardo Fernandes Carvalho José Humberto Teixeira dos Santos Sandro Fábio César	
DOI 10.22533/at.ed.6952009077	
CAPÍTULO 8	99
ANÁLISE ESTRUTURAL E CONSTRUTIVA DA PONTE ESTAIADA DA RODOVIA DO PARQUE – (BR-448)	
Rafael Cariolato Dorneles Paula Manica Lazzari	
DOI 10.22533/at.ed.6952009078	
CAPÍTULO 9	113
ANÁLISE LINEAR E NÃO LINEAR DE UM EDIFÍCIO DE VINTE PAVIMENTOS EM CONCRETO ARMADO	
Fernanda Fonseca Lima Gabriel Rodrigues Gomes Denilda Silva Costa Leonardo Moreira Santana Jaciera Santos Brandão Marcelo Rassy Teixeira	
DOI 10.22533/at.ed.6952009079	
CAPÍTULO 10	125
ANÁLISE LINEAR ELÁSTICA E ANÁLISE NÃO LINEAR FÍSICA DA ESTRUTURA DO EDIFÍCIO DESTINADO À INSTALAÇÃO DE DUAS SEDES ADMINISTRATIVAS DA PREFEITURA DE PARAUAPEBAS APÓS A UTILIZAÇÃO DE REFORÇO PARA REVITALIZAÇÃO DO PRÉDIO	
Denilda Silva Costa Jaciera Santos Brandão Allyson Corrêa Dias Fernanda Fonseca Lima	
DOI 10.22533/at.ed.69520090710	
CAPÍTULO 11	138
ANÁLISE NUMÉRICA COMPARATIVA DE MODELOS APLICÁVEIS AO PROJETO DE LAJES DE CONCRETO	
Edmilson Lira Madureira Eduardo Morais de Medeiros Arthur Leandro de Azevedo Silva Gabriel de Bessa Spinola	
DOI 10.22533/at.ed.69520090711	

CAPÍTULO 12 151

ANÁLISE NUMÉRICA DO COMPORTAMENTO TERMOMECAÂNICO DE LAJES DE CONCRETO ARMADO EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO

Andreia Romero Fanton
Luiz Carlos de Almeida
Leandro Mouta Trautwein

DOI 10.22533/at.ed.69520090712

CAPÍTULO 13 164

COMPARAÇÃO ENTRE MÉTODOS APROXIMADOS E MÉTODO GERAL DE CÁLCULO DO EFEITO LOCAL DE SEGUNDA ORDEM EM PILARES DE CONCRETO

Wesley de Vasconcelos Rodrigues da Silva
Maria de Lourdes Teixeira Moreira

DOI 10.22533/at.ed.69520090713

CAPÍTULO 14 178

COMPUTER AIDED DESIGN VERSUS BUILDING INFORMATION MODELING: APLICAÇÃO EM PROJETOS DE SISTEMAS PREDIAIS

Jayron Alves Ribeiro Junior
Thainá Maria da Costa Oliveira
Moisés de Araujo Santos Jacinto
Bruna da Costa Silva
Mariana de Sousa Prazeres
Paulo Rafael Nunes e Silva Albuquerque
Leticia Maria Brito Silva
Camilla Gomes Arraiz
Marcos Henrique Costa Coelho Filho
Yara Lopes Machado

DOI 10.22533/at.ed.69520090714

CAPÍTULO 15 187

DESLOCAMENTO VERTICAL DE UMA VIGA DE EULER-BERNOULLI: SIMULAÇÕES NUMÉRICAS SOB A HIPÓTESE DO MÓDULO DE ELASTICIDADE PROBABILÍSTICO

Ana Carolina Carius
Alex Justen Teixeira
João Vitor Curioni de Miranda
Leonardo de Souza Corrêa

DOI 10.22533/at.ed.69520090715

CAPÍTULO 16 204

ESTUDO COMPARATIVO ENTRE O MÉTODO DE ENGESSER-COURBON E MODELOS COMPUTACIONAIS EM PONTES EM VIGAS DE CONCRETO ARMADO

Felipe Gomes da Silva
Maria de Lourdes Teixeira Moreira

DOI 10.22533/at.ed.69520090716

CAPÍTULO 17 217

ESTUDO DE CASO EM BRASÍLIA: EDIFICAÇÃO EM DESACORDO COM NORMAS EXECUTIVAS E DE PROJETO

João da Costa Pantoja
Bruno Camozzi Fedato Faria
Nathaly Sarasty Narváez

DOI 10.22533/at.ed.69520090717

CAPÍTULO 18	235
INFLUÊNCIA DO USO DA TECNOLOGIA BIM NA REDUÇÃO DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS NA FASE DE CONCEPÇÃO E PROJETO DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO	
Rafael Azevedo Lino	
Orieta Soto Izquierdo	
Iutah Cristal Dezidério de Veras Barbosa	
DOI 10.22533/at.ed.69520090718	
CAPÍTULO 19	251
ENSAIOS DE PROVA DE CARGA EM ACORDO COM A NBR 9607 (ABNT, 2012): ESTUDO DE CASO	
Clayton Reis de Oliveira	
Armando Lopes Moreno Júnior	
Luis Gustavo Simão de Oliveira	
DOI 10.22533/at.ed.69520090719	
CAPÍTULO 20	269
PERÍCIA EM SISTEMA DE TRATAMENTO DE ESGOTO	
Marcelo de Jesus Rodrigues da Nóbrega	
DOI 10.22533/at.ed.69520090720	
CAPÍTULO 21	278
SIMULAÇÃO NUMÉRICA DE VIGAS DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO O MODELO DE DANO PLÁSTICO	
Paulo César de Oliveira Júnior	
Jerfson Moura Lima	
Bruno Rodrigues Amorim	
DOI 10.22533/at.ed.69520090721	
SOBRE OS ORGANIZADORES	295
ÍNDICE REMISSIVO	296

ANÁLISE DO COMPORTAMENTO À FLEXÃO DE COMPÓSITOS CIMENTÍCIOS REFORÇADOS COM TECIDOS ESTRUTURAIS DE FIBRAS DE SISAL

Data de aceite: 01/06/2020

Data de submissão: 09/03/2020

Sandro Fábio César

Universidade Federal da Bahia

Salvador – Bahia

<http://lattes.cnpq.br/8407361148875253>

Sande dos Santos Batista

Universidade Federal da Bahia

Salvador – Bahia

<http://lattes.cnpq.br/4117193250190595>

Mariana Santos Nunes

Universidade Federal da Bahia

Salvador – Bahia

<http://lattes.cnpq.br/3515782559822422>

Adilson Brito de Arruda Filho

Universidade Federal do Recôncavo da Bahia

Cruz das Almas – Bahia

<http://lattes.cnpq.br/3470509114767800>

Paulo Roberto Lopes Lima

Universidade Estadual de Feira de Santana

Fera de Santana – Bahia

<http://lattes.cnpq.br/5331705076186659>

Ricardo Fernandes Carvalho

Universidade Federal da Bahia

Salvador – Bahia

<http://lattes.cnpq.br/0118382623890489>

José Humberto Teixeira dos Santos

Universidade Federal do Recôncavo da Bahia

Cruz das Almas – Bahia

<http://lattes.cnpq.br/7393163368659559>

RESUMO: Na busca por desenvolver materiais de construção mais sustentáveis esta pesquisa teve como objetivo o desenvolvimento de compósitos cimentícios reforçados com tecidos estruturais, *in natura* e hornificado, da fibra de sisal, que foram agrupadas em feixes para confecção do tecido em um tear manual. Os compósitos foram submetidos ao ensaio de flexão em quatro pontos para análise do desempenho mecânico. Através dos resultados obtidos verificou-se que o tratamento de hornificação elevou o desempenho mecânico dos compósitos, mostrando condições para serem utilizados como elemento estrutural, semiestrutural ou de vedação.

PALAVRAS-CHAVE: Argamassa cimentícia, compósitos, fibra de sisal.

ANALYSIS OF THE FLEXURAL BEHAVIOR OF CEMENTITIOUS COMPOSITES REINFORCED WITH STRUCTURAL FABRICS OF SISAL FIBERS

ABSTRACT: In the search for the development of more sustainable building materials, this research had the objective of developing cementitious composites reinforced with structural fabrics, *in natura* and hornification, of sisal fiber, which were grouped in bundles for fabric preparation in a manual loom. The composites were submitted to the four point bending test to analyze the mechanical performance. Through the results obtained, it was verified that the furnace treatment increased the mechanical performance of the composites, showing conditions to be used as structural, semi-structural or sealing element.

KEYWORDS: Cement mortar, composites, sisal fiber.

1 | INTRODUÇÃO

O impacto causado ao meio ambiente pela indústria da construção civil, tem sido evidenciado e portanto faz-se necessário desenvolver e aplicar novas tecnologias com materiais renováveis, que sejam menos agressivos ao ambiente. Nesse sentido, estudos tem sido realizados utilizando fibras naturais vegetais em detrimento a fibras sintéticas como reforço de materiais compósitos (ARRUDA FILHO, 2015; LIMA, 2009; CARVALHO, 2005 e LIMA, 2004), que são materiais oriundos da combinação de dois ou mais constituintes com propriedades físicas e químicas distintas (CARVALHO, 2005).

A utilização de fibras naturais vegetais, como o sisal, para o reforço de compósitos, é uma alternativa viável, por ser proveniente de fonte renovável, possuir baixo custo e ser abundante no Brasil, considerado o maior produtor mundial de fibra de sisal, exportando cerca de 70% de sua produção (CONAB, 2018).

O reforço do compósito a partir das fibras pode ocorrer de diversas formas: fibras, feixes, fios, mantas e tecidos, sendo a última, a que fornece melhores propriedades para esse tipo de compósito, que conhece-se a direção dos esforços (ARRUDA FILHO, 2015 e CALDAS, 2015), até mesmo em matrizes cimentícias que apresentam ruptura frágil, o reforço auxilia na distribuição de tensões no compósito, tornando o material mais tenaz e dúctil (LIMA, 2009).

As fibras naturais apresentam certas limitações, como variações dimensionais em função da umidade e degradação em meio alcalino, o que restringe o desempenho do compósito (FERREIRA *et al.*, 2012). Para minimizar a alcalinidade do meio, promover uma proteção superficial das fibras e aumentar a durabilidade dos compósitos cimentícios podem ser adicionados à matriz materiais pozolânicos em substituição parcial ao cimento Portland, pois, além de reduzir o pH, reduzem o teor de hidróxido de cálcio e aumentam a resistência à compressão (ARRUDA FILHO, 2015 e LIMA, 2004). Também podem ser realizados tratamentos nas fibras, como a hornificação, para minimizar a variação

dimensional, elevar a resistência a tração e rigidez, e prolongar a vida útil do material (FERREIRA *et al.*, 2012).

Desta forma, o presente trabalho teve como principal objetivo desenvolver compósitos com matriz cimentícia reforçadas com tecido estrutural de fibras de sisal *in natura* e hornificado, e analisar a influência potencial do tratamento de hornificação dos tecidos de sisal no comportamento mecânico dos compósitos.

2 | PROGRAMA EXPERIMENTAL

Para o reforço, utilizaram-se fibras oriundas da Associação dos Pequenos Agricultores do Estado da Bahia – APAEB, situada no município de Valente – Bahia. As mesmas foram lavadas à temperatura de 50° C, por 20 minutos, para retirada de alguns constituintes que poderiam reagir com a matriz retardando sua pega e cura. Após a lavagem, as fibras foram colocadas para secar ao ar livre durante 24h (ARRUDA FILHO, 2015).

A partir das fibras foi confeccionado um tecido do tipo tramado simples unidirecional, em um tear manual de pente liço com 400 mm de largura. O urdume foi composto com linhas de algodão espaçadas em 2,5 mm e a trama por feixes de fibras de sisal, contendo 10 fibras cada, espaçados em 1 mm.

Depois de pronto, parte do tecido passou pelo processo de hornificação – ciclos de molhagem/secagem. Para realização deste procedimento o tecido foi imerso em um recipiente com água a temperatura ambiente (≈ 27 °C) durante 3h, até atingir a saturação. Depois o tecido foi estendido para retirada do excesso de água e então foi colocado para secar em estufa à 80 °C por 16h. Este procedimento teve duração de 24h, o que correspondeu a 1 ciclo de molhagem e secagem e foi repetido por 10 vezes (FERREIRA *et al.*, 2012).

Para confecção da matriz cimentícia, adaptou-se do estudo realizado por Lima *et al.* (2018) , e assim, foi utilizado o cimento Portland de alta resistência inicial (CP V – ARI), areia lavada, sílica ativa, superplastificante Vedacit Adiment Premium (teor de 0,8%) e o Agente Modificador de Viscosidade – VMA (teor 0,07%). O traço utilizado nesta matriz foi 1 : 0,4 : 2 : 0,76 (cimento : sílica : areia : água).

Dois compósitos foram moldados com quatro camadas de reforço, os quais diferenciavam-se pelo reforço de tecido utilizado – *in natura* e hornificado. Os tecidos utilizados foram cortados previamente com as dimensões da forma utilizada (400 mm x 400 mm), e pesados para obtenção da massa do reforço. Aplicou-se desmoldante na forma para facilitar a remoção da placa após a secagem inicial. Em seguida, iniciou-se a preparação da argamassa conforme a norma da ABNT NBR 13276 (2002).

A moldagem do compósito iniciou aplicando-se uma camada de 2 mm de argamassa na forma metálica, depois foi colocada a primeira camada de tecido de feixes de fibra de sisal e esta foi compactada com um rolo de nylon para melhor impregnação da matriz no

reforço. Assim, sucessivamente para as outras camadas de tecido de sisal, que foram colocadas paralelamente, e argamassa até que as quatro camadas de reforço estivessem conformadas no compósito. Por fim, aplicou-se uma camada de argamassa, cobrindo totalmente o tecido. Uma tampa de acrílico foi utilizada para melhorar o acabamento superficial da placa e evitar a perda de umidade durante a secagem inicial.

Após 48 horas, as placas foram desmoldadas e levadas para cura em tanque com água a temperatura ambiente até o 28º dia. Após esse período, as placas foram cortadas em formato prismático gerando 16 corpos de prova cada, de dimensões 200 mm x 50 mm, as quais apresentaram espessura média de 12 mm.

3 | APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

3.1 Ensaio de tração no reforço

O comportamento mecânico do reforço foram realizados ensaios de tração direta nas fibras, feixes e tecidos, seguindo as prescrições das normas ASTM D 3822 (2007), ASTM D 2256 (2010), ASTM D 5035 (2011), respectivamente. A partir desse ensaio foram obtidos os valores de carga e deslocamento ao decorrer do tempo, e então foi possível calcular a deformação específica e a tensão, na Tabela 1 constam os resultados encontrados.

		Def. Específica (mm/mm)	Resistência à tração (MPa)	Rigidez (GPa)
Fibras	<i>In natura</i>	0,0220 ± 0,0032	540,93 ± 48,59	25,43 ± 4,25
	Honificadas	0,0180 ± 0,0044	588,92 ± 75,18	33,21 ± 11,37
Feixes	<i>In natura</i>	0,0111 ± 0,0016	330,02 ± 57,10	34,69 ± 4,34
	Honificados	0,0117 ± 0,0014	375,59 ± 33,89	40,82 ± 4,19
Tecidos	<i>In natura</i>	0,0311 ± 0,0038	295,82 ± 46,95	11,14 ± 1,99
	Honificados	0,0273 ± 0,0039	310,45 ± 48,21	13,75 ± 1,86

Tabela 1 - Resultados do ensaio de tração no material de reforço - Fibras, feixes e tecido.

Os resultados obtidos pelo ensaio de tração na fibra demonstraram que o sisal sofre deformação elástica, ocorrendo um ganho de tensão e de deformação até o ponto de ruptura, comportamento este, característico de fibras vegetais (CALDAS, 2015) (Figura 1a). A hornificação possibilitou um aumento de 8,87% para a resistência à tração e 30,59% para a rigidez.

A partir das curvas geradas pelo ensaio nos feixes (Figura 1b), observou-se uma pequena acomodação das fibras que compõe o feixe, seguida de um aumento de tensão até ocorrer a primeira ruptura e, a partir de então, a ruptura sequencial das demais fibras. Com o tratamento de hornificação houve um aumento de 13,81% para a resistência à tração paralela as fibras e 17,67% para a rigidez.

No ensaio dos tecidos observou-se distintos comportamentos (Figura 1c), verificando-se inicialmente uma pequena acomodação devido um realinhamento das fibras, seguido do aumento gradual da tensão e rigidez até início da fase de rupturas das fibras. Detectou-se aumento de 4,95% para a resistência à tração e 23,43% para a rigidez nos tecidos hornificados.

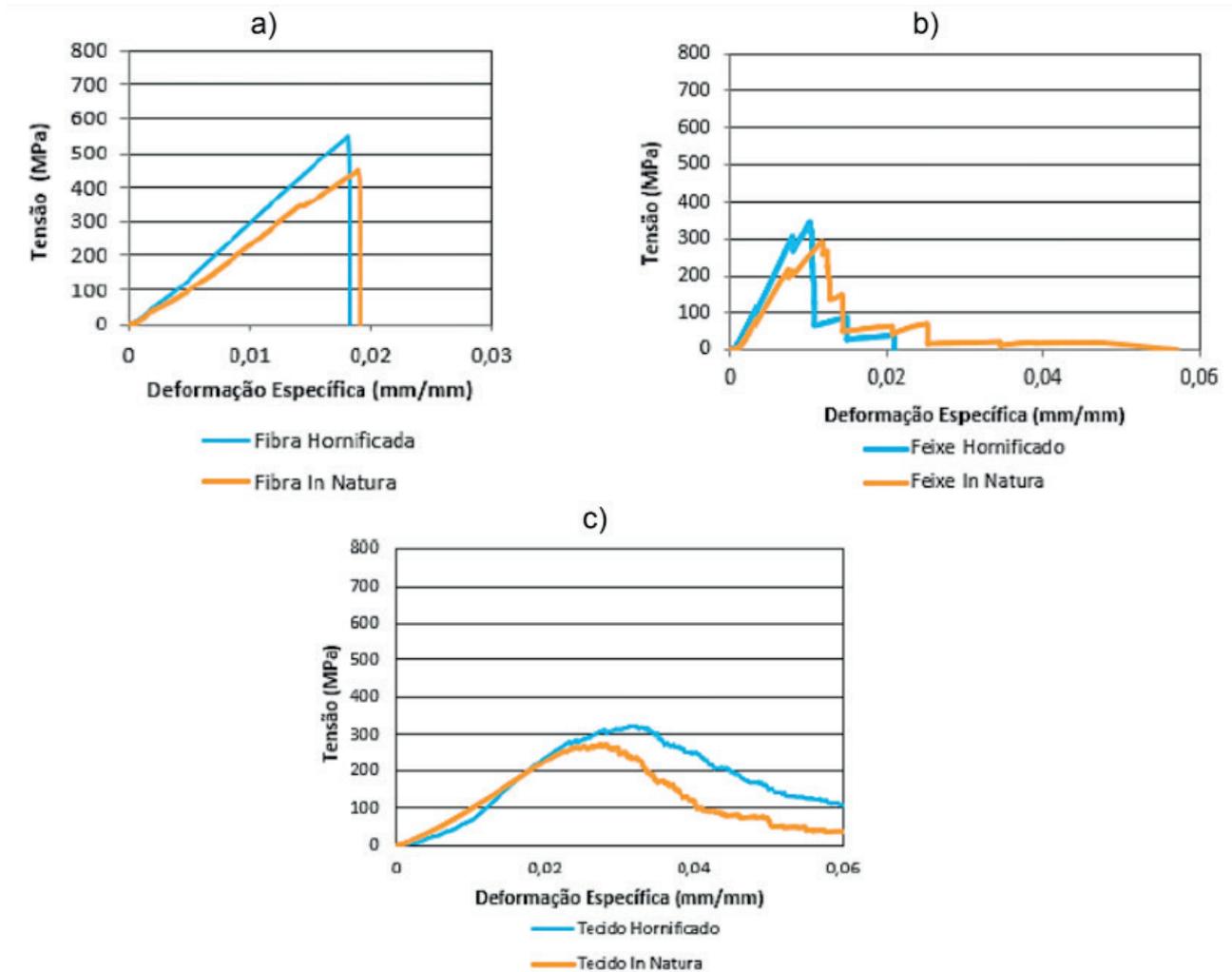


Figura 1 - Curva Tensão x Deformação Específica. Ensaio de tração. Curvas típicas. a) Fibras; b) Feixe; c) Tecido.

Ao comparar os resultados dos feixes com os obtidos pela fibras, pode-se observar que houve uma redução dos valores médios do desempenho mecânico. Isto pode ter ocorrido pelo fato dos feixes serem formados por múltiplas fibras, então quando ocorre a ruptura de cada fibra a área da sessão transversal do feixe diminui, porém não é considerada no cálculo das tensões, como observado por Arruda Filho (2015). Além disso, os valores dos desvios padrões também reduziram, visto que um número maior de fibras – 10 por feixe – proporciona uma compensação estatística.

3.2 Ensaio de flexão em quatro pontos no compósito

A Figura 2 apresenta a realização dos ensaios nos compósitos, que foram realizados

de acordo com as normas ASTM C 947 (1999) e ASTM C 459 (1997). Durante a realização do ensaio a máquina de ensaio universal estática servo-elétrica modelo Autograph AGS-X Séries, fabricante Shimadzu, forneceu os dados de carga e deslocamento. A tensão foi calculada a partir da Equação 1:

$$\sigma = \frac{\left(\frac{q}{2} \cdot a\right) \cdot \left(\frac{e}{2}\right)}{I} \text{ (MPa)} \quad (1)$$

Onde: q é a carga (kN), a corresponde a distância entre o ponto de apoio e o ponto de aplicação da carga (mm), e representa a espessura da placa (mm), e I corresponde ao momento de inércia da seção transversal (mm⁴).



Figura 2 - Realização do ensaio de flexão em quatro pontos nos compósitos.

A Figura 3 apresenta o comportamento da curva Tensão x Deformação para os compósitos reforçados com tecido *in natura* e hornificado. Inicialmente o compósito está trabalhando no regime elástico, no qual o mesmo tem grande ganho de resistência e deslocamento mínimo. Então, a matriz atinge uma tensão crítica, onde ocorre a primeira fissura e, por consequência, queda de tensão. Após o surgimento da primeira fissura, imediatamente, o reforço passa a suportar as cargas que vão aumentando gradativamente, até o surgimento de uma nova fissura em outro ponto frágil da matriz e ocorre uma queda de tensão. Esse ciclo de surgimento de fissuras e de combate às mesmas pelo reforço se repete diversas vezes. Finalizado o ciclo de múltiplas fissuras as cargas continuam a aumentar até atingir a resistência máxima do compósito. Após este pico de tensão máxima, verifica-se um comportamento de amolecimento da placa devido ao aumento da espessura das fissuras, ocasionando a redução da resistência do compósito. O comportamento apresentado pela placa quando submetido ao ensaio de flexão em quatro pontos foi semelhante ao encontrado por Arruda Filho (2015).

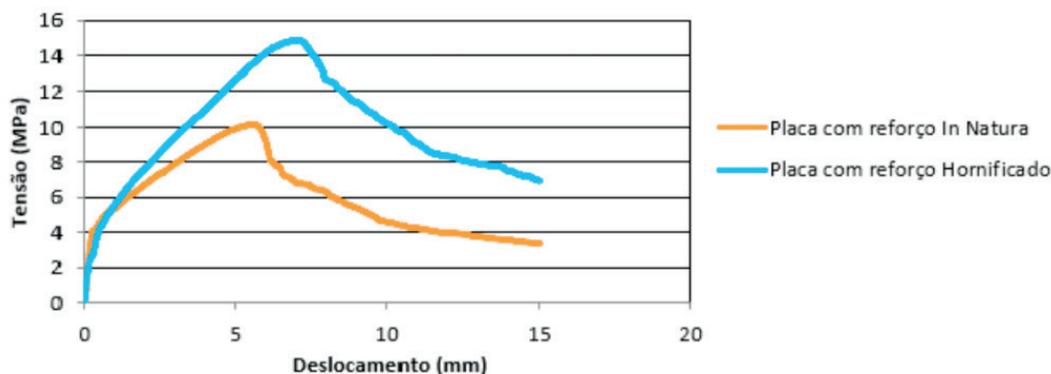


Figura 3 - Curva Tensão x Deslocamento. Ensaio de flexão em quatro pontos nas placas – Curvas Típicas.

Os resultados obtidos pelos compósitos reforçados estão dispostos na Tabela 2.

Placa	Tensão Crítica (MPa)	Deslocamento na Tensão Crítica (mm)	Tensão Máxima (MPa)	Deslocamento na Tensão Máxima (mm)
Reforço <i>In natura</i>	4,01 ± 0,13	0,36 ± 0,01	10,28 ± 0,43	6,12 ± 0,55
Reforço Hornificado	5,13 ± 0,76	0,56 ± 0,02	14,69 ± 0,39	6,78 ± 0,36

Tabela 2 - Resultados do ensaio de flexão em quatro pontos nas placas.

A partir da Figura 3 e dos resultados dispostos na Tabela 2 observa-se que o aumento de resistência a flexão da placa com reforço hornificado em relação a placa com reforço *in natura*. Sendo verificado um aumento de 27,93% para a tensão crítica e 42,90% para a tensão máxima.

4 | CONCLUSÕES

A partir dos ensaios de tração direta pôde-se observar que, após a realização do tratamento de hornificação, com dez ciclos de molhagem e secagem houve uma melhora no desempenho mecânico do material de reforço, promovendo um incremento de resistência à tração e rigidez.

Através do ensaio de flexão, verificou-se que os compósitos com matriz cimentícia reforçados com tecido estrutural de fibras de sisal apresentam aumento de tenacidade em relação à matrizes cimentícias sem reforço. Com a realização do tratamento de hornificação foi possível incrementar sinergia entre os diferentes materiais do compósito.

Logo, o tratamento de hornificação no reforço melhora o desempenho mecânico dos compósitos cimentícios reforçados com tecido estrutural de sisal, tornando-os mais resistentes aos esforços de flexão, admitindo assim, potencial para uso como elementos estruturais, semiestruturais ou de vedação.

AGRADECIMENTOS

Ao Departamento de Tecnologia da Universidade Estadual de Feira de Santana, ao Departamento de Construção e Estruturas da Universidade Federal da Bahia, e a Universidade Federal do Recôncavo da Bahia pelo apoio para realização da pesquisa e pela bolsa concedida.

REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C 459**: Standard test method for asbestos-cement flat products. Annual Book of ASTM Standards, V. 04.05, 1997.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C 947**: Standard test method for flexural properties of thin-section glass-fiber-reinforced concrete (using simple beam with third-point loading). Annual Book of ASTM Standards, 1999.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D 2256**: Standard Test Method for Tensile Properties of Yarns by the Single-Strand Method. Annual Book of ASTM Standards, 2010.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D 3822**: Standard Test Method for Tensile Properties of Single Textile Fibers. Annual Book of ASTM Standards, 2007.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D 5035**: Standard Test Method for Breaking Force and Elongation of Textile Fabrics (Strip Method). Annual Book of ASTM Standards, 2011.

ARRUDA FILHO, A. B. **Placas cimentícias reforçadas com tecidos estruturais de sisal**. 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 13276**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Preparo da mistura e determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro: ABNT, 2002.

CALDAS, B. G. S. **Estrutura sanduíche de matriz poliéster reforçado cm tecido de sisal conformado por infusão a vácuo**. 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2015.

CARVALHO, R. F. **Compósito de fibra de sisal para uso em reforço de estruturas de madeira**. 2005. Tese (Doutorado em Ciências e Engenharia dos Materiais) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

CONAB, 2018. **Fibras - Conjuntura Setembro 2017**. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/.../15253_02a2a248e38eb4f68c8734448bf580d2>. Acesso em: 01 de julho de 2018.

FERREIRA, S. R.; LIMA, P. R. L.; SILVA, F. A.; TOLEDO FILHO, R. D. **Influência de ciclos de molhagem-secagem em fibras de sisal sobre a aderência com matrizes de cimento Portland**. Revista Matéria, v. 12, n. 2, p. 1024-1034, jun. 2012.

LIMA, J. C. A. **Modelagem computacional de placas de matriz cimentícia reforçadas com fibras de sisal**. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental), Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, 2009.

LIMA, P. R. L. **Análise teórica e experimental de compósitos reforçados com fibras de sisal**. 2004. Tese (Doutorado em Ciências em Engenharia Civil) – COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.

LIMA, P. R. L.; BARROS, J. A. O.; ROQUE, A. B.; FONTES, C. M. A; LIMA, J. M. F. **Short sisal fiber reinforced recycled concrete block for one-way precast concrete slabs**. Construction and Building Materials, v. 187, p. 620-634, out. 2018.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Agressividade Marinha 48, 50, 51, 56, 58, 59

Análise Geométrica 114

Análise Não Linear 113, 114, 115, 116, 121, 122, 123, 124, 125, 127, 134, 135, 137

Análise Numérica 138, 149, 151, 163, 294

Argamassa 13, 59, 90, 92, 93, 97, 193

B

BIM 178, 179, 180, 181, 182, 183, 184, 185, 186, 235, 236, 239, 242, 244, 245, 246, 247, 248, 249, 250

C

CC 23, 27, 28, 33, 65, 81, 93, 95, 109, 116, 120, 122, 140, 141, 142, 143, 154, 156, 160, 161, 162, 169, 187, 189, 190, 200, 201, 280, 288, 289, 290, 292

Cisalhamento 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 73, 74, 75, 76, 128, 134, 136, 146, 241, 292, 293, 294

Coefficiente γ_z , 15

Compósitos 62, 74, 90, 91, 92, 94, 95, 96, 98

Concreto 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 20, 22, 30, 31, 32, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 43, 44, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 86, 87, 88, 89, 103, 104, 105, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 123, 124, 125, 127, 128, 129, 130, 131, 132, 133, 136, 137, 138, 139, 140, 144, 145, 149, 150, 151, 152, 153, 154, 155, 156, 157, 158, 162, 163, 164, 165, 166, 167, 168, 169, 172, 173, 177, 178, 187, 188, 189, 190, 191, 192, 193, 194, 195, 196, 197, 201, 202, 203, 204, 209, 215, 216, 217, 218, 219, 220, 221, 223, 224, 225, 226, 227, 228, 229, 231, 232, 233, 234, 235, 237, 239, 240, 250, 251, 252, 253, 254, 258, 260, 261, 262, 264, 266, 267, 268, 278, 279, 280, 281, 282, 284, 285, 286, 287, 288, 289, 290, 293, 294

Concreto Armado 15, 16, 17, 18, 20, 22, 30, 31, 32, 35, 47, 60, 61, 62, 64, 66, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 88, 112, 113, 115, 116, 117, 124, 125, 127, 128, 130, 132, 133, 137, 138, 139, 149, 150, 151, 152, 155, 162, 163, 164, 165, 166, 172, 173, 177, 178, 204, 209, 215, 216, 217, 218, 219, 225, 235, 239, 240, 252, 253, 260, 261, 262, 266, 267, 278, 279, 280, 293, 294

Curvatura 115, 164, 165, 166, 167, 168, 169, 170, 171, 175, 176, 177

D

Deslocamento 27, 96, 121, 147, 161, 187, 197, 206

E

Edifícios 15, 16, 17, 20, 30, 31, 32, 33, 35, 47, 113, 114, 116, 119, 124, 126, 127, 128, 129, 136, 137, 177, 183, 239, 240, 272, 274

Efeito 13, 24, 43, 50, 55, 58, 59, 105, 116, 149, 164, 165, 176, 183, 206, 214, 244, 266, 275

Elementos 15, 16, 17, 18, 19, 23, 30, 34, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 43, 44, 60, 77, 78, 84, 96, 101, 103, 114, 115, 116, 122, 125, 127, 130, 136, 137, 138, 139, 141, 142, 144, 146, 147, 148, 149, 150, 151, 152, 153, 154, 156, 157, 158, 162, 163, 179, 181, 182, 184, 187, 189, 190, 197, 199, 200, 202, 203, 205, 208, 209, 213, 215, 217, 219, 220, 222, 223, 230, 231, 233, 238, 239, 241, 242, 243, 254, 258, 261, 262, 266, 267, 278, 279, 280, 285, 287, 288, 289, 293

Engesser-Courbon 204, 205, 206, 207, 212, 213, 215

Estabilidade Global 15, 16, 17, 22, 30, 32, 33, 36, 43, 47, 99, 108, 109, 114, 115, 116

Estais 99, 100, 101, 102, 103, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 112

Estocástico 187, 190, 191, 197, 198, 200, 201, 202

Estruturas 15, 16, 17, 18, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 47, 48, 49, 58, 60, 64, 74, 75, 76, 77, 79, 89, 97, 100, 101, 103, 112, 114, 115, 116, 117, 118, 123, 124, 127, 128, 136, 137, 145, 150, 151, 152, 162, 163, 165, 166, 177, 178, 180, 188, 190, 202, 203, 209, 215, 216, 230, 233, 234, 235, 236, 237, 239, 250, 251, 252, 253, 254, 255, 256, 258, 266, 267, 268, 272, 279, 294

F

Fibra 60, 61, 62, 63, 65, 74, 75, 76, 90, 91, 92, 93, 94, 97

Fibra de Sisal 90, 91, 92, 97

Fluência 77, 79, 81, 82, 86, 88, 166

Fogo 151, 152, 153, 157, 162

G

Gestão 3, 150, 178, 179, 183, 186, 269

L

Lajes 17, 18, 20, 21, 24, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 47, 75, 119, 125, 128, 130, 132, 133, 134, 136, 137, 138, 139, 144, 145, 147, 148, 149, 150, 151, 152, 155, 156, 158, 159, 160, 161, 162, 206, 207, 208, 209, 218, 220, 228, 243, 258, 260, 261, 262, 264, 265, 266

Lajes Nervuradas 32, 33, 34, 35, 41

M

Método 5, 9, 20, 29, 52, 62, 64, 67, 68, 69, 72, 79, 84, 104, 114, 116, 127, 130, 138, 139, 143, 144, 149, 150, 156, 164, 165, 166, 167, 168, 169, 171, 172, 173, 174, 175, 176, 177, 181, 187, 189, 190, 191, 197, 199, 200, 202, 203, 204, 205, 206, 207, 208, 209, 210, 212, 213, 214, 215,

216, 238, 239, 240, 249, 252, 279, 283, 287, 293

Método Geral 164, 165, 166, 168, 169, 171, 172, 173, 175, 176, 177

Minerais 2, 4, 13, 193

Modelos 21, 22, 24, 25, 26, 28, 29, 60, 61, 62, 63, 64, 66, 67, 68, 70, 73, 74, 75, 107, 115, 116, 138, 144, 145, 146, 149, 150, 151, 153, 155, 185, 188, 204, 209, 212, 213, 214, 215, 216, 220, 235, 239, 248, 278, 279, 280, 281, 285, 286

Módulo de Elasticidade 17, 77, 81, 86, 87, 88, 140, 166, 187, 188, 189, 190, 191, 192, 193, 194, 195, 196, 197, 198, 201, 202, 203, 282, 286

P

Parâmetro α 15, 25

Pavimento 1, 2, 3, 4, 13, 14, 21, 23, 27, 28, 38, 117, 118, 119, 130, 131, 132, 244, 261

Pilar de Concreto 164, 233

Placas 93, 96, 97, 138, 140, 144, 145, 146

Pontes 99, 100, 101, 103, 106, 107, 111, 112, 204, 205, 208, 209, 210, 213, 215, 216, 253, 258, 268

Potencial de Corrosão 48, 51, 52, 53, 57, 58

PRFC 60, 61, 62, 64, 65, 66, 67, 69, 73, 75, 76

Probabilidade 53, 187, 196, 197, 198, 235

Projetos 15, 100, 111, 120, 128, 138, 139, 178, 179, 180, 181, 182, 183, 184, 185, 186, 189, 217, 218, 220, 224, 226, 232, 233, 235, 238, 239, 240, 242, 243, 244, 245, 246, 249, 250, 258

R

Reforço 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 73, 74, 75, 76, 91, 92, 93, 95, 96, 97, 125, 129, 130, 131, 132, 134, 136, 234, 250, 258, 267, 293

Resíduos 1, 2, 3, 4, 11, 12, 13, 14

Resistência à Compressão 5, 48, 52, 54, 55, 56, 58, 59, 91, 103, 189, 192, 194, 217, 233, 282

Rigidez k 164, 165, 167, 171, 175, 176, 177

S

Sílica Ativa 48, 50, 51, 54, 55, 56, 58, 59, 92, 105

Simulação 48, 50, 51, 52, 56, 58, 59, 138, 155, 156, 157, 203, 278, 280, 281, 287, 288, 289, 290, 291, 292, 293

Sistemas 14, 15, 16, 17, 27, 32, 33, 37, 41, 44, 50, 75, 78, 88, 99, 143, 169, 178, 179, 180, 183, 184, 185, 197, 235, 237, 270, 272, 275, 276, 294, 295

Solução Analítica 77, 84

V

Vazios 7, 12, 48, 53, 56, 58, 59, 224, 227

Viga 42, 61, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 70, 73, 103, 187, 188, 189, 190, 191, 197, 198, 200, 201, 202, 203, 206, 208, 213, 214, 222, 223, 224, 225, 226, 227, 228, 233, 241, 245, 248, 263, 264, 266, 278, 280, 285, 287, 288, 289, 290, 291, 292, 293

 **Atena**
Editora

2 0 2 0