



Franciele Braga Machado Tullio
Lucio Mauro Braga Machado
(Organizadores)

A Aplicação do Conhecimento Científico na Engenharia Civil

3

Atena
Editora
Ano 2020



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 DE MODELOS DE CÁLCULO DE VIGAS DE CONCRETO ARMADO REFORÇADAS AO CISALHAMENTO COM PRFC

Data de aceite: 01/06/2020

Data de submissão: 03/04/2020

Daniel Marlon Rodrigues Guedes

Universidade de Brasília

Brasília – DF

<http://lattes.cnpq.br/1163918979673482>

Ailín Fernández Pérez

Universidade de Brasília

Brasília – DF

<http://lattes.cnpq.br/9936686237666814>

Paulo Fernando Matos de Santana

Universidade de Brasília

Brasília – DF

<http://lattes.cnpq.br/7760915929378472>

Luiz Gustavo Dantas Gonçalves

Universidade de Brasília

Brasília – DF

<http://lattes.cnpq.br/1574895494456412>

Guilherme Sales Soares de Azevedo Melo

Universidade de Brasília

Brasília – DF

<http://lattes.cnpq.br/2099550660739560>

Marcos Honorato de Oliveira

Universidade de Brasília

Brasília – DF

<http://lattes.cnpq.br/0471906852268220>

RESUMO: Polímeros reforçados com fibra de carbono (PRFC) são utilizados no reforço de estruturas de concreto armado por possuírem propriedades favoráveis a esse tipo de aplicação, como baixo peso específico, alta resistência à tração e por sua capacidade de aumentarem ou recuperarem a resistência de elementos estruturais de concreto. O emprego do PRFC no reforço de estruturas ao cisalhamento é ainda limitado no Brasil, em parte, devido ao custo elevado dos materiais e devido à ausência de uma normatização nacional que oriente o emprego desse tipo de reforço. Sendo assim, objetivou-se analisar metodologias de cálculo para o reforço ao cisalhamento de vigas de concreto armado com faixas de PRFC coladas externamente, com o fim de verificar quais modelos teóricos melhor representam os resultados experimentais. Foram analisadas 137 vigas de concreto armado reforçadas ao cisalhamento com PRFC, provenientes de 14 trabalhos encontrados na literatura. Foram previstos os modos e cargas de ruptura, calculados a partir de diferentes combinações entre modelos de cálculo para se determinar a resistência ao cisalhamento das vigas sem o reforço e modelos de cálculo da parcela contribuinte do reforço na resistência final. Por fim, foram realizadas análises sobre

os resultados experimentais e teóricos. Concluiu-se que as combinações entre os modelos de cálculo analisados podem ser utilizadas efetivamente para prever a capacidade resistente real de uma viga reforçada, dentro das margens de erro de cada modelo. Segundo a análise realizada, a combinação NBR 6118-Chen & Teng apresentou resultados mais próximos da segurança a um desvio padrão menor que as demais combinações.

PALAVRAS-CHAVE: Concreto; Reforço; Cisalhamento; Fibra; PRFC

ANALYSIS OF CALCULATION METHODS OF RC BEAMS SHEAR-STRENGTHENED WITH CFRP

ABSTRACT: Carbon Fiber Reinforced Polymers (CFRP) are used on strengthening of reinforced concrete structures due their favorable properties to this application, like low specific weight, high tensile strength and due their capacity to increase or restore the resistance of concrete structural elements. The application of CFRP on shear strengthening of structures is still limited in Brazil, in part, due to high costs of materials and due the unavailability of a national standard that guide this use. Therefore, this research had as objective analyze methods of prediction of strengthening of reinforced concrete (RC) beams for shear with CFRP strips externally bonded, to verify which models represents better the experimental results. Were analyzed 137 RC beams shear-strengthened with CFRP, identified in 14 researches. The rupture mode and ultimate tensile were calculated with different combination between models to predict the RC beams shear resistance without strengthening and models to predict the strengthening contribution to final resistance. Finally, were analyzed the experimental e theoretical results. Was possible conclude that combination between models can be used to predict effectively the real resistance capacity of a RC beam strengthened, considering the margin of error. Through the analysis done, was verified that the combination NBR 6118-Chen & Teng shown results safer e more uniform than other combinations.

KEYWORDS: Concrete; Strengthening; Shear; Fiber; CFRP

1 | INTRODUÇÃO

As construções de concreto armado muitas vezes têm sua vida útil reduzida devido a fatores como a mudança na funcionalidade das edificações, a deterioração da estrutura com o decorrer do tempo, a ocorrência de impactos ou devido a falhas na etapa de projeto e execução, passando a edificação a um nível de desempenho inferior ao desejado, necessitando-se, assim, que seja realizado um reforço estrutural, de maneira a elevar ou recuperar a capacidade resistente das peças.

Os tipos de reforço mais utilizados são: reforço mediante adição de concreto simples ou armado, encamisamento, concreto projetado, reforço por adição de perfis metálicos, reforço por adição de chapas metálicas coladas e reforço por colagem de lâminas ou

mantas de compósitos de fibras.

O método abordado nesta pesquisa faz uso de compósitos de fibra para elevar ou recuperar a capacidade resistente das peças. Esses compósitos consistem em uma fibra de resina polimérica, conhecidos também como polímeros reforçados com fibra. A aplicação dessa técnica no Brasil, no entanto, é ainda limitada. Isso se deve, em parte, pela ausência de uma normalização nacional que oriente o seu uso.

Desta forma, este trabalho objetiva avaliar modelos de cálculo para o reforço de vigas de concreto armado ao cisalhamento com PRFC, a partir da comparação dos resultados teóricos de cada modelo com resultados experimentais. Contribuindo, cientificamente, para a difusão do uso desta técnica de reforço (GUEDES, 2018).

2 | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Características do reforço com PRFC

O reforço com PRFC apresenta como vantagens propriedades inerentes à fibra, como a alta resistência à tração, baixa relaxação e imunidade à corrosão (PÉREZ, 2016). Existem três tipos fundamentais de compósito de fibra: os reforçados com fibra de vidro, com fibra de aramida e com fibra de carbono. Este trabalho se concentra no reforço ao cisalhamento com compósitos de fibra de carbono, denominados PRFC – polímero reforçado com fibra de carbono. Na Figura 1 estão exemplificados alguns usos desse tipo de reforço de vigas ao cisalhamento.



Figura 1 – Vigas Reforçadas ao Cisalhamento com PRFC.

Fonte: ZALDIGAIN, 2016)

O uso de polímeros reforçados com fibra como sistema de reforço se popularizou, principalmente, após o barateamento das matérias primas e a queda dos custos industriais (MACHADO e MACHADO, 2015).

A aplicação desta técnica em vigas para reforço ao cisalhamento pode ser classificada quanto à forma de execução em vigas, conforme mostrado na Figura 2. O primeiro tipo, envolvimento completo, é o mais efetivo (AKROUSH, 2016), porém o mais difícil de se executar, no caso de vigas, devido à presença da laje, enquanto que o reforço com

colagem de faixas nas laterais é o mais suscetível ao descolamento do PRF. Esse é um tipo de fixação que confina o elemento reforçado, então, pode ser mais efetivo ainda em peças cuja necessidade de reforço se dê principalmente por demandas de capacidade resistente do concreto, e não do aço. O reforço em “U”, por sua vez, apresenta um desempenho intermediário entre os outros dois tipos (BEBER, 2003). Os mais utilizados são os reforços do tipo em “U” e nas laterais. São encontrados também reforços do tipo “L”, que se assemelham ao do tipo em “U”, porém uma das laterais da viga não possui reforço.

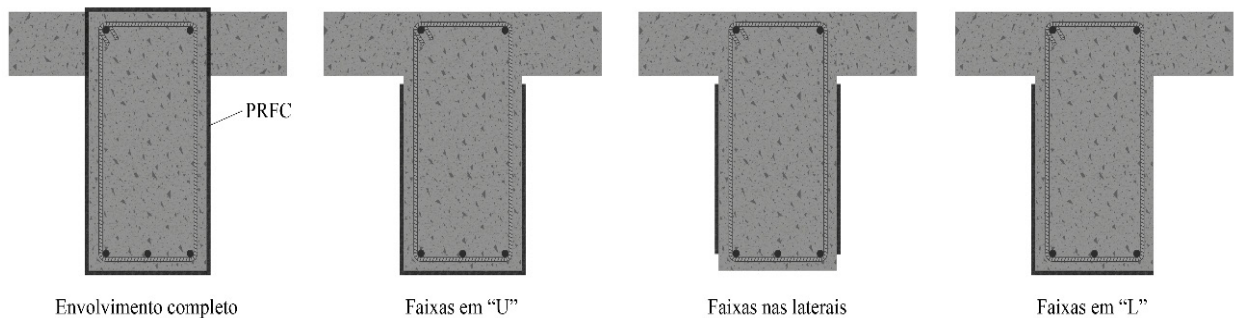


Figura 2 – Alternativas de colocação da fibra em vigas, para reforço ao cisalhamento.

Fonte: ACI, 2017

2.2 Comportamento de vigas reforçadas

Muitos estudos, realizados desde a década de 1990, tem demonstrado que vigas reforçadas ao cisalhamento rompem, principalmente, em dois modos de ruptura: ruptura por tração do PRF e descolamento do PRF dos lados da viga, dependendo de como ela foi reforçada (CHEN e TENG, 2003). Da recorrência de ruptura por descolamento, surge a importância de uma efetiva ancoragem, para que o reforço atue de forma eficiente.

Uma diferença básica entre vigas reforçadas externamente e vigas com armadura transversal convencional está no fato de que estas possuem, por meio da forma e posição dos estribos internos, uma ancoragem suficientemente garantida e, desta forma, o mecanismo de ruptura é determinado pela resistência à tração dos estribos. (SWAMY e MUKDHOPADHYAYA, 1999). Por outro lado, nas vigas reforçadas externamente, o mecanismo de ruptura está associado à eficiência da ancoragem, ou a falta dela, ao invés da resistência à tração do material de reforço, como é o caso dos estribos. (BEBER, 2003)

Como veremos adiante, a maioria dos modelos para dimensionamento de vigas reforçadas ao cisalhamento, como é o caso dos modelos analisados neste trabalho, consideram que a resistência de uma viga reforçada é dada pela soma das parcelas de contribuição do concreto, da armadura transversal e do reforço externo. Tal consideração está em concordância com uma observação importante: “O princípio geral de dimensionamento ao cisalhamento considera que o concreto comprimido fornece a

resistência primária ao cisalhamento e que, a resistência adicional ao cisalhamento deve ser fornecida através de uma armadura transversal, geralmente sob a forma de estribos internos. Alguns dos resultados de pesquisas disponíveis até o momento apontam que a mesma metodologia pode ser empregada no caso do reforço externo” (BEBER, 2003).

Segundo BEBER (2003), “quando o elemento de concreto alcança sua capacidade de resistência ao cisalhamento, um pouco antes de seu colapso, o reforço externo com PRF é alongado na direção principal das fibras em um nível que, em geral, é menor que sua deformação de ruptura”. Alguns modelos de cálculo do reforço com PRF propõem equações para estimar essa deformação específica efetiva.

Estudos experimentais demonstram que a grande maioria das vigas reforçadas com envolvimento completo rompem devido à ruptura do PRF. Embora o descolamento tenha ocorrido antes, neste caso a ruptura do PRF é que controla a resistência ao cisalhamento (CHEN e TENG, 2003). Esse comportamento em vigas reforçadas com envolvimento completo se deve à maior eficácia da ancoragem presente nesse método de colagem, levando o compósito à sua máxima capacidade de suporte. Além disso, a contribuição do PRF à resistência ao cisalhamento depende da sua configuração e orientação (BUKHARI, 2010).

Quando o descolamento ocorre, este causa a perda do confinamento das fissuras, que passam a se propagar até a ruptura final. Como o reforço permite com que a formação da primeira fissura ocorra apenas com um alto nível de carregamento, uma vez que ela é formada, ela se propaga rapidamente, causando a ruptura final, que tipicamente ocorre por descolamento (AKROUSH, 2016).

2.3 Modos de Ruptura

Rupturas por cisalhamento em estruturas de concreto armado são, naturalmente, catastróficas e repentinas e, por isso, devem ser evitadas na etapa de dimensionamento. Essa é a razão pela qual se dimensionam vigas para romperem por flexão e, então, verifica-se a resistência ao cisalhamento, uma vez que rupturas por flexão são mais dúcteis, permitindo a redistribuição de tensões e o aviso aos ocupantes da estrutura para a possibilidade de colapso. (REBEIZ, 1999) (BEBER, 2003).

Como explicitado anteriormente, vigas reforçadas ao cisalhamento com PRFC rompem, principalmente, em dois modos de ruptura: ruptura por tração do PRFC ou descolamento do PRFC dos lados da viga. Na Figura 3 são mostradas vigas que colapsaram por esses dois modos de ruptura.

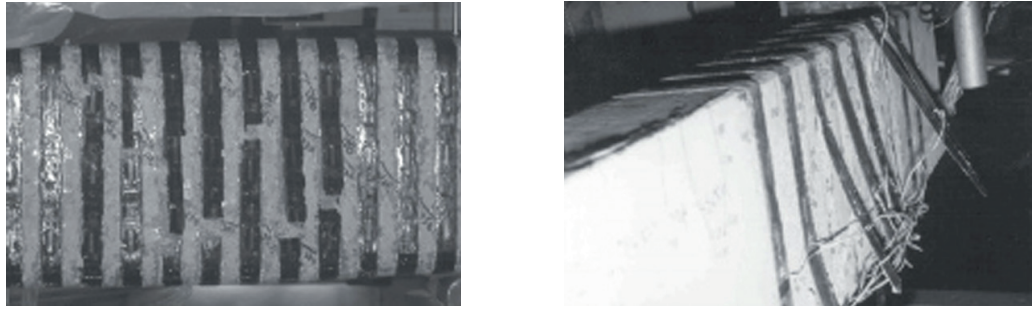


Figura 3 – Colapso de vigas por ruptura e por descolamento do PRFC.

Fonte: TENG, 2008

A ruptura do PRFC se dá devido à deformação excessiva do compósito, que em geral é tracionado pela abertura de uma fissura diagonal de cisalhamento nos lados da viga. A fibra mais tracionada, ao atingir a deformação máxima, se rompe e a ruptura do PRFC se propaga ao longo da fissura de cisalhamento, conduzindo ao colapso da viga. Descolamentos parciais podem ocorrer nesse modo de ruptura, porém o colapso da viga se deve à ruptura do reforço (CHEN e TENG, 2003).

O modo de ruptura devido ao deslocamento da fibra, na verdade, ocorre devido a uma ruptura nas interfaces PRFC-adesivo, adesivo-concreto ou mesmo no próprio concreto ou no próprio adesivo. Segundo CHEN & TENG (2003), são raros os descolamentos puramente localizados nas interfaces PRFC-adesivo, adesivo-concreto e no adesivo. Quase sempre ele ocorre no interior do substrato de concreto, a uma pequena distância da interface adesivo-concreto. É possível ainda que, quando se faz uso de mecanismos de ancoragem, a ruptura ocorra adjacente a eles, como em vigas com reforço em U, onde a ruptura se inicia por uma delaminação na junção entre a alma da viga e a laje.

Por fim, não se descarta a possibilidade de ocorrerem modos de ruptura clássicos de vigas não reforçadas. Eles podem ser de cisalhamento, devido a um sistema de reforço ineficiente, ou de flexão. Como já dito anteriormente, é desejável que, caso uma ruptura venha ocorrer em uma estrutura usual, esta venha a ser por flexão. Portanto, ao se reforçar uma viga, a sua capacidade de resistência ao cisalhamento deve, em geral, ser elevada de tal forma que o modo de ruptura a que a viga reforçada passará seja por flexão. Destaca-se que a ancoragem do PRFC tem papel fundamental na transferência de esforços para o reforço.

Os principais modos de ruptura identificados estão resumidos na Tabela 1.

Rupturas clássicas de flexão e cisalhamento	<ol style="list-style-type: none"> 1. Deformação plástica excessiva da armadura longitudinal 2. Esmagamento do concreto 3. Ruptura por tração diagonal 4. Esmagamento da diagonal comprimida de concreto
Ruptura no sistema de reforço ao cisalhamento	<ol style="list-style-type: none"> 5. Ruptura do PRFC 6. Descolamento no concreto 7. Descolamento na interface concreto-adesivo 8. Descolamento na interface adesivo-compósito 9. Descolamento no adesivo (falha na coesão da resina) 10. Falha no mecanismo de ancoragem

Tabela 1 – Modos de ruptura de vigas de concreto armado reforçadas ao cisalhamento com faixas de PRFC coladas externamente.

2.4 Modelos de Cálculo

Como métodos para dimensionamento da armadura de cisalhamento das vigas, foram escolhidas as normas ABNT NBR 6118 (2014), ACI 318 (2011) e as recomendações de Zsutty (1968). O objetivo é combinar esses métodos com cada um dos métodos de dimensionamento do reforço ao cisalhamento escolhidos: fib – Bulletin 14 (2001), ACI 440.2R-17 (2017) e as recomendações de Chen e Teng.

Os modelos de previsão da resistência ao cisalhamento de uma viga de concreto armado se baseiam na treliça de Mörsch, proposta em torno de 1900 por W. Ritter e E. Mörsch. A teoria associa o mecanismo de uma viga de concreto armado no estágio II (fissurada) com uma treliça, em que as armaduras e o concreto equilibram conjuntamente o esforço cortante. Com correções adequadas sobre a proposta inicial (CARVALHO, 2015), tem-se hoje a treliça de Mörsch como base de cálculo ao cisalhamento das principais prescrições normativas. A Figura 4 ilustra a treliça de Mörsch.

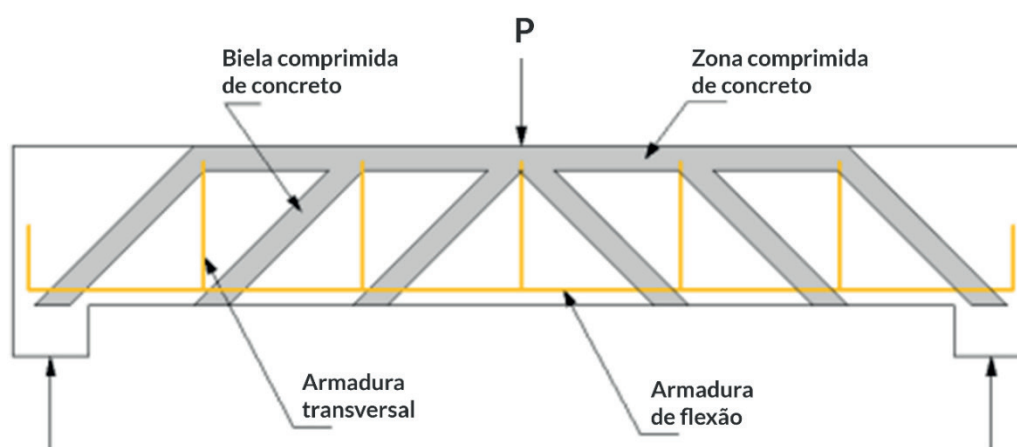


Figura 4 – Treliça de Mörsch.

Fonte: ALTOQI, 2010

2.5 Estudos Experimentais

Com o objetivo de determinar o desempenho das prescrições de cada método para o dimensionamento de vigas reforçadas ao cisalhamento com PRFC, foi montado um banco de dados com resultados experimentais encontrados na literatura. O banco consiste em 137 vigas, provenientes de 14 trabalhos, sendo 7 nacionais e 7 internacionais (NETO, 2000), (FILHO, 2001), (ARAÚJO, 2002), (ALTIN; ET AL., 2010), (MOFIDI & CHAALLAL, 2011), (BEBER, 2003), (GALVEZ, 2003), (TÄLJSTEN, 2003), (KHALIFA, AHMED; ET AL., 2000), (GALLARDO, 2002), (PELLEGRINO & MODENA, 2002), (SPAGNOLO; ET AL., 2013), (BARROS & DIAS, 2003) e (CHEN, G.M.; ET AL., 2016). Todas essas vigas foram submetidas a ensaio de flexão a quatro pontos e foram reforçadas ao cisalhamento com PRFC. Quanto às características gerais das vigas analisadas, é importante destacar o espectro dos principais parâmetros das vidas do banco de dados, tais como o vão das vigas (0,90 m a 4,00 m), a largura (12 cm a 20 cm), a altura (15 cm a 50 cm), a resistência do concreto à compressão (22,5 MPa a 101,86 MPa), a resistência do aço dos estribos e a presença ou não deles (máximo de 799,2 MPa). Na Figura 5a está representada a vista longitudinal de uma dessas vigas. A parte direita da representação mostra o interior da viga juntamente com os estribos, enquanto que a parte esquerda mostra a superfície da viga com o PRFC colado externamente. Na Figura 5b está representada a vista da seção transversal interior da viga.

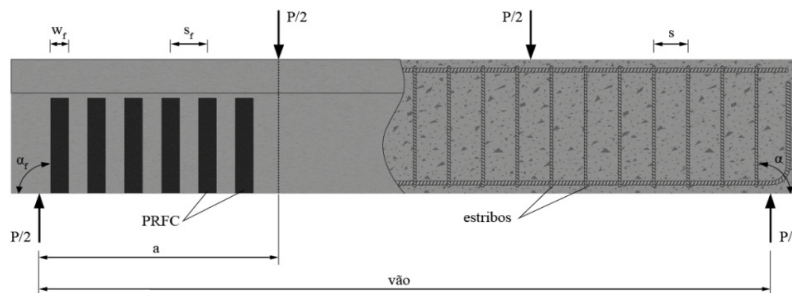


Figura 5a – Vista longitudinal da viga.

Fonte: autor

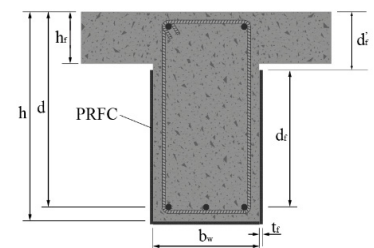


Figura 5b – Vista da seção transversal da viga.

Fonte: autor

3 | METODOLOGIA

Os modelos de cálculo assumem que a resistência total de uma viga reforçada é dada, em geral, pela soma das parcelas de resistência providas pelo concreto (V_c), pela armadura transversal (V_{sw}) e pelo reforço (V_f). As disposições normativas foram utilizadas para calcular a parcela $V_c + V_{sw}$, enquanto que os três modelos de cálculo do reforço foram utilizados para o cálculo de V_f .

Foi realizada a combinação de cada um dos três modelos usados para o

dimensionamento de vigas ao cisalhamento com cada um dos três modelos de cálculo do reforço, resultando, portanto, em 9 combinações que resultaram em diferentes valores da resistência total prevista de vigas reforçadas.

Para determinar as combinações que melhor representam os resultados experimentais, foi realizada uma análise estatística. Fundamentalmente, foi feita a análise da relação entre a capacidade resistente teórica com a capacidade resistente experimental: V_{exp}/V_{teo} . As combinações que melhor aproximam essa razão com a unidade, melhor representam os resultados experimentais.

Outra análise realizada foi o critério de COLLINS (2001), adaptado por MORAES (2013), o Demerit Points Classification – DPC, por meio do qual a relação V_{exp}/V_{teo} de cada viga é classificada em faixas que vão de “extremamente perigoso” a “extremamente conservador”, além disso, cada uma dessas faixas possuem um escore de penalidade. A penalidade total do modelo de cálculo analisado é definida, então, pela soma do produto entre a relação V_{exp}/V_{teo} e o escore de classificação da viga. Uma penalidade maior significa não apenas que o método é perigoso, mas pode significar também que há muito conservadorismo, e pouca aproximação com a situação real observada. Na Tabela 2 estão expostas as faixas e escores correspondentes do DPC.

	Classificação	Escore de Penalidade
$V_{exp}/V_{teo} < 0,50$	Extremamente Perigoso	10
$0,50 \leq V_{exp}/V_{teo} < 0,65$	Perigoso	5
$0,65 \leq V_{exp}/V_{teo} < 0,85$	Baixa Segurança	2
$0,85 \leq V_{exp}/V_{teo} < 1,30$	Segurança Adequada	0
$1,30 \leq V_{exp}/V_{teo} < 2,00$	Conservador	1
$2,00 \leq V_{exp}/V_{teo}$	Extremamente Conservador	2

Tabela 2 – Critério de COLLINS (2011), adaptado por MORAES (2013) - Demerit Point Classification – DPC.

4 | RESULTADOS E ANÁLISE

O gráfico da Figura 6 nos mostra os métodos de colagem que compõem cada um dos trabalhos, bem como a resistência média experimental das vigas de cada método e trabalho.

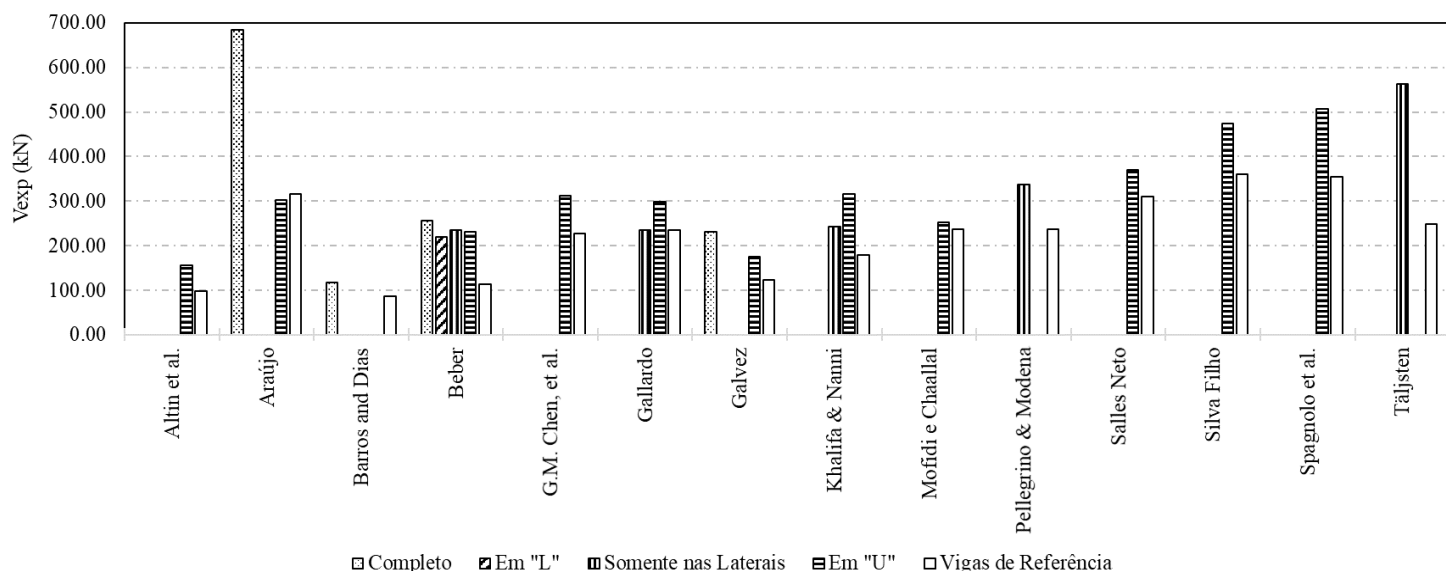


Figura 6 – Carga Experimental de Ruptura x Método de Colagem do PRFC.

Fonte: autor

Os resultados da análise estatística das combinações realizadas estão expostos na Tabela 3, onde estão dispostos a média, o desvio padrão, o coeficiente de variação e a porcentagem de resultados contra a segurança – que possuem relação V_{exp}/V_{teo} menor que a unidade.

Cálculo de V_c e V_{sw}	Cálculo de V_{prfc}	Média	Desvio Padrão	Coeficiente de Variação	Resultados Contra a Segurança
NBR 6118	ACI 440	1.13	0.28	24.8%	37.8%
	FIB	1.01	0.23	22.4%	55.1%
	Chen & Teng	1.17	0.23	19.3%	24.5%
ACI 318	ACI 440	1.23	0.32	26.1%	25.5%
	FIB	1.09	0.25	23.3%	39.8%
	Chen & Teng	1.28	0.25	19.7%	14.3%
Zsutty	ACI 440	1.02	0.24	23.1%	53.1%
	FIB	0.92	0.20	21.5%	63.3%
	Chen & Teng	1.06	0.21	19.5%	37.8%

Tabela 3 – Análise estatística das vigas reforçadas ao cisalhamento com PRFC.

A tabela nos mostra que a combinação ACI 318-Chen & Teng possui a maior média e a menor quantidade de resultados contra a segurança, entretanto, nota-se que ela apresenta um desvio padrão mais elevado que outras cinco combinações e, além disso, aparente ter um conservadorismo em nível excessivo.

O menor desvio padrão foi verificado na combinação Zsutty-FIB, no entanto, a quantidade de resultados contra a segurança foi a mais alta, alcançando quase 50% de todas as vigas analisadas. Verifica-se que combinando Zsutty com Chen & Teng o

desvio padrão ainda se mantém, relativamente, baixo, mas neste caso uma redução nos resultados contra a segurança.

Analisando os resultados das combinações da NBR 6118, verifica-se que os melhores resultados foram obtidos a partir da combinação com Chen & Teng, verificando-se, para este caso, uma média acima da unidade, mas não tão conservadora quando aquela resultante da combinação com o ACI 318, e o segundo mais baixo desvio padrão, além de uma quantidade, relativamente, pequena de resultados contra a segurança.

Na Figura 7 estão distribuídos os resultados de cada viga, considerando cada combinação de cálculo, separados por modelo de cálculo do cisalhamento. Verifica-se nos três gráficos que as combinações que melhor favorecem a segurança se dão por meio da combinação dos modelos de cálculo do cisalhamento com Chen & Teng, que ainda apresenta nos três gráficos o melhor ajustamento à tendência linear, o que é observado pelo valor de R^2 mais próximo da unidade. Isso significa uma menor dispersão dos resultados em torno da regressão linear.

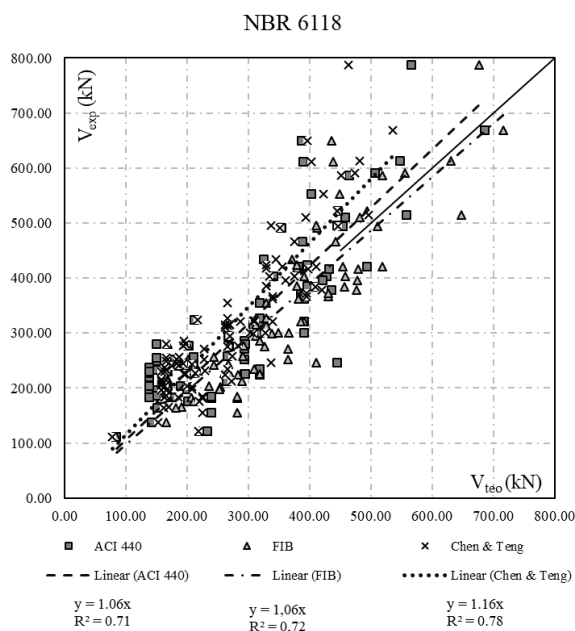


Figura 7a – Distribuição de resultados das combinações a partir da NBR 6118.

Fonte: autor

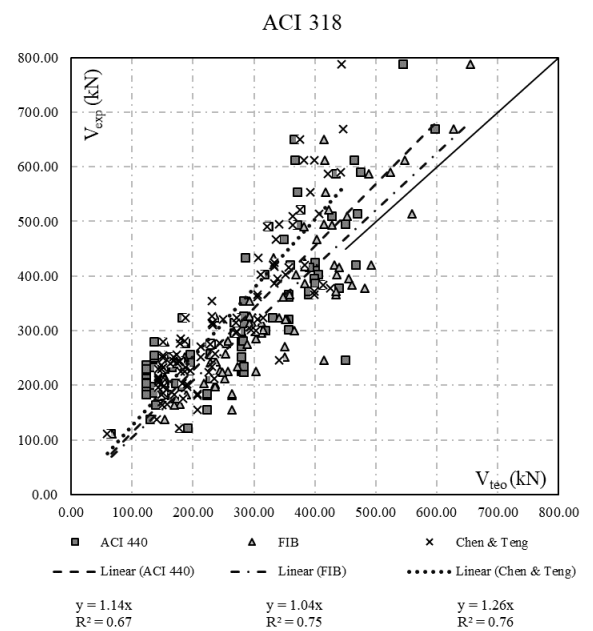


Figura 7b – Distribuição de resultados das combinações a partir do ACI 318.

Fonte: autor

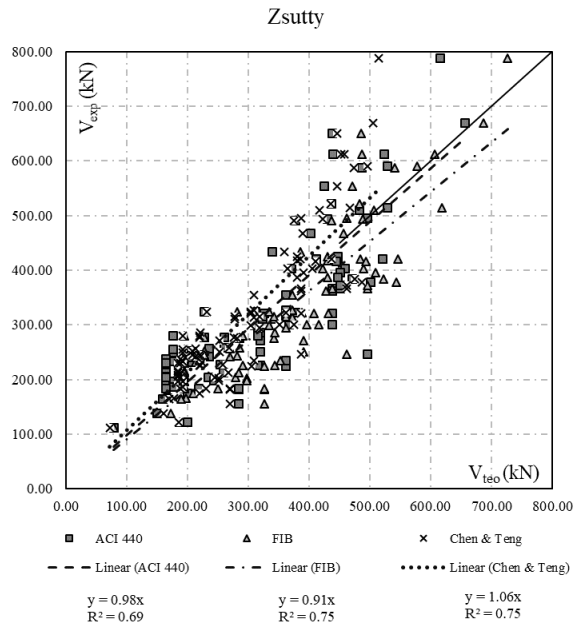


Figura 7c – Distribuição de resultados das combinações a partir de Zsutty.

Fonte: autor

Ainda na parte de análise estatística, foi realizado um gráfico de diagrama de caixa que expressa a variabilidade de V_{exp} / V_{teo} para as 9 combinações de cálculo, conforme Figura 8.

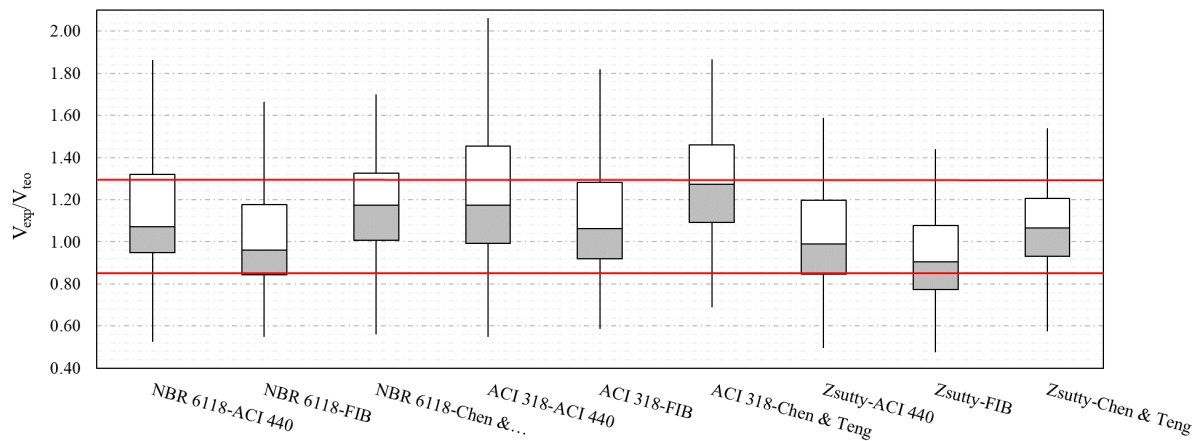


Figura 8 – Diagrama de Caixa de V_{exp}/V_{teo} por Combinação de Cálculo.

Fonte: autor

O diagrama de caixa, mostrado na Figura 8, divide os resultados de cada combinação em quatro quartis. A caixa central representa o segundo e terceiro quartis, e a linha que divide essa caixa central em duas partes distintas representa a média dos resultados calculados. As linhas horizontais vermelhas representam os limites inferior e superior da faixa considerada de segurança apropriada pelo Critério de COLLINS (2001), adaptado por MORAES (2013), que são iguais a, respectivamente, 0,85 e 1,30.

É notável que as combinações realizadas a partir do ACI 318 geraram resultados mais conservadores, nos quais o terceiro quartil extrapolou o limite superior do Critério de COLLINS (2001), adaptado por MORAES (2013), e a média dos resultados esteve acima da unidade.

Analisando as outras combinações, nota-se que a combinação NBR 6118-FIB, Zsutty-ACI 440 e Zsutty-Chen & Teng o segundo e terceiro quartil dentro dos limites do Critério de COLLINS (2001), adaptado por MORAES (2013), mas a média de resultado da combinação Zsutty-ACI 440 esteve ligeiramente abaixo da unidade. Quanto à combinação Zsutty-Chen & Teng, essa apresentou uma menor dispersão dos quartis centrais em relação à outras, e ainda apresentou média acima da unidade.

Os resultados da análise pelo critério de COLLINS (2001), adaptado por MORAES (2013), para cada combinação estão expostos na Figura 9. Por meio dela, verifica-se que as menores penalidades são aplicadas às combinações: NBR 6118-Chen & Teng e Zsutty-Chen & Teng.

É importante, no entanto, verificar a distribuição de penalidade em cada combinação, uma vez que o método penaliza não apenas valores cuja relação V_{exp}/V_{teo} esteja abaixo da unidade. Essa distribuição de resultados está exposta na Figura 10. Por meio dela pode-se verificar que, no geral, as combinações a partir do ACI 318 geram poucos resultados abaixo da segurança apropriada, no entanto, há muitos resultados conservadores, como constatado pelo diagrama de caixa.

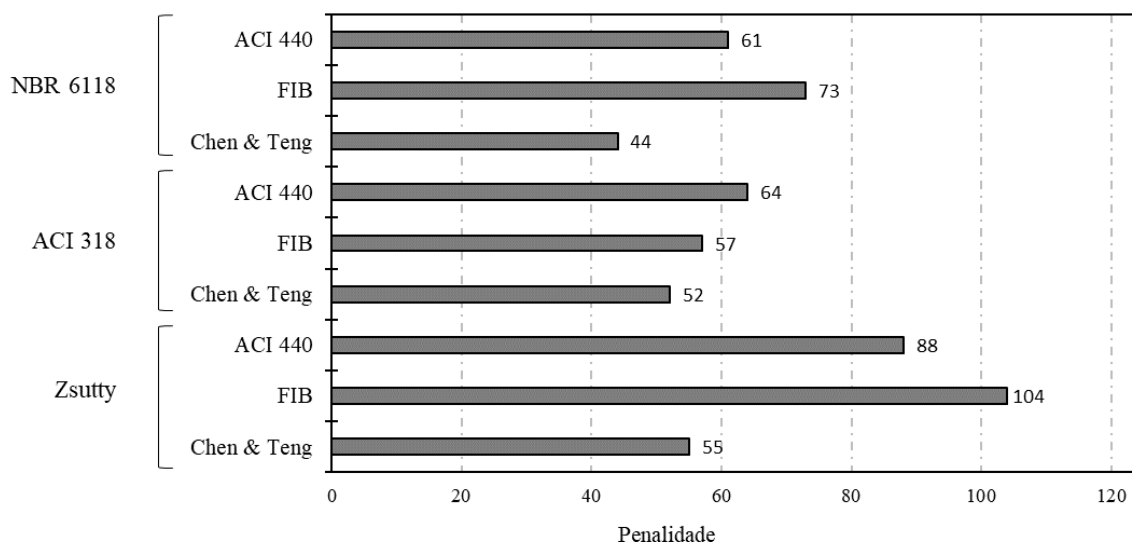


Figura 9 – Penalidade de COLLINS (2001), adaptado por MORAES (2013), aplicada em cada combinação.

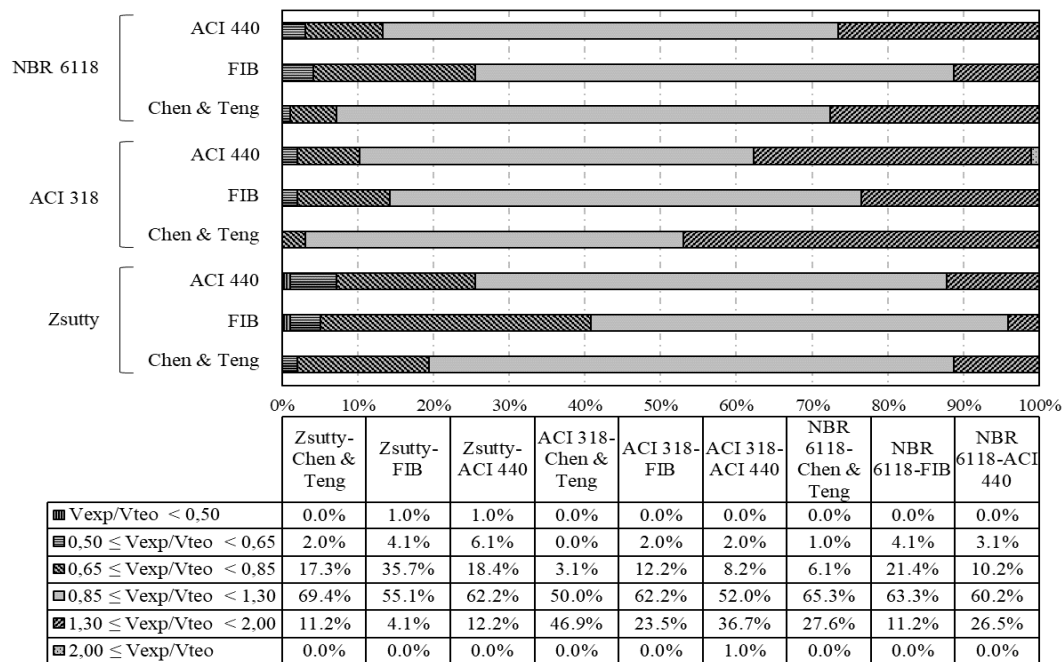


Figura 10 – Distribuição das vigas segundo o critério de COLLINS (2001), adaptado por MORAES (2013).

Verifica-se que a ABNT NBR 6118 (2014) apresenta menos conservadorismo que o ACI 318 (2011) e, também, uma distribuição melhor, como se pode verificar na combinação entre a NBR 6118-Chen & Teng, que não apresentou nenhum resultado na faixa “Extremamente Perigoso”, e apresentou apenas 1,0% de resultados na faixa “Perigoso” e 6,1% na faixa “Baixa Segurança”.

A partir de Zsutty começa a se observar uma maior quantidade de resultados abaixo da faixa de “segurança apropriada”, quando combinado com o ACI 440 e o FIB. No entanto, a combinação Zsutty-Chen & Teng não apresentou nenhum resultado na faixa “Extremamente Perigoso”, e apenas 1,0% de resultados na faixa “Perigoso”, mas 18,4% na faixa “Baixa Segurança”.

5 | CONCLUSÕES

Por meio dos resultados obtidos neste trabalho, pode-se concluir que as combinações entre os modelos de cálculo da parcela de resistência ao cisalhamento provida pelo concreto e armadura transversal e os modelos de cálculo da resistência provida pelo reforço com PRFC podem ser utilizados efetivamente para prever a capacidade resistente real de uma viga reforçada, dentro das margens de erro de cada modelo.

Foi possível observar que o ACI 318 é mais conservador na previsão da capacidade resistente ao cisalhamento provida pelo concreto e aço, em relação à NBR 6118 e ao modelo de Zsutty, sendo este o menos conservador. Quanto aos modelos de previsão da

capacidade resistente provida pelo reforço, o modelo do FIB apresentou os resultados menos conservadores, enquanto o modelo de Chen & Teng foi o mais conservador. O modelo do ACI 440.2R apresentou resultados intermediários.

Combinando modelos, os melhores resultados observados foram resultantes das combinações NBR 6118-Chen & Teng e Zsutty-Chen & Teng, por terem aproximado os resultados experimentais da previsão teórica com maior acurácia e, além disso, terem apresentado mais resultados a favor da segurança sem, no entanto, apresentarem tanto conservadorismo quanto as combinações obtidas a partir do ACI 318.

A combinação Zsutty-Chen & Teng apresentou mais resultados contra a segurança que a combinação NBR 6118-Chen & Teng, que por sua vez apresentou melhores resultados em relação às outras combinações, considerando os parâmetros e aspectos aqui avaliados e pontuados. Cabe ressaltar que a combinação Chen & Teng apresentou bons resultados em todas as combinações. Isso resulta de uma série de fatores que são levados em consideração neste modelo de cálculo do reforço.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento**. Rio de Janeiro. 2014.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **ACI 318M-11 - Building Code Requirements for Structural Concrete**. Farmington Hills, MI. 2011.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **ACI 440.2R-17 - Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures**. Farmington Hills, MI. 2017.

AKROUSH, E. A. **CFRP shear strengthening of reinforced concrete beams in zones of combined shear and normal stresses**, 2016.

ALTIN; et al. **Journal of Reinforced Plastics and Composites**, v. 29, n. 19/2010, 2010.

ALTOQI, 2010. Disponível em: <http://faq.altoqi.com.br/content/268/653/pt-br/dimensionamento-de-vigas-ao-cisalhamento-_nbr-6118_2007.html>.

ARAÚJO, A. S. D. **Reforço ao cisalhamento de vigas T de concreto armado com fibra de carbono com dois tipos de ancoragem**. Brasília: Universidade de Brasília, 2002.

BARROS & DIAS. **Shear strengthening of reinforced concrete beams with laminate strips of CFRP**, 2003.

BEBER, A. J. **Comportamento Estrutural de Vigas de Concreto Armado Reforçadas com Compósitos de Fibra de Carbono**. Tese de Doutorado em Engenharia. Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

BUKHARI, E. A. **Shear strengthening of reinforced concrete beams with CFRP**, 2010.

CARVALHO, E. A. **Cálculo e Detalhamento de Estruturas Usuais de Concreto Armado**. 4ª. ed. São Carlos, 2015.

- CHEN, G.M.; et al. **T-section RC beams shear-strengthened with anchored CFRP U-strips**. Composite Structures, 2016.
- CHEN, J. F.; TENG, J. G. **Shear capacity of FRP-strengthened RC beams - FRP rupture**. Construction and Building Materials, 2003.
- CHEN, J. F.; TENG, J. G. **Shear capacity of FRP-strengthened RC beams: FRP debonding**. Construction and Building Materials, 2003.
- COLLINS, M. P. **Evaluation of shear design procedures for concrete structures**. A Report prepared for the CSA technical committee on reinforced concrete design., 2001.
- FÉDÉRATION INTERNATIONALE DU BÉTON - FIB. **fib-Bulletin 14: Externally Bonded FRP Reinforcement for RC Structures** - Technical Report. 2001.
- FILHO, J. N. D. S. **Vigas T em concreto armado reforçadas ao cisalhamento com compósito de fibra de carbono**. Brasília: Universidade de Brasília, 2001.
- GALLARDO, G. D. O. **Reforço ao esforço cortante em vigas de concreto aplicando-se folhas flexíveis de fibra de carbono pré-impregnadas**. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 2002.
- GALVEZ, L. E. M. **Reforço estrutural à força cortante em vigas de concreto armado por meio de colagem externa de mantas flexíveis de fibras de carbono (PRFC)**. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 2003.
- GUEDES, D. M. R. **Análise de Modelos de Cálculo de Vigas de Concreto Armado Reforçadas ao Cisalhamento com PRFC**. 2018. Monografia de projeto final (Bacharelado em Engenharia Civil) - Graduação, Universidade de Brasília, 2018.
- KHALIFA, AHMED; ET AL. **Improving shear capacity of existing RC T-section beams using CFRP composites**. Cement & Concrete Composites, 2000.
- KHALIFA, E. A. **Contribution of externally bonded FRP to shear capacity of RC flexural members**, 1998.
- LOTURCO, B. **Téchne Pini**, 2017. Disponível em: <<https://techne.pini.com.br/2017/05/saiba-tudo-sobre-reforco-estrutural-com-fibra-de-carbono/>>.
- MACHADO, A. D. P.; MACHADO, B. A. **Reforço de Estruturas de Concreto Armado com Sistemas Compostos FRP - Teoria & Prática**, PINI. 2015.
- MENDOÇA, P. D. T. R. **Materiais Compostos e Estruturas–Sanduíche: Projeto e Análise**. Barueri, São Paulo: Manole, 2005.
- MOFIDI & CHAALLAL. **Shear strengthening of RC beams with externally bonded FRP composites effect of strip-width-to-strip-spacing ratio**. Journal of Composites for Construction - ASCE, 2011.
- MOLINA, J. L. **Refuerzo a flexión de vigas de hormigón mediante polímeros reforzados con fibra de carbono**. Universitat Politècnica de València, Escola Tècnica Superior de Gestió en l'Edificació , Valencia, 2013.
- MORAES NETO, B. N. **Comportamento à punção de lajes lisas em concreto reforçado com fibras de aço sob carregamento simétrico**. Brasília: Universidade de Brasília, 2013.
- NETO, M. S. **Comportamento ao cisalhamento de vigas “T” de concreto armado reforçadas com compósito de fibra de carbono**. Brasília: Universidade de Brasília, 2000.

PELLEGRINO & MODENA. **Fiber reinforced polymer shear strengthening of reinforced concrete beams with transverse steel reinforcement.** *Journal of Composites for Construction*, 2002.

PÉREZ, A. F. **Reforço de vigas ao cisalhamento com compósito de fibra de carbono (PRFC).** 2016.

REBEIZ, K. S. **Shear strength prediction for concrete members.** *Journal of Structural Engineering*, v. 125, n. 3, 1999.

REFORCO DE ESTRUTURAS, 2016. Disponível em: <www.reforcodeestruturas.com.br>.

SHACKELFORD, J. F. **Ciência dos Materiais.** 6^a. ed. São Paulo: PEARSON, 2008.

SPAGNOLO; ET AL. **Vigas T de concreto armado reforçadas à força cortante com compósito de fibras de carbono,** v. 6, 2013. ISSN 1.

SWAMY, R. N.; MUKDHOPADHYAYA, P. **Debonding of carbon-fibre-reinforced polymer plate from concrete beams.** 1999.

TÄLJSTEN, B. **Strengthening concrete beams for shear with CFRP sheets.** *Construction and Building Materials*, 2003.

TENG, C. A. **Shear strengthening of reinforced concrete (RC) beams with fibre-reinforced polymer (FRP) composites,** 2008.

ZALDIGAIN, 2016. Disponível em: <www.zaldigain.com>.

ZSUTTY, T. C. **Beam Shear Strength Prediction by Analysis of Existing Data,** 1968.

VIAPOL, 2016. Disponível em: <www.viapol.com.br>.

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

Coeficiente 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