



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

ENSAIOS DE PROVA DE CARGA EM ACORDO COM A NBR 9607 (ABNT, 2012): ESTUDO DE CASO

Data de aceite: 01/06/2020

Data da submissão: 03/03/2020

Clayton Reis de Oliveira

Universidade do Estado de Minas Gerais –
UEMG, Curso de Engenharia Civil
Passos – MG.

<http://lattes.cnpq.br/4731181171706760>

Armando Lopes Moreno Júnior

Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP,
Faculdade de Engenharia Civil, Departamento de
Estruturas
Campinas – SP.

<http://lattes.cnpq.br/5004049383694261>

Luis Gustavo Simão de Oliveira

Universidade Federal de São Carlos - UFSCar
São Carlos – SP.

<http://lattes.cnpq.br/8242426902508855>

RESUMO: O teste de prova de carga proporciona a análise com grande precisão do comportamento real da estrutura, por se tratar de um teste executado na mesma englobando assim, todas as singularidades que o elemento estrutural possa ter sofrido durante sua confecção e utilização que possa afetar o seu funcionamento (falhas no projeto e execução da estrutura, omissão de manutenção, utilização

incorreta, exposição a intempéries entre outros). A norma nacional NBR 9607 (ABNT, 2012) recomenda a utilização do teste de prova de carga nas seguintes situações: dúvidas quanto a qualidade dos materiais de construção, utilização ou manutenção inadequada ou até mesmo uma nova utilização da edificação, diferente daquela inicialmente prevista no projeto. Esta pesquisa almeja apresentar os critérios mais importantes que devem ser considerados em uma prova de carga. Expor os procedimentos recomendados por norma, destacando os seguintes tópicos: prova de carga, recomendações para o ensaio de prova de carga, intensidade da carga aplicada, forma de aplicação do carregamento e os critérios de avaliação do ensaio. A partir da fundamentação teórica, fez-se um estudo de caso aplicando tais critérios e analisando seus resultados e definindo a carga a ser suportada pela estrutura analisada.

PALAVRAS-CHAVE: Avaliação estrutural, prova de carga, estruturas e concreto.

LOAD PROOF TEST IN ACCORDANCE WITH NBR 9607 (ABNT, 2012): CASE STUDY

ABSTRACT: The load proof test provides a very accurate analysis of the actual behavior of

the structure, since it is a test performed on it, thus encompassing all the singularities that the structural element may have suffered during its construction and use that may affect its performance (design failures and structure execution, maintenance omission, misuse, weather exposure, etc.). National standard NBR 9607 (ABNT, 2012) recommends the use of the load proof test in the following situations: doubts about the quality of the building materials, improper use or maintenance or even a new use of the building, different from the one originally foreseen. This research aims to present the most important criteria that should be considered in a load test. Expose the procedures recommended by standard, highlighting the following topics: load test, recommendations for the load test, applied load intensity, form of application of the load and the test evaluation criteria. From the theoretical foundation, a case study was done applying these criteria and analyzing their results and defining the load to be supported by the analyzed structure.

KEYWORDS: Structural evaluation, load test, structures and concrete.

1 | INTRODUÇÃO

As estruturas em concreto armado devem ser projetadas e construídas para que atendam requisitos de segurança, funcionalidade e estéticos que lhe sejam exigidos em função das solicitações e influências ambientais que atuam sobre elas durante seu período de vida útil. Nos últimos anos tem se observado grande degradação de estruturas em virtude de determinadas manifestações patológicas, associadas ao uso ou ambiente em que estas estruturas estão inseridas. Em várias partes do mundo tem-se verificado uma significativa degradação das estruturas de concreto armado, seja devido a exposições em ambientes agressivos, ao envelhecimento ou até mesmo a modificação do uso inicialmente previsto em projeto.

A construção de novas estruturas é tarefa difícil, especialmente se levarmos em consideração o grande volume de capital e tempo envolvidos. Entretanto, muitas estruturas podem ser utilizadas sem implicações de segurança, mediante uma avaliação estrutural. Nessa perspectiva, segundo Plewes e Schousboe (1967) duas alternativas podem ser empregadas na avaliação de uma estrutura existente: o método analítico ou o método experimental.

Assim, Doebelin (1990) salienta que os métodos analíticos exigem aplicações de hipóteses matemáticas, com o problema real simulado através de modelagem numérica. Em relação aos métodos experimentais, o autor observa que os mesmos revelam o comportamento real da estrutura sob carga. O teste de carregamento direto nessas estruturas - a chamada “prova de carga” é o meio aconselhado para resolver o problema. Desta forma, deve ser observado que o julgamento da real capacidade resistente de estruturas, de forma a orientar prováveis reforços (quando necessários) não pode ser exclusivamente assentado em procedimentos analíticos. O teste de carregamento direto

é o meio aconselhado para resolver o problema, pois ao colocarmos as estruturas nas condições para as quais foram projetadas, estaremos em condição de observar o seu real comportamento.

Buscando contribuir com a temática envolvendo testes de carregamentos em estruturas, esta pesquisa fez um levantamento geral dos aspectos normativos estabelecidos na NBR 9607 (ABNT, 2012) - “Concreto endurecido - prova de carga em estruturas de concreto armado e protendido” e, como relevância pragmática apresentou resultados obtidos em um ensaio real de uma estrutura.

2 | FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Descreve neste capítulo os principais conceitos envolvendo um teste de prova de carga, sua definição, recomendação de quando se deve utilizar tal ensaio, intensidade da carga de prova, formas de aplicação, os critérios de avaliação do ensaio para a obtenção correta dos resultados e os procedimentos para realização do ensaio.

2.1 Prova de Carga

De acordo com a NBR-9607 (ABNT, 2012) prova de carga é definida como sendo um conjunto de atividades destinadas a analisar o desempenho de uma estrutura através da medição e controle de efeitos causados pela aplicação de ações externas de intensidade e natureza previamente estabelecidas.

Existem dois tipos de prova de carga: a prova de carga estática, que consiste na observação do comportamento da estrutura sob carga estática e a prova de carga dinâmica que consiste basicamente na vibração da estrutura e observação de seu comportamento quando vibrada. Esse trabalho se limitará ao primeiro caso.

Um ensaio de prova de carga estática pode ser classificado como destrutivo ou não destrutivo. O ensaio destrutivo é empregado quando o objetivo é avaliar o comportamento da estrutura até a ruína, em situação última de carregamento, enquanto que no ensaio não destrutivo a estrutura, ou elemento estrutural é carregado a níveis de serviço, sem atingir à ruptura, permitindo assim que a estrutura possa ser colocada novamente em utilização, caso os resultados sejam aceitáveis.

Desta forma, o teste envolve a análise da resposta da estrutura sob a influência das cargas e interpretação dos resultados. Via de regra, a resposta da estrutura é por intermédio de deformações e deslocamentos.

2.2 Recomendações quanto à realização de um ensaio de prova de carga

Em alguns países existem regulamentos que estabelecem que certas estruturas de uso público (como pontes, por exemplo) devam ser entregues mediante uma prova de

carga. Do mesmo modo, também estabelecem situações específicas onde uma prova de carga deve ser executada obrigatoriamente.

No Brasil, a postura adotada em relação às estruturas de concreto usuais é a de que se estas forem executadas de acordo com o projeto e se os materiais empregados forem aprovados nos ensaios de controle de qualidade, admite-se a aceitação automática da estrutura. Para as obras viárias, são empregados os mesmos critérios relativos à qualidade dos materiais, fazendo-se paralelamente uma verificação do projeto estrutural.

De acordo com a norma brasileira NBR 9607 (ABNT, 2012), uma prova de carga é recomendada em casos de eventual alteração das condições de utilização da estrutura, no caso de fases construtivas que acarretem solicitações excepcionais em parte da estrutura, após acidentes ou anomalias observados durante a execução ou utilização de uma estrutura, na falta total ou parcial de elementos de projeto, quando as condições construtivas são desconhecidas ou com a finalidade de estudar o comportamento de estruturas.

3 | INTENSIDADE DA CARGA DE PROVA

De acordo com a norma nacional inicialmente os carregamentos de prova devem ser dimensionados com base no projeto e, na ausência deste deve ser levada em consideração a utilização originalmente prevista para a estrutura.

Desta forma, propõe um valor numérico chamado de fator de carregamento que tem por finalidade indicar o nível de solicitação que deve estar submetida uma seção ou ponto da estrutura durante uma prova de carga. O fator de carregamento Ψ é expresso por:

$$\psi = \frac{F_e}{F_d} \quad (1)$$

Onde F_e é o esforço solicitante teórico devido ao carregamento da prova de carga e F_d o esforço solicitante teórico devido ao carregamento de projeto. Também são estabelecidos dois parâmetros: a eficiência do carregamento e o fator de segurança do ensaio (F_s). A eficiência do carregamento é o menor valor obtido para o fator de carregamento. Já o fator de segurança (F_s) é o menor valor obtido para as relações entre os esforços resistentes (F_u) e os esforços solicitantes (F_e) ocasionados pelo carregamento de prova, e é expresso por:

$$F_s = \frac{F_u}{F_e} \quad (2)$$

sendo, F_u o esforço resistente último teórico da seção.

Assim, os ensaios são classificados em três categorias: básicos, rigorosos e excepcionais, em função da intensidade do carregamento. A Tabela 1, apresentada

pela norma brasileira estabelece o fator eficiência do carregamento em função do tipo e emprego do ensaio de prova de carga.

Ensaio	Eficiência do Carregamento	Emprego
Básicos	$0,5 < X \leq 1,0$	- recepção de estruturas em condições normais de projeto e construção; - estudo do comportamento da estrutura.
Rigorosos	$1,0 < X \leq 1,1$	- dimensões, qualidade e/ou quantidades dos materiais não atendem aos requisitos de projeto; - desconhecimento do projeto e/ou das condições construtivas; - alteração das condições de utilização prevista para a estrutura; - após acidentes ou anomalias observadas durante a execução ou vida útil de uma estrutura.
Excepcionais	$X > 1,1$ ^(A)	- passagem de cargas excepcionais; - fases construtivas que acarretem solicitações excepcionais em partes da estrutura.

Tabela 1 – Classificação das provas de carga. Fonte: NBR 9607 (ABNT, 2012).

(A) O coeficiente de segurança do ensaio em relação ao estado limite último de estrutura deve ser superior a 1,4, salvo nas condições de levar a estrutura à ruptura, para fins de pesquisa. (NBR 9607: 2012).

Um aspecto importante a ser ressaltado é que a NBR 9607 (ABNT, 2012) designa esforços solicitantes por “F”, contrariando a NBR 8681 (ABNT, 2003), na qual a designação “F” é dada a esforços resistentes.

3.1 Forma de aplicação do Carregamento

A norma especifica primariamente que as ações impostas na estrutura podem ser de natureza estática ou dinâmica, e quanto à permanência podem ser rápidas ou lentas. O número de carregamentos parciais ou de posições de carga sobre a estrutura deve ser em função da natureza do ensaio e do conhecimento da obra. Na realidade, não especifica claramente o número necessário de incrementos de carga a serem aplicados, mas recomenda que no mínimo quatro etapas de aplicação da carga deverão ser controladas antes de ser atingido o carregamento final da prova. A análise efetuada após cada incremento de carga é imprescindível para liberação da estrutura para as etapas posteriores de carga.

Um aspecto salientado pela norma é a análise imediata dos resultados. Essa análise deve ser feita após cada etapa do carregamento e chama a atenção para as análises dos valores residuais de deslocamentos obtidos após os descarregamentos, pois esses valores podem indicar o comportamento elástico da estrutura.

3.2 Critérios de aceitação segundo a NBR 9607 (ABNT, 2012)

A referida norma estabelece que os critérios de aceitação e os cálculos das previsões dos efeitos devem ser feitos com base no projeto. Para tanto, devem ser analisados

na memória de cálculo os seguintes aspectos: critérios de projeto, normas utilizadas, materiais especificados, carregamentos de projeto, coeficientes de segurança e relações entre as quantidades de materiais resultantes do dimensionamento e as existentes na estrutura.

Nos casos onde os registros técnicos são insuficientes ou não conhecidos, as investigações sobre a estrutura devem ser desenvolvidas através de inspeções à obra e consultas relativas à época da sua execução, devendo ser avaliados os seguintes aspectos:

- a. Características geométricas: execução de plantas “como construído”, das fôrmas, vinculações, juntas, etc.;
- b. Utilização prevista originalmente para a estrutura: sua finalidade original ou classe de rodovia ou ferrovia para a qual foi projetada;
- c. Condições de solicitações a que a estrutura já foi submetida: intensidade e frequência das cargas atuantes;
- d. Idade da estrutura;
- e. Normas vigentes por ocasião de sua execução: hipóteses de cálculo, materiais disponíveis, coeficientes de segurança prescritos;
- f. Análises de obras similares construídas na mesma época.

3.3 Execução de uma Prova de Carga Estática

3.3.1 Planejamento

Em trabalho de Bares e Fitzsimons (1975), é observado que a prova de carga propriamente dita pode começar somente depois que o procedimento inteiro foi planejado.

A primeira definição clara é o que se pretende analisar com o teste, pois as provas de carga constituem parâmetros tanto para verificar o comportamento último quanto em serviço, de uma estrutura ou elemento estrutural.

Definido a finalidade do ensaio, inicia-se então o processo de planejamento de todas as etapas do processo. Nesse sentido, nos casos de testes em estruturas é sugerida uma ampla interação entre a equipe responsável pelo teste e os engenheiros projetistas (quando possível).

Assim, cálculos são feitos para uma garantia prévia de orientações antes dos testes serem conduzidos, pois serão utilizados para estimarem a intensidade de carregamento e o valor das deformações a serem medidas. Também podem ser usados para julgar o procedimento esperado da prova de carga e a resposta da estrutura de maneira esperada.

3.3.2 *Trabalhos preliminares ao ensaio*

Na fase de preparação, a estrutura deve ser submetida a uma análise preliminar feita em primeira instância de forma visual. Esta análise deve ser convincente ao mostrar a necessidade do teste em si, pois ela determinará em que sentido os trabalhos devem ser conduzidos.

A norma NBR 9607 (ABNT, 2012) especifica que:

“Para efetivação de uma prova de carga é necessário o conhecimento das reais condições da obra em todos os seus aspectos, como projeto, materiais, controle de execução e estado de conservação e utilização”.

Uma avaliação estrutural é uma complexa interação entre dados ambientais e estruturais, dados de inspeções visuais, dados de testes in situ e de laboratórios de investigação.

Para atingir os objetivos propostos, a estrutura e todas suas partes deverão ser inspecionadas em detalhes para verificar se a construção satisfaz, pelo menos visualmente, todas as exigências mostradas no projeto (quando houver). Atenção deve ser dada ao estado de conservação dos materiais constituintes e se existem sinais aparentes de deterioração desses materiais.

3.3.3 *Instrumentação da estrutura e tipos de carregamentos utilizados*

Cánovas (1988) observa que as provas de carga são, em geral, caras e complexas e podem em alguns casos, ser perigosas. E por isso é preciso estudar muito detalhadamente toda a disposição de instrumentos, bem como das cargas, com o objetivo de simplificar o processo o máximo possível. Da mesma maneira, devem-se tomar medidas que impeçam o colapso estrutural no caso de ruptura na área ensaiada.

Atenção especial deve ser dada na etapa de instalação dos instrumentos de medidas. Muitos equipamentos exigem cuidados especiais na instalação, no caso do uso de sensores, a superfície de fixação deve ser preparada. Já os equipamentos mecânicos devem ser fixados na estrutura de forma nivelada.

A confiabilidade de um ensaio de prova de carga segundo Palazzo (2002) está relacionada com a qualidade dos instrumentos utilizados, sendo, portanto necessário que o uso de um determinado tipo de instrumento tenha sido previamente determinado de acordo com os objetivos do ensaio e dos resultados.

Um plano geral deve ser elaborado constando claramente seções e detalhes dos pontos a serem instrumentados, contendo: localizações, quantidade, e instalação detalhada de cada instrumento. As especificações devem apontar os responsáveis por cada atividade (instalação, calibração, manutenção, coleção de dados, e avaliação) e

fornecer instruções detalhadas para cada atividade. Outra etapa de grande importância é o tipo de carregamento a ser utilizado no ensaio. Cabe reiterar que, o carregamento de prova está associado à disponibilidade de materiais e é função do tipo de elemento que se pretende ensaiar, no caso de lajes, por exemplo, podem ser utilizados água, macacos hidráulicos, agregados ou sacos de areia. Já no caso de pontes rodoviárias e ferroviárias rotineiramente utiliza-se veículos próprios (ou adaptados) para esse fim.

3.3.4 Execução do ensaio

Palazzo (2002), descrevendo sobre a execução de provas de carga estática, comenta que o ensaio só é efetivado após todas as verificações e estudos necessários ao conhecimento da concepção da estrutura, o seu comportamento teórico frente aos carregamentos previstos para o ensaio e finalmente ao planejamento de toda logística como os tipos, números e posicionamento dos equipamentos, equipe envolvida, atividade envolvida por cada membro da equipe, tipo de carregamento a ser aplicado, duração do ensaio, etapas de carregamento, controle dos resultados, verificação dos efeitos observados, coleta e armazenamento dos dados.

Definido o tipo de carga a ser utilizado o processo de carregamento da estrutura deve ser feito de forma contínua, de modo a não causar impactos na estrutura. Após a aplicação de cada incremento a estrutura deve ter seu comportamento analisado, verificando as deformações e os deslocamentos e comparando com o modelo analítico. Atenção deve ser dada quanto à existência de sinais de ruptura nos elementos. Essa análise permite observar o aparecimento de fissuras e se a estrutura está se comportando de modo como esperado.

Ao se aplicar todo o carregamento, a estrutura deverá ser submetida a avaliações e comparações dos dados coletados com a resposta esperada, baseando-se em critérios de aceitação. Após essa etapa, passa-se então para a fase de descarregamento que também deve ser criteriosamente analisada através de coleta de dados e comparação com o comportamento na fase de carregamento. As comparações na fase de descarga permitem a verificação do comportamento elástico da estrutura.

A norma brasileira de projetos de estruturas de concreto, NBR 6118 (ABNT, 2014) “Projeto de estruturas de concreto - Procedimento” observa que quando for constatada a não conformidade final de parte ou do todo da estrutura, deve ser escolhida uma das seguintes alternativas:

- a. Determinar as restrições de uso da estrutura;
- b. Providenciar o projeto de reforço;
- c. Decidir para demolição parcial ou total.

3.3.5 Término das atividades

Encerradas todas as atividades, deverá ser elaborado um relatório do ensaio contendo as informações observadas na estrutura. A NBR 9607 (ABNT, 2012) recomenda que o relatório deva constar: identificação (da estrutura, proprietário, executor do ensaio, etc.), objetivo da prova, estado de construção da estrutura, estudo teóricos prévios, carregamento do ensaio, aparelhos de medidas, controles efetuados durante o carregamento da estrutura, definições das condições de utilização da estrutura e conclusão.

Desde a decisão de se executar uma prova de carga, sua execução, controle e relatório final do ensaio, a norma traça um fluxograma mostrado na Figura 1 a seguir que pode ser utilizado como parâmetro de um breve roteiro das atividades desenvolvidas em um ensaio de prova de carga.

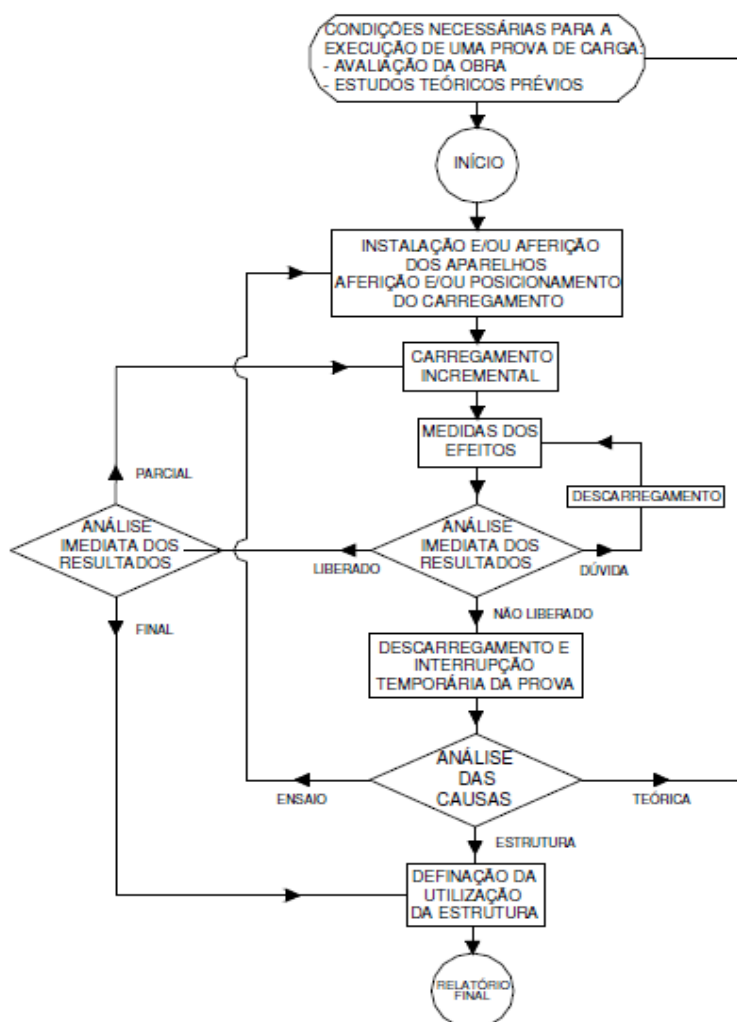


Figura 1: Fluxograma das atividades de controle de uma prova de carga. NBR 9607 (ABNT, 2012).

4 | METODOLOGIA DE PESQUISA

Este artigo pode ser considerado como uma pesquisa bibliográfica, tendo em vista o referencial teórico presente no capítulo 2. Todavia, do ponto de vista de aplicação prática pode-se conceituá-lo como um estudo de caso, visto que é apresentado um exemplo a ser analisado no capítulo subsequente. Assim sendo, para cumprir com os objetivos propostos a metodologia desenvolvida na elaboração deste trabalho se dividiu em duas etapas, a saber:

- Levantamento bibliográfico: Nesta etapa procurou levantar os principais conceitos e definições sobre o ensaio de Prova de Carga, apresentando todas as recomendações propostas pela norma brasileira;
- Estudos de caso: A partir do embasamento teórico descrito foi possível apresentar um exemplo de ensaio de prova de carga executado pelo Prof^o. Dr. Armando Lopes Moreno Júnior, mostrando-se factível expor todo o procedimento e critérios adotados.

5 | ESTUDO DE CASO

É de grande importância para o desenvolvimento científico apresentar exemplos práticos a partir de teorias e recomendações extraídas por normas técnicas, livros e recomendações de autores consagrados. Com este pensamento, apresenta-se um exemplo prático de um ensaio de prova de carga em lajes maciças em concreto armado, realizado pelo Prof^o. Dr. Armando Lopes Moreno Júnior.

O painel, em que se realizou o ensaio, corresponde ao nível intermediário de uma edificação industrial, como mostrado na Figura 2. O ambiente inferior ao painel era ocupado por laboratórios da indústria e em seu ambiente superior encontravam-se depositados materiais utilizados na produção da industrial.



Figura 2: Vista dos pavimentos inferior e superior do painel de laje a ser analisado

O pavimento em questão não possuía projeto estrutural, ou seja, não possuía especificações das dimensões dos elementos estruturais, detalhamento de suas armaduras, resistências do concreto e dos aços empregados durante a execução do painel e, também, era desconhecido o tipo de fundação empregado na obra.

O “*layout*” da fábrica passou por constantes modificações. A região superior do painel estava sendo utilizada para depósito de material da fábrica, sempre foi uma incógnita na elaboração de qualquer “*layout*”, uma vez que especificações quanto ao carregamento limite permitido à região não existiam.

Antes de submetido à prova de carga, encontrava-se atuando no painel um carregamento correspondente a aproximadamente 300 kgf/m², referente ao estoque de matéria prima da indústria. Por todo o painel empilhadeiras cuja carga total (peso da empilhadeira + carga de transporte) podia alcançar os 4.700 kgf com livre movimentação.

Assim, em oposição ao que descrito no item 2.3 sobre o nível de solicitação que deve estar submetida uma seção ou ponto da estrutura durante uma prova de carga conforme estabelecido na norma nacional, o teste em questão foi executado com o objetivo de determinar o máximo carregamento uniformemente distribuído que o pavimento analisado poderia ser submetido, com segurança.

A Figura 3 ilustra a disposição, em planta, dos elementos estruturais constituintes do painel. Pilares, vigas e lajes em concreto armado do painel analisado são ilustrados a seguir.

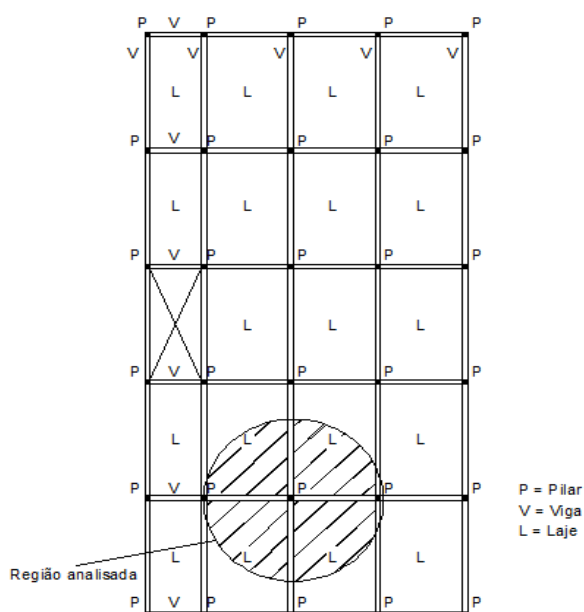


Figura 3: Disposição em planta da estrutura do painel em análise

Analisando-se a disposição dos elementos estruturais do painel ilustrado na Figura 3, notou-se uma conveniente simetria. Esta simetria foi aproveitada na definição de

uma região do painel que, uma vez submetida à prova de carga pudesse representar o comportamento do painel como um todo, ou seja, os resultados da prova de carga desta região pudessem ser tomados como representativos do comportamento geral do painel.

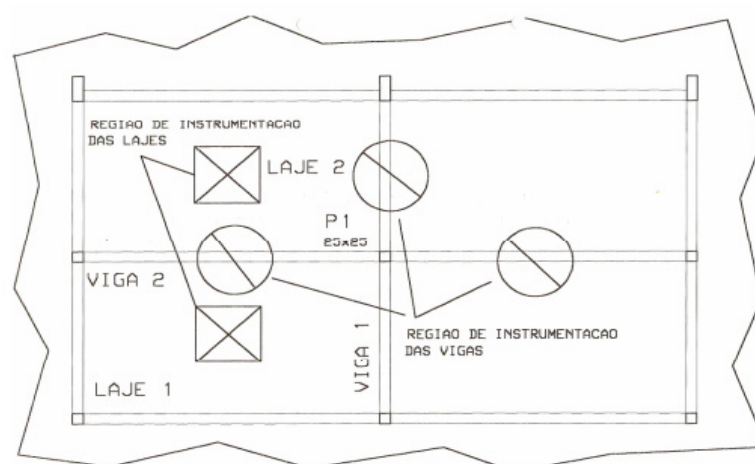


Figura 4: Região representativa do painel – região de carga

5.4 Fases da Prova de Carga

Os trabalhos relativos à prova de carga do painel de lajes em concreto armado da edificação industrial foram divididos em fases específicas, relacionadas a seguir.

- Trabalhos de Inspeção: onde os elementos estruturais do painel foram caracterizados em relação às dimensões, bitolas e disposição das armaduras longitudinais e transversais;
- Instrumentação: onde pontos escolhidos dos elementos estruturais foram instrumentados de maneira a se obter, basicamente, valores relativos às deformações nas armaduras e no concreto (deslocamentos verticais (flechas) em função da carga aplicada). Na instalação dos extensômetros elétricos, vale destacar, com o auxílio de uma talhadeira manual, removeu-se o cobrimento do concreto através de picoteamento e os instrumentos foram fixados;
- Ensaio de Caracterização: onde características mecânicas dos materiais envolvidos (concreto e aço) foram obtidas;
- Carregamento: onde a região escolhida fora carregada; com incrementos de carga e posição do carregamento controlado.

De maneira a se monitorar a variação das deformações nas armaduras dos elementos estruturais com a evolução do carregamento na região representativa do painel, as armaduras longitudinais e/ou transversais destes elementos foram instrumentadas com extensômetros elétricos de resistência. Os pontos de instrumentação escolhidos foram apresentados na Tabela 2:

Ponto de medida das deformações com a evolução do carregamento	Localização dos instrumentos de medida
V1 (meio do vão do primeiro tramo)	Na armadura longitudinal da VIGA 2 (primeira das 3 barras de 16,0 mm);
V2 (meio do vão do primeiro tramo)	Na armadura longitudinal da VIGA 2 (segunda das 3 barras de 16,0 mm);
V3 (meio do vão do primeiro tramo)	Na armadura longitudinal da VIGA 2 (terceira das 3 barras de 16,0 mm);
V4 (meio do vão do segundo tramo)	Na armadura longitudinal da VIGA 2 (primeira das 3 barras de 16,0 mm)
V5 (meio do vão do segundo tramo)	Na armadura longitudinal da VIGA 2 (segunda das 3 barras de 16,0 mm);
V6 (meio do vão do segundo tramo)	Na armadura longitudinal da VIGA 1 (primeira das 3 barras de 16,0 mm);
V7 (meio do vão do segundo tramo)	Na armadura da VIGA 1 (segunda das 3 barras de 16,0 mm);
L1	Na armadura longitudinal da LAJE 2 (barra de 6,3 mm – direção xx);
L2	Na armadura longitudinal da LAJE 2 (barra de 10,0 mm – direção yy);
L3	Na armadura longitudinal da LAJE 1 (barra de 6,3 mm – direção xx);
L4	Na armadura longitudinal da LAJE 1 (barra de 10,0 mm – direção yy)
P1	Na armadura longitudinal do PILAR 1 (primeira das barras de 12,5 mm);
P2	Na armadura longitudinal do PILAR 1 (segunda das 4 barras de 12,5 mm)
P3	Na armadura transversal (estribos) do PILAR 1 (barras de 6,3 mm a cada 20 cm).

Tabela 2: Pontos de Instrumentação

As Figuras 5 e 6 mostram detalhes da instrumentação.

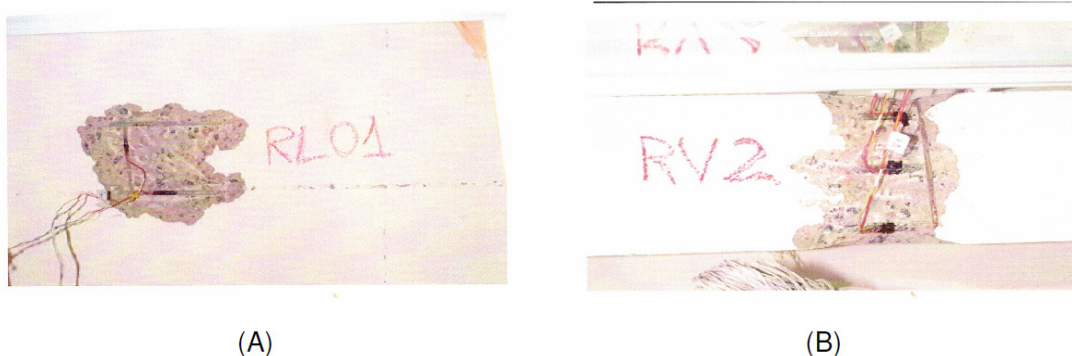


FIGURA 5: (A) Instrumentação da laje 01 (deformação nas armaduras longitudinal e transversal). (B) Instrumentação da viga V2 (deformação nas armaduras longitudinais)



FIGURA 6: Instrumentação das armaduras do pilar central (recuperação após a instrumentação)

Para o monitoramento de variação das deformações no concreto das vigas e do pilar com a evolução do carregamento na região do painel, o banzo comprimido das vigas e o pilar na região de apoio das vigas, foram instrumentados com extensômetros elétricos de resistência. Os pontos de instrumentação escolhidos são mostrados na Tabela 3.

Ponto de medida das deformações com a evolução do carregamento	Localização dos instrumentos de medida
V11 (no banzo comprimido)	Na região do meio do vão do primeiro tramo da VIGA 2 - face esquerda;
V13 (no banzo comprimido)	Na região do meio do vão do primeiro tramo da VIGA 2 face direita;
P11	No PILAR 1 – posicionado no encontro do primeiro tramo da VIGA 1 com o pilar;
P12	No PILAR 1 – posicionado no encontro do segundo tramo da VIGA 2 com o pilar;
P13	No PILAR 1 – posicionado no encontro do segundo tramo da VIGA 1 com o pilar;
P14	No PILAR 1 – posicionado no encontro do primeiro tramo da VIGA 2 com o pilar

Tabela 3: Pontos de Instrumentação

A variação dos deslocamentos verticais das vigas e das lajes e o recalque do pilar interno com a evolução do carregamento na região representativa do painel, foi observada instalando defletômetros mecânicos na face inferior das vigas e das lajes e na região de apoio das vigas com o pilar interno, como mostrados na Tabela 4.

Ponto de medida dos deslocamentos verticais	Localização dos instrumentos de medida
RL01	No meio da LAJE 01
RL02	No meio da LAJE 02
RV01	No meio do vão do segundo tramo da VIGA 1
RV02	No meio do vão do primeiro tramo da VIGA 2
RV02B	No meio do vão do segundo tramo da VIGA 2
RP1	Na região de apoio do primeiro tramo da VIGA 1 com o PILAR 1
RP2	Na região de apoio do primeiro tramo da VIGA 1 com o PILAR 1

Tabela 4: Pontos de Instrumentação

A Figura 7 mostra a instrumentação do pilar com o defletômetro mecânicos para determinação da evolução dos deslocamentos verticais com o carregamento do painel.

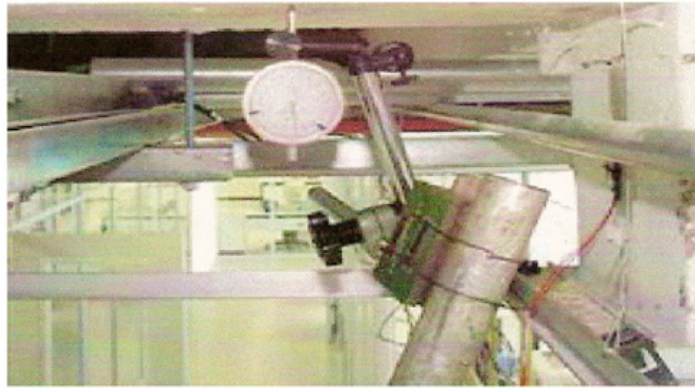


FIGURA 7: Instrumentação do pilar (recalque da fundação)

5.4 Fases da Prova de Carga

O painel foi carregado com sacos de areia de 50 kg dispostos de maneira que o carregamento em cada metro quadrado das lajes do painel fosse conhecido. Dessa forma, o carregamento da região representativa do painel a ser posta à prova, foi dividido em etapas.

A primeira etapa constava no carregamento da laje 2, a etapa seguinte correspondia ao carregamento da laje 1 mais a laje 2. A etapa 3 correspondia a carga total do painel. Já na quarta etapa, duas das maiores empilhadeiras da fábrica, com carga total de aproximadamente 4.700kg cada uma, foram colocadas em movimento sobre a região analisada. A Figura 8 mostra as etapas 2 e 4.



(A)



(B)

FIGURA 8: (A) Carregamento das lajes L01 e L02. (B) Movimentação das empilhadeiras sobre o painel

Em cada uma das etapas a região foi carregada em incrementos de carga controlados até um valor máximo de carga correspondente a 70% da deformação de início de escoamento de alguma das armaduras instrumentadas e, então, descarregada.

No caso das lajes e do pilar a deformação máxima de interrupção de carga foi tomada como 0,14%, ou seja, 70% da deformação de início de escoamento da armadura do pilar, tomada por segurança, como 0,203%.

No caso das vigas, a deformação máxima de interrupção de carga foi tomada como 0,075%, ou seja, metade da deformação máxima (0,14%) adotada para as barras de 16 mm das vigas, uma vez que estas deformações estavam sendo tomadas em região de momento positivo máximo na viga (corresponde a aproximadamente metade do valor do máximo momento negativo que ocorreria na viga, na região sobre o apoio do pilar interno).

A deformação nas armaduras foi limitada a 70% da deformação correspondente ao início de escoamento da armadura respectiva. Este procedimento foi adotado de maneira a se prevenir eventuais deformações residuais nestas armaduras ao final de cada etapa de carga.

Ao final de cada incremento de carga de cada etapa realizada, as leituras de deformação nas armaduras de deformação no concreto e de deslocamentos verticais eram anotadas, avaliando a capacidade de cada elemento estrutural e observando a ocorrência de fissuras. Durante qualquer das etapas de carga previstas nenhuma destas fissuras foi observada.

6 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com base nos resultados obtidos durante o ensaio, pôde-se perceber que o carregamento limite a ser aplicado ao painel esteve condicionado à deformação limite nas armaduras longitudinais das vigas. Pois, dos elementos estruturais analisados - lajes, vigas, pilar e bloco de fundação, a viga que mostrou a menor capacidade resistente, no caso, à flexão.

A armadura longitudinal da VIGA 02 foi a primeira a alcançar a deformação máxima estipulada (0,075%) para interrupção de carga na região representativa do painel. Este fato se repetiu para as três etapas de carga, ETAPA 1, ETAPA 2 e ETAPA 3.

Descontado desta deformação limite, a máxima deformação obtida para a armadura longitudinal referente à ETAPA 4 de carregamento do painel, ou seja, referente ao efeito das empilhadeiras carregadas pôde ser tomada como 0,023%, obtendo uma deformação limite máxima para a armadura longitudinal de 0,078%.

A esta deformação de 0,078% corresponde um carregamento distribuído de 950 kgf/m². Este carregamento máximo é representativo de uma situação de ruptura do painel, ou seja, uma vez submetida a este carregamento a estrutura pode ser danificada.

De acordo com os procedimentos atuais de dimensionamento de estruturas em concreto armado, o carregamento de ruptura ou de dimensionamento seria o carregamento atuante majorado do coeficiente de majoração dos esforços, ou seja, 1,4.

Desta maneira, tem-se como carregamento máximo permitido com segurança no painel analisado, o valor de 950/1,4, ou seja, 650 kgf/m². Este carregamento máximo permitido no painel fora limitado, principalmente, pela resistência à flexão das vigas.

Carregamentos superiores ao sugerido seriam possíveis desde que sejam tomadas providências relativas ao reforço dos elementos estruturais do painel - vigas e pilares – e relativas ao reforço das fundações.

7 | CONCLUSÕES

Tem sido verificada em várias nações incluindo o Brasil, uma degradação das estruturas de concreto armado devido ao envelhecimento e/ou por razões associadas à mudança de uso inicialmente previsto. Mas percebe-se também que muitas dessas estruturas podem ser reutilizadas mediante uma avaliação estrutural.

Um ensaio de prova de carga é o teste mais indicado quando existem dúvidas sobre o comportamento estrutural, além de mais eficiente no caso da estrutura ter sido acometida de um sinistro ou ser posta em outro uso para o qual não foi projetada. Este ensaio permite analisar o comportamento da estrutura em serviço e também estimar ações futuras a serem tomadas em eventuais medidas de reparo.

Embora constituam uma grande ferramenta para avaliação experimental das estruturas, um ensaio para ser eficiente e seguro deve ser executado dentro de padrões e especificações normativas.

Desta forma, tentando prestar grande serviço à comunidade técnico/científica da área, este trabalho apresentou os principais procedimentos de aplicação e avaliação dos resultados do ensaio conhecido como “prova de carga”, especificado pela norma nacional NBR 9607 (ABNT, 2012).

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118 - Projeto de estruturas de concreto – procedimento**. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8681 – Ações e segurança nas estruturas – procedimento**. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9607 – Concreto endurecido – prova de carga em estruturas de concreto armado e protendido**. Rio de Janeiro, 2012.

BARES, R. FITZSIMONS, N. **Load tests of buildings structures**. Journal of the Structural Division, ASCE, vol. 101, No. ST5, May, pp. 1111-1123, (1975).

CÁNOVAS, M.F. **Patologia e terapia do concreto armado**. São Paulo, (1988).

CASADEI, P., PARRETTI, R., NANI, A., HEINZE T. **In-situ load testing of parking garage rc slabs: comparison between 24-hour and cyclic load testing**. University of Missouri – Rolla, Missouri, (2003). Disponível em < <http://campus.UMR.edu/rb2c/publications/journal/2004/casa3.pdf>.

DOEBELIN, E.O. **Measurement systems - applications and design**, New York, McGraw-Hill, (1990).

OLIVEIRA, C. R. **Prova de carga em estruturas de concreto**. 2006. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. Universidade Estadual de Campinas, Campinas-SP.

PALAZZO, D. **Monitoramento de pontes por meio de levantamentos topográficos – um estudo de caso**. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal do Paraná. Curitiba, (2002).

PLEWES, W. G.; SCHOUSBOE, I. **Strength evaluation of existing concrete buildings**. ACI Committee 437, n.64-61, p.1-6, (1967).

ROCHA, P.F. **Ensaio de verificação de estruturas**. IPT, São Paulo, (1942).

ROCHA, S.F.; TERNI A.W.; FERREIRA, J.B.; MANFREDINI, C. **A flexibilidade de monitorização das provas de carga utilizando-se água**. 41º CONGRESSO IBRACON, SALVADOR, (1999).

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