



Franciele Braga Machado Tullio
Lucio Mauro Braga Machado
(Organizadores)

A Aplicação do Conhecimento Científico na Engenharia Civil

3


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 NUMÉRICA COMPARATIVA DE MODELOS APLICÁVEIS AO PROJETO DE LAJES DE CONCRETO

Data de aceite: 01/06/2020

Data de Submissão: 03/04/2020

Edmilson Lira Madureira

UFRN – Departamento de Engenharia Civil
Natal – Rio Grande do Norte
<http://lattes.cnpq.br/0666185389012179>

Eduardo Morais de Medeiros

UFCG – Departamento de Engenharia Civil
Pombal – Paraíba
<http://lattes.cnpq.br/7696115928204611>

Arthur Leandro de Azevedo Silva

UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro
Rio de Janeiro - RJ
<http://lattes.cnpq.br/3531868019218436>

Gabriel de Bessa Spinola

UFRN – Departamento de Engenharia Civil
Natal – Rio Grande do Norte
<http://lattes.cnpq.br/0584338458160579>

RESUMO: O dimensionamento de lajes de concreto armado é objeto de dissonância entre os diversos procedimentos aplicados ao cálculo dos esforços solicitantes. Mesmo os aplicativos computacionais de alto desempenho, que permitem sua modelagem refinada como elementos de placa, não lograram êxito, haja vista, a insuficiência de

conhecimento do comportamento mecânico do concreto. Procedimentos simplificados podem ser empregados para a validação de resultados obtidos mediante os códigos automáticos, que podem ser úteis, inclusive, enquanto recursos didáticos em escolas de engenharia. O objetivo deste trabalho é a análise comparativa do desempenho mecânico de lajes de concreto armado realizada sobre modelos analisados mediante diferentes procedimentos consagrados no âmbito da Mecânica Estrutural e em projetos estruturais da construção civil. Para tal serão utilizados o código computacional ABAQUS para o cálculo de lajes, alternativamente, como placas e como grelhas globais, ambas contínuas, bem como software fundamentado na formulação do Método das Grelhas, do bojo da bibliografia tradicional referente ao Projeto de Lajes de Concreto Armado.

PALAVRA-CHAVE: Concreto Armado; Lajes; Placas, Simulação.

COMPARATIVE ANALYSIS OF APPLICABLE MODELS TO THE DESIGN OF CONCRETE SLABS

ABSTRACT: The reinforced concrete slabs design is object of dissonance among the

several applied procedures to the internal forces calculation. Even the high-performance computational codes, which enable its refined modeling as plates elements, don't have success, given the insufficient knowledge of the concrete mechanical behavior. Simplified procedures may be employed for the validation of obtained results from the automatic codes, which can be useful, even while teaching resources in engineering schools. The aim of this work is the comparative analysis of reinforced concrete slabs mechanical performance carried out upon analyzed models by different procedures, enshrined in the structural mechanic frameworks and structural civil construction projects. To accomplish such a subject it is used the computational code ABAQUS for the calculation of slabs, alternatively, as plates and as global grids, both as continuous sound mass, as well as a software based on the Method of the Grids Formulation, that is a traditional bibliography theme concerning to the Design of Reinforced Concrete Slabs.

KEYWORDS: Reinforced Concrete; Slabs; Plates; Simulation.

1 | INTRODUÇÃO

O dimensionamento de lajes de concreto armado envolve tarefas de abordagem delicada haja vista o contra senso perdurado até os dias de hoje entre os diversos procedimentos aplicados ao cálculo dos esforços e deslocamentos, necessários à consecução de tal finalidade.

Mediante aplicativos computacionais de alto desempenho, a laje poderia ser modelada como elementos de placa contínua. Mesmo assim, esta solução está longe de redundar em resultados fidedignos, pois, o conhecimento da resposta comportamental do concreto ainda deve ser considerado incipiente.

A necessidade de validar os resultados obtidos mediante os códigos automáticos pode ser satisfeita a partir da utilização de procedimentos simplificados adequados ao cálculo manual.

Abordagens simplificadas são úteis, enquanto recursos didáticos em escolas de engenharia, haja vista os benefícios à sensibilidade do estudante no tocante ao desempenho mecânico dos membros estruturais envolvidos.

O objetivo deste trabalho é a análise comparativa do desempenho mecânico de lajes de concreto armado realizada mediante diferentes procedimentos do âmbito da Mecânica Estrutural e dos projetos estruturais.

Para a consecução de tais objetivos são utilizados o código computacional ABAQUS, bem como software fundamentado na formulação do Método das Grelhas, da literatura tradicional referente ao Cálculo de Lajes de Concreto.

21 FORMULAÇÃO

Conforme a Teoria Clássica da Elasticidade o Módulo de Rigidez à Flexão de placas é expresso na forma:

$$D = \frac{Eh^3}{12(1 - \nu^2)} \quad (1)$$

onde os parâmetros **E** e ν representam, respectivamente, o Módulo de Elasticidade e o coeficiente de Poisson do concreto e **h** é a espessura da placa.

A deformada da placa da Figura 1.a, mostrada na Figura 1.b, é descrita mediante a Equação Diferencial de Lagrange, ARAÚJO (2014), escrita na forma:

$$\frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} = \frac{p(x, y)}{D} \quad (2)$$

desde que **w** representa o deslocamento translacional de direção normal ao plano médio da laje e **p(x,y)** a função que descreve a distribuição da carga solicitante segundo toda a extensão de sua área.

Conforme a Teoria de Kirchhoff, os Momentos Fletores, Figura 1.c, são:

$$M_x = -D \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \nu \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right) \quad (3)$$

$$M_y = -D \left(\frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \nu \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right) \quad (4)$$

e:

$$M_{xy} = M_{yx} = -D \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} (1 - \nu) \quad (5)$$

O grupo de equações 3, 4 e 5 pode ser expresso na forma matricial:

$$\{M\} = -[D_k] \{k\} \quad (6)$$

onde:

$$\{M\} = -[M_x \quad M_y \quad M_{xy}]^T \quad (7)$$

$$[D_k] = D \begin{bmatrix} 1 & \nu & 0 \\ \nu & 1 & 0 \\ 0 & 0 & (1 - \nu)/2 \end{bmatrix} \quad (8)$$

e:

$$\{k\} = \left[\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \quad \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \quad 2 \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \right] \quad (9)$$

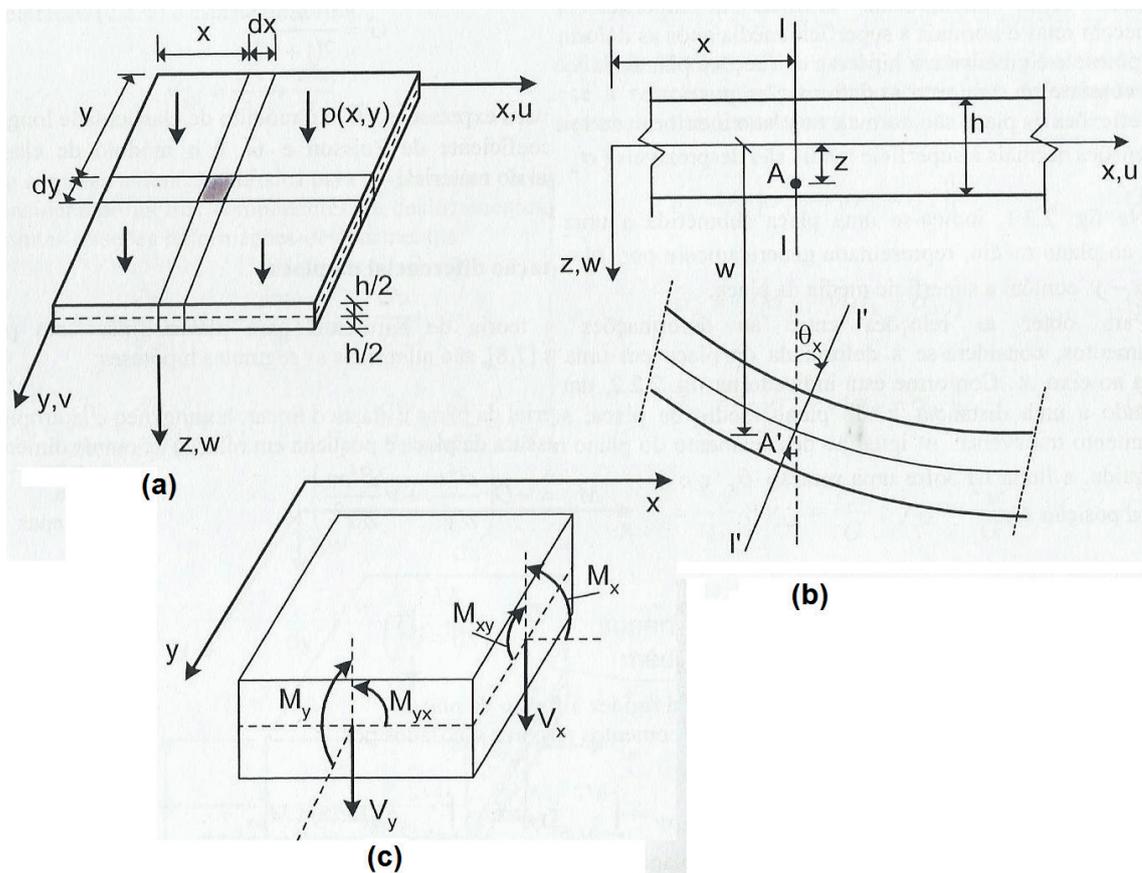


Figura 1. a) Laje; b) Deformada; c) Esforços

Considerando-se que a Teoria de Kirchhoff é válida para os casos em que a deformação cisalhante transversal é desprezível, e, portanto, tem-se, exclusivamente, deformação cisalhante torsional, a energia deformacional na placa pode ser caracterizada plenamente em termos das deformações no plano xy , ϵ_x , ϵ_y e γ_{xy} , que, por sua vez, podem ser definidas em termos do deslocamento transversal “ $w(x,y)$ ”. Para a formulação do elemento de placa de Kirchhoff, Apud COOK et al (1989), pode-se partir da energia de deformação:

$$U = \int_V \frac{1}{2} \{k\}^T [D_k] \{k\} dA \quad (10)$$

O elemento de quatro pontos nodais, figura 2, apresenta 3 graus de liberdade por ponto nodal que são o deslocamento linear transversal w , e as duas rotações em torno dos eixos coordenados $w_{,x}$ e $w_{,y}$. As funções de interpolação pertinentes associadas a elementos de n pontos nodais podem ser representadas pelo vetor:

$$\{N\} = [N_1 \ N_2 \ \dots N_{3n}] \quad (11)$$

e, o vetor dos deslocamentos nodais do elemento de placa é da forma:

$$\{d\} = [w_1 \ w_{,x1} \ w_{,y1} \ w_2 \ w_{,x2} \ w_{,y2} \ \dots w_n \ w_{,xn} \ w_{,yn}]^T \quad (12)$$

onde $w_{,xi}$, $w_{,yi}$ representam as derivadas da função $w(x,y)$ em relação às variáveis x_i e

y_i , respectivamente. O deslocamento translacional normal ao plano médio da placa, para um ponto qualquer situado em tal plano será:

$$w = [N]\{d\} \quad (13)$$

Para o vetor das curvaturas resulta a expressão:

$$\{k\} = [B]\{d\} \quad (14)$$

se $[B]$ é a matriz geométrica, neste caso de dimensão $3 \times 3n$, de modo que para k resultará vetor de dimensão igual a 3, e, o vetor dos momentos nos pontos nodais do elemento $\{M\}$ terá dimensão igual a $3n$.

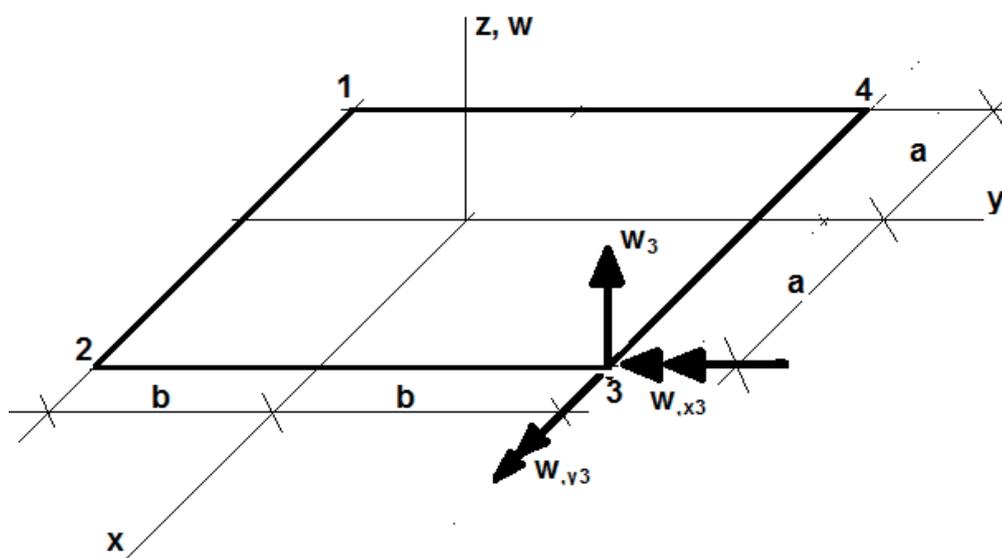


Figura 2 – Elemento de Placa de Kirchhoff de quatro pontos nodais

A caracterização do elemento de grelha tomemos no painel de laje, figura 3.a, é modelada estruturalmente a partir do traçado em linha cheia. Destacando-se o retângulo sombreado ABCD, realçado na figura 3.b, pode-se observar que o ponto ao seu centro, é comum à laje e à grelha que a modela, e apresenta os graus de liberdade, translação transversal ao plano da laje “ w ” e, rotações em torno de eixos nas direções x e y , no caso “ $w_{,x}$ ” e “ $w_{,y}$ ”, de modo que, a aproximação da laje pela grelha pode ser consistente. A grelha será discretizada com base em elementos do tipo EF, Figura 3.a. Considerando-se a aproximação como sendo linear, o elemento de grelha EF seria dotado de dois pontos nodais, cada um com três graus de liberdade, Figura 3.c. Em estreita coerência, cada um dos pontos nodais do elemento EF, seria solicitado por três esforços correspondentes a esses três graus de liberdade, que seriam um esforço cortante na direção z , um momento fletor cujo vetor alinha-se com eixo paralelo à direção do eixo “ y ” e um momento torsor cujo vetor alinha-se com o eixo paralelo à direção do eixo “ x ”, Figura 3.d.

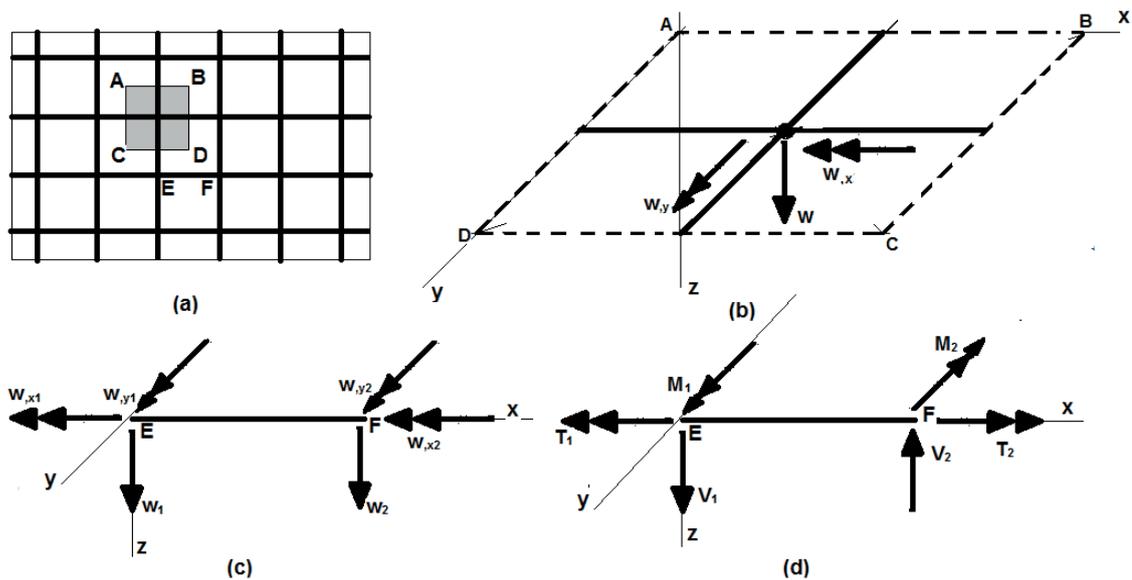


Figura 3 – Elemento de grelha

As funções de forma podem ser representadas por vetor do tipo:

$$\{N\} = [N_1 \quad N_2 \quad \dots \quad N_6] \quad (15)$$

O vetor dos deslocamentos nodais por elemento seria, então, do tipo:

$$\{d\} = [w_1 \quad w_{,x1} \quad w_{,y1} \quad w_2 \quad w_{,x2} \quad w_{,y2}]^T \quad (16)$$

e seria extraído do vetor deslocamentos de todos os pontos nodais do domínio que é obtido a partir da expressão:

$$\{\bar{d}\} = [k]^{-1} \{F\} \quad (17)$$

sendo $[k]$ e $\{F\}$ a matriz de rigidez global e o vetor das cargas nodais da estrutura, respectivamente. A equação é meramente simbólica, pois, tomada ao pé da letra presumiria a operação de inversão da matriz $[k]$. Entretanto, na prática, tal operação não é realizada, o que se faz, na verdade, é utilizar algoritmos elaborados sobre método numérico de resolução de sistemas lineares. O deslocamento translacional normal ao plano médio da grelha, para qualquer ponto de um elemento, será dado mediante forma semelhante à Equação 13.

Para a aplicação do Método das Grelhas Padrão o sistema de eixos coordenados é materializado de forma tal que os eixos são paralelos aos lados da laje, e o eixo dos “x” é paralelo à direção de maior rigidez à flexão. Os momentos fletores são expressos nas formas:

$$M_x = m_x p L_x^2; M_y = m_y p L_x^2; M_{xe} = m_{xe} p L_x^2; e, M_{ye} = m_{ye} p L_x^2 \quad (18)$$

onde “p” é a carga total que atua normalmente ao plano médio da laje e “ L_x ” é o comprimento do vão na direção de maior rigidez à flexão. “ M_x ” e “ M_y ” representam os momentos fletores positivos ao centro da laje nas direções “x” e “y”, respectivamente.

“ M_{xe} ” e “ M_{ye} ” representam os momentos fletores negativos nos bordos engastados, quando houver, nas direções “x” e “y”. Os parâmetros “ m_x ”, “ m_y ”, “ m_{xe} ”, e, “ m_{ye} ” são grandezas adimensionais de formulação própria, que se distingue, conforme as condições de vinculação dos bordos da laje.

3 | SUPORTE COMPUTACIONAL

Os resultados deste trabalho foram obtidos a partir do “software” ABAQUS com o sólido modelado, alternativamente, como placa e como grelha. O “software” adota aproximação por elementos finitos, e, inclui a formulação dos elementos de placa e de grelha tratados no item 2. Para a análise simplificada foi empregado algoritmo, desenvolvido por Madureira (2017), em linguagem C++, sobre a formulação do Método das Grelhas apresentada no item 2.

4 | VALIDAÇÃO DO PROGRAMA

A validação do ABAQUS é pautada no trabalho de Silva e Cashell (2015), referente à análise de resultados de placas quadradas em concreto de vãos iguais a 1,50 m e espessura de 60 mm, manufaturas, comparados a leituras de ensaios experimentais, constatando-se boa concordância.

5 | MODELOS ANALISADOS

A análise objeto deste trabalho será realizada sobre quatro casos cada um deles envolvendo laje constituída de quatro painéis, apoiada sobre as vigas V1, V2, V3, V4, V5 e V6, de elevada rigidez à flexão, Figura 4. As lajes apresentam espessura h uniforme e igual a 120 mm e os segmentos de reta normais ao seu plano orientam-se segundo a direção vertical.

Os referidos painéis considerados isoladamente são semelhantes em dimensões e condições de bordo. Cada um deles apresenta uma das dimensões em planta fixa e igual a 6,00 m, enquanto a outra dimensão difere caso a caso conforme coluna 2 da tabela 1.

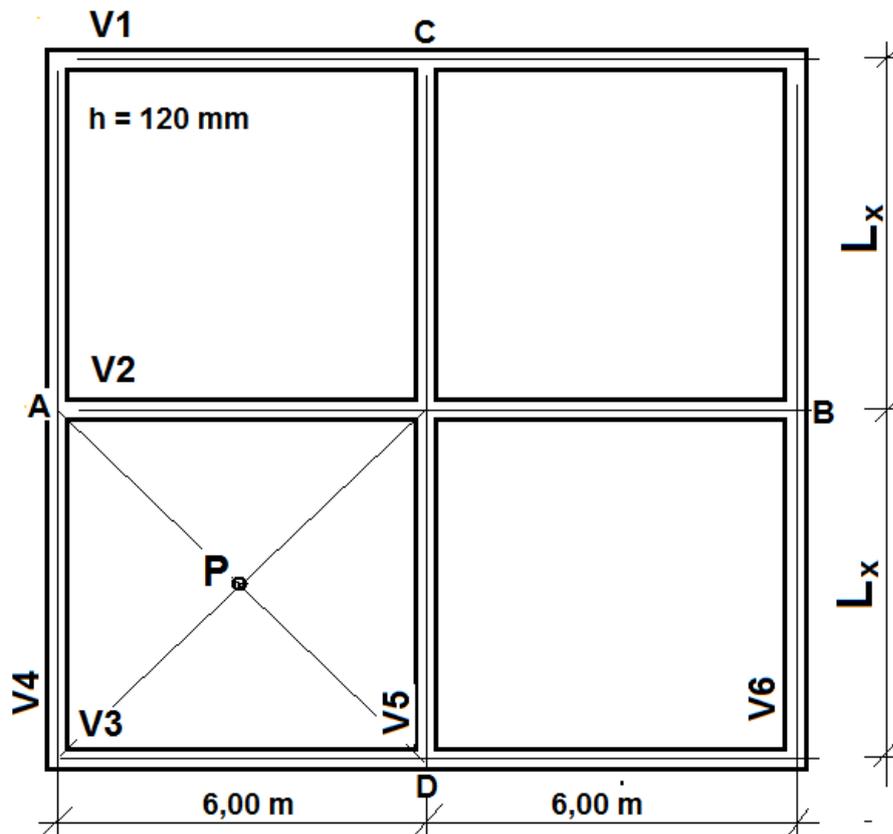


Figura 4 – Modelos analisados

As lajes são manufaturadas em concreto de Classe de Resistência à Compressão C 30, armado mediante barras longitudinais de aço **CA 50**. Os parâmetros de desempenho mecânico do concreto, no caso, o módulo de deformação secante e o coeficiente de Poisson, foram avaliados conforme as recomendações da NBR 6118/2014.

O plano médio das lajes é definido como o lugar geométrico de todos os pontos de sua massa, equidistantes em dos bordos superior e inferior.

As lajes serão submetidas a carga $3,0 \text{ kN/m}^2$, uniformemente distribuída em toda a sua extensão, de direção normal ao seu plano médio.

A análise de desempenho mecânico dos membros estruturais objeto deste artigo foi realizada considerando a massa de concreto trabalhando no regime linear elástico. Tal hipótese pode ser considerada satisfatória, haja vista que, nos casos da prática cotidiana de estruturas de construção civil as cargas solicitantes induzem estados de tensões que em pouco diferem desta realidade.

Para cada um dos casos analisados o conjunto é modelado, alternativamente, como placas, figura 5.a e como grelhas, figura 5.b. Uma vez modelado como placas, resulta o esquema estrutural da figura 5.a, no qual as linhas em tom azul coincide com o eixo longitudinal das vigas de apoio. Uma vez o conjunto modelado como grelhas, resulta o esquema estrutural da figura 5.b, no qual as linhas em tom marrom representam as barras da grelha idealizada, que são apoiadas em seus pontos de intersecção com as linhas em tom azul. A geometria do modelo de grelha dos casos estudados será definida a partir da

Figura 5.b complementada com os parâmetros das colunas 3 e 4 da tabela 1.

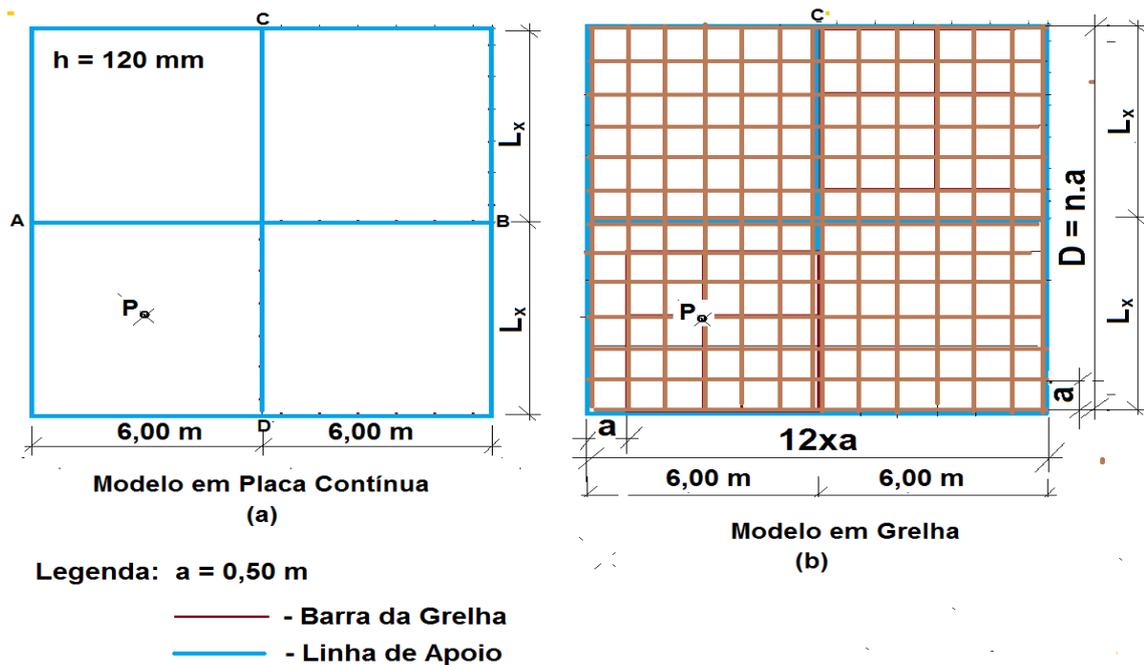


Figura 5 – Modelos Estruturais

Casos	L_x (metros)	n	D(metros)
1	3,00	6	6,00
2	4,00	8	8,00
3	5,00	10	10,00
4	6,00	12	12,00

Tabela 1 – Caracterização Geométrica

Os modelos estruturais foram discretizados a partir de elementos de placas e elementos de grelhas com dimensão da ordem de **5 cm**.

6 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Uma vez a laje tendo atingido a configuração de equilíbrio para o carregamento solicitante, os deslocamentos verticais do ponto o em seu centro, culminaram nas magnitudes apresentadas nas colunas 2, 3, e, 5 da Tabela 2.

Os resultados obtidos indicam que os deslocamentos são maiores na medida em que o comprimento do menor entre os vãos é maior. Observa-se, inclusive, como era de se esperar, que as magnitudes dos deslocamentos obtidos a partir da modelagem do membro estrutural mediante elementos de placa foram maiores do que aqueles referentes a sua modelagem a partir de elementos de grelha. O fato pode ser justificado pela consideração do coeficiente de Poisson na modelagem referente aos elementos de placa ao contrário do que acontece tratando-se dos elementos de grelha. Talvez a resposta fosse diferente, se nos elementos de placa fosse considerada a rigidez ao cisalhamento transversal.

A menor diferença foi de 3,2%, constatada para o caso 1, de maior diferença entre os comprimentos dos vãos da laje, e, a maior de 7,5%, para o caso 4, de menor diferença entre os comprimentos dos vãos.

Deslocamento Vertical (mm)			
Casos	Placa	Grelha	Placa x Grelha
1	0,3027	0,2933	3,2%
2	0,7785	0,7416	4,8%
3	1,4389	1,3396	6,9%
4	2,1636	2,0028	7,5%

Tabela 2 – Deslocamentos verticais em ponto do centro da laje

Para os Momentos Fletores ao centro da laje na direção x, por sua vez, resultaram as intensidades sumarizadas nas colunas 2, 3 e 5, da Tabela 3. Observa-se que suas magnitudes são tanto maiores quanto maior é o comprimento do menor entre os vãos. Os valores destes Momentos Fletores obtidos mediante os elementos de placa foram maiores que aqueles referentes à modelagem através de elementos de grelha o que deve ser atribuído às diferenças entre os deslocamentos citadas no parágrafo, imediatamente anterior. A menor diferença para o esforço ora em discussão foi de 1,2%, e refere-se ao caso 1, de maior diferença entre os comprimentos dos vãos, enquanto a maior foi de 17,9%, consumada no caso 4, de menor diferença entre os comprimentos dos vãos dos painéis de lajes.

Momento Positivo - direção "x" (kNm/m)					
Casos	Placa	Grelha	Placa x Grelha	Marcus	Placa x Marcus
1	1,70	1,68	1,2%	1,59	6,7%
2	2,52	2,24	11,1%	2,33	7,3%
3	3,04	2,53	16,8%	2,78	8,6%
4	3,25	2,67	17,9%	2,91	10,5%

Tabela 3 – Momentos Fletores ao centro da laje na direção x

Para o Momento Fleter negativo na seção do apoio intermediário da laje, na direção x, resultou tendência idêntica àquela reportada no parágrafo anterior, como pode ser constatado dos valores das colunas 2, 3 e 5, Tabela 4. Verificou-se menor diferença de 8,0%, para o caso 1, e maior de 8,8%, para o caso 4.

Momento Negativo - direção "x" (kNm/m)					
Casos	Placa	Grelha	Placa x Grelha	Marcus	Placa x Marcus
1	-3,01	-2,77	8,0%	-3,18	-5,6%
2	-4,74	-4,35	8,2%	-5,00	-5,5%
3	-6,16	-5,62	8,8%	-6,30	-2,2%
4	-7,15	-6,52	8,8%	-6,75	5,5%

Tabela 4 – Momentos Fletores na seção do apoio intermediário da laje na direção x

Para os Momentos Fletores ao centro da laje na direção y, por sua vez, resultaram as intensidades sumarizadas nas colunas 2, 3 e 5, da Tabela 5. Assim como ocorreu para os momentos na direção x, as intensidades dos momentos ora abordados resultaram tanto maiores quanto menor a diferença entre os comprimentos dos vãos dos painéis de laje. Observa-se que a diferença entre as intensidades desses momentos apresenta tendência peculiar. Para os casos 1 e 2 os valores obtidos a partir da modelagem de elementos de placa são menores e para os casos 3 e 4 ocorre, a situação inversa. A menor diferença foi de 3,6%, e refere-se ao caso 3, enquanto a maior foi de 17,9%, consumada no caso 4, de menor diferença entre os comprimentos dos vãos das lajes.

Momento Positivo - direção "y" (kNm/m)					
Casos	Placa	Grelha	Placa x Grelha	Marcus	Placa x Marcus
1	0,67	0,77	14,9%	0,40	40,7%
2	1,3	1,42	9,2%	1,03	20,2%
3	2,23	2,15	3,6%	1,93	13,5%
4	3,25	2,67	17,9%	2,91	10,5%

Tabela 5 – Momentos Fletores ao centro da laje na direção y

Apesar de os Momentos Fletores na seção do apoio intermediário da laje na direção y, Tabela 6, apresentarem tendência semelhante dos momentos na direção x, a diferença entre eles apresentou padrão semelhante àquele reportado no parágrafo anterior, observando-se maiores diferenças para os casos 1 e 4, e menores diferenças para os casos 2 e 3. Verificou-se menor diferença de 5,7%, para o caso 3, e maior de 10,8%, para o caso 1.

Momento Negativo - direção "y" (kNm/m)					
Casos	Placa	Grelha	Placa x Grelha	Marcus	Placa x Marcus
1	-2,03	-1,81	10,8%	-0,80	60,7%
2	-3,61	-3,35	7,2%	-2,22	38,4%
3	-5,41	-5,10	5,7%	-4,39	18,8%
4	-7,15	-6,52	8,8%	-6,75	5,5%

Tabela 6 – Momentos Fletores na seção do apoio intermediário da laje na direção y

Examinando-se os resultados obtidos pode-se observar que as intensidades dos Momentos Fletores calculadas mediante o método de Marcus são sensivelmente menores que as correspondentes determinadas conforme a modelagem via elementos de placa. Vale ressaltar, portanto, a conveniência de, em estudos futuros, examinar mais apropriadamente os efeitos da plastificação do concreto sobre a distribuição de esforços em lajes para assim dar mais substância à prática de utilização dos modelos analíticos simplificados aplicados ao dimensionamento de lajes de concreto armado.

7 | CONCLUSÕES

Este trabalho trata da análise comparativa do desempenho mecânico de lajes de concreto armado segundo abordagem alternativa sobre modelagem mediante elementos de placa, elementos de grelha e o método de Marcus.

Para suporte de cálculo foram utilizados o “software” ABAQUS para as análises sobre elementos de placa e de grelha, e, algoritmo estruturado elaborado em linguagem C++, sobre a formulação do Método das Grelhas.

A análise numérica foi realizada sobre modelo de laje envolvendo quatro casos diferenciados entre si pela relação entre os comprimentos dos vãos, considerando-se o comportamento do concreto no regime linear elástico.

A partir dos resultados obtidos constataram-se deslocamentos maiores na análise concernente a elementos de placa, o que pode ser justificado pelo fato de esta versão considerar o efeito de Poisson ao contrário da modelagem mediante elementos de grelha.

O menor desvio foi de 3,2%, constatado para o caso de maior diferença entre os comprimentos dos vãos dos painéis de laje e o maior foi de 7,5%, verificada para o caso de menor diferença.

Os deslocamentos resultaram tanto maiores na medida em que o comprimento do menor entre os vãos é maior.

Conforme os resultados, os Momentos Fletores na direção do vão de menor comprimento são maiores para maiores diferenças entre os comprimentos dos vãos, e, aqueles obtidos mediante elementos de placa foram maiores que aqueles referentes à modelagem através de elementos de grelha o que deve ser atribuído às diferenças entre os deslocamentos supra assinaladas.

Para os momentos positivos referidos no parágrafo anterior, a menor diferença foi de 1,2%, correspondente ao caso de maior diferença entre os comprimentos dos vãos, enquanto a maior foi de 17,9%, consumada no caso de menor diferença entre tais comprimentos enquanto, para os negativos, verificou-se menor diferença de 8,0%, para o caso de maior diferença entre os comprimentos dos vãos, e maior de 8,8%, para a condição oposta.

A tendência dos Momentos Fletores na direção do vão de maior comprimento

diferiu, sobretudo, pelo fato de se constatarem maiores desvios para o caso de maior e para o caso de menor diferença entre os comprimentos dos vãos, além do que, os valores dos momentos para os dois casos de maior diferença entre os comprimentos dos vãos, obtidos a partir da modelagem de elementos de placa serem menores que os seus correspondentes obtidos mediante elementos de grelha.

Vale ressaltar que os Momentos Fletores calculados mediante o método de Marcus resultaram menores que aqueles correspondentes determinados conforme a modelagem via elementos de placa, com diferenças expressivas para esses esforços na direção do maior entre os vãos.

Em vista da conclusão formulada no parágrafo antecedente, pode ser conveniente a realização de estudos mais aprofundados dos efeitos da plastificação do concreto sobre a distribuição de esforços em lajes, para assim melhor consubstanciar a validade dos modelos simplificados de análise estrutural de lajes de concreto armado.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118/2014**. Projeto de Estruturas de Concreto Armado - Procedimento, 2014.

ARAÚJO, J.M. – **Curso de Concreto Armado**. Volume 2. Editora Dunas. Rio Grande. 2014.

COOK, R. D., MALKUS, D. S. E PLESHA M. E. – **Concepts and Applications of Finite Element Analysis**. John Wiley e Sons. Nova York. 1989.

MADUREIRA, E. L. **Código Computacional para o Cálculo de Esforços em Lajes pelo Método das Grelhas**. Sistema de Gestão de Atividades Acadêmicas – SIGAA – UFRN. Natal. 2017.

SILVA, A.L.A. e CASHELL, K. – **Ultimate Behaviour in Composite Floor Slabs**. Summer Project for Study Abroad Programmes. Londres. Brunel University. 2015.

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