

COLEÇÃO

# DESAFIOS DAS ENGENHARIAS:

ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO



ERNANE ROSA MARTINS  
(ORGANIZADOR)

  
Atena  
Editora  
Ano 2021

COLEÇÃO  
**DESAFIOS**  
DAS  
**ENGENHARIAS:**

**ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO**



**ERNANE ROSA MARTINS**  
(ORGANIZADOR)

**Atena**  
Editora  
Ano 2021

**Editora chefe**

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Assistentes editoriais**

Natalia Oliveira

Flávia Roberta Barão

**Bibliotecária**

Janaina Ramos

**Projeto gráfico**

Natália Sandrini de Azevedo

Camila Alves de Cremona

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

**Imagens da capa**

iStock

**Edição de arte**

Luiza Alves Batista

**Revisão**

Os autores

2021 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2021 Os autores

Copyright da Edição © 2021 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena Editora



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição Creative Commons. Atribuição-Não-Comercial-NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. 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.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

**Conselho Editorial**

**Ciências Humanas e Sociais Aplicadas**

Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná

Prof. Dr. Américo Junior Nunes da Silva – Universidade do Estado da Bahia

Profª Drª Andréa Cristina Marques de Araújo – Universidade Fernando Pessoa

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. Arnaldo Oliveira Souza Júnior – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Dr. Carlos Antonio de Souza Moraes – Universidade Federal Fluminense  
Prof. Dr. Crisóstomo Lima do Nascimento – Universidade Federal Fluminense  
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa  
Prof. Dr. Daniel Richard Sant’Ana – Universidade de Brasília  
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia  
Profª Drª Dilma Antunes Silva – Universidade Federal de São Paulo  
Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá  
Prof. Dr. Elson Ferreira Costa – Universidade do Estado do Pará  
Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima  
Prof. Dr. Gustavo Henrique Cepolini Ferreira – Universidade Estadual de Montes Claros  
Prof. Dr. Humberto Costa – Universidade Federal do Paraná  
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice  
Prof. Dr. Jadson Correia de Oliveira – Universidade Católica do Salvador  
Prof. Dr. José Luis Montesillo-Cedillo – Universidad Autónoma del Estado de México  
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense  
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 – Pontifícia Universidade Católica de Campinas  
Profª Drª Maria Luzia da Silva Santana – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Miguel Rodrigues Netto – Universidade do Estado de Mato Grosso  
Prof. Dr. Pablo Ricardo de Lima Falcão – Universidade de Pernambuco  
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador  
Prof. Dr. Saulo Cerqueira de Aguiar Soares – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª Vanessa Ribeiro Simon Cavalcanti – Universidade Católica do Rio de Janeiro  
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. Arinaldo Pereira da Silva – Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará  
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás  
Profª Drª Carla Cristina Bauermann Brasil – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – Universidade Federal da Grande Dourados  
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. Jael Soares Batista – Universidade Federal Rural do Semi-Árido  
Prof. Dr. Jayme Augusto Peres – Universidade Estadual do Centro-Oeste  
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  
Profª Drª Daniela Reis Joaquim de Freitas – Universidade Federal do Piauí  
Profª Drª Débora Luana Ribeiro Pessoa – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Douglas Siqueira de Almeida Chaves – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri  
Profª Drª Elizabeth Cordeiro Fernandes – Faculdade Integrada Medicina  
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  
Profª Drª Fernanda Miguel de Andrade – Universidade Federal de Pernambuco  
Prof. Dr. Fernando Mendes – Instituto Politécnico de Coimbra – Escola Superior de Saúde de Coimbra  
Profª Drª Gabriela Vieira do Amaral – Universidade de Vassouras  
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. Helio Franklin Rodrigues de Almeida – Universidade Federal de Rondônia  
Profª Drª Iara Lúcia Tescarollo – Universidade São Francisco  
Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. Jefferson Thiago Souza – Universidade Estadual do Ceará  
Prof. Dr. Jesus Rodrigues Lemos – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Dr. Jônatas de França Barros – Universidade Federal do Rio Grande do Norte  
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 Maria Tatiane Gonçalves Sá – Universidade do Estado do Pará  
Profª Drª Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federac do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá  
Prof. Dr. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados  
Profª Drª Regiane Luz Carvalho – Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino  
Profª Drª Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora  
Profª Drª Vanessa da Fontoura Custódio Monteiro – Universidade do Vale do Sapucaí  
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª Welma Emidio da Silva – Universidade Federal Rural de Pernambuco

### **Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto  
Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie  
Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás  
Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás  
Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará  
Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho  
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª 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. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora  
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Sidney Gonçalves de Lima – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

#### **Linguística, Letras e Artes**

Profª Drª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins  
Profª Drª Angeli Rose do Nascimento – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro  
Profª Drª Carolina Fernandes da Silva Mandaji – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Profª Drª Denise Rocha – Universidade Federal do Ceará  
Profª Drª Edna Alencar da Silva Rivera – Instituto Federal de São Paulo  
Profª Drª Fernanda Tonelli – Instituto Federal de São Paulo,  
Prof. Dr. Fabiano Tadeu Grazioli – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões  
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Profª Drª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná  
Profª Drª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará  
Profª Drª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste  
Profª Drª Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia

## Coleção desafios das engenharias: engenharia de computação

**Diagramação:** Camila Alves de Cremo  
**Correção:** Maiara Ferreira  
**Indexação:** Gabriel Motomu Teshima  
**Revisão:** Os autores  
**Organizador:** Ernane Rosa Martins

### Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

C691 Coleção desafios das engenharias: engenharia de computação / Organizador Ernane Rosa Martins. - Ponta Grossa - PR: Atena, 2021.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5983-387-0

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.870211808>

1. Engenharia da computação. I. Martins, Ernane Rosa (Organizador). II. Título.

CDD 621.39

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos - CRB-8/9166

**Atena Editora**

Ponta Grossa - Paraná - Brasil  
Telefone: +55 (42) 3323-5493

[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)

[contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)

## DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.

## DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access, desta forma* não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce*, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.

## APRESENTAÇÃO

A Engenharia de Computação tem como definição ser o ramo da engenharia que se caracteriza pelo projeto, desenvolvimento e implementação de sistemas, equipamentos e dispositivos computacionais, segundo uma visão integrada de hardware e software, apoiando-se em uma sólida base matemática e conhecimentos de fenômenos físicos. O objetivo é a aplicação das tecnologias de computação na solução de problemas de Engenharia.

Deste modo, este livro, aborda diversos aspectos tecnológicos computacionais, tais como: o desenvolvimento de um jogo de RPG acessível em LIBRAS; uma reflexão quanto à necessidade de aplicação de supressores de surto como proteção de transformadores devido a eventos transitórios em manobras de disjuntores; um algoritmo para geração de contorno 2D envolvendo regiões irregulares; avaliação da influência das tensões residuais e imperfeições geométricas iniciais em colunas de aço submetidas à flexão em torno do eixo de menor inércia; os esforços em estruturas laminares, de características de geometria e carregamentos diversos através da implementação computacional de um elemento finito sólido hexaédrico de 8 nós programado com uma linguagem computacional de alto nível; uma análise computacional realizada através do programa SAP2000; a estabilidade e as vibrações de anéis e tubulações apoiados em uma fundação elástica de Pasternak; um controlador neural para dois elos de um robô manipulador de três graus de liberdade (3 GDL); uma ferramenta de autoria para livros relacionados a área da educação; um aplicativo com propósito de aumentar a taxa de reciclagem e minimizar os danos ambientais devido ao descarte incorreto de resíduos na natureza; a conscientização de crianças e adolescentes sobre as ocorrências de bullying; uma aplicação web interativa, de fácil utilização e interface amigável, por meio do pacote Shiny, destinada aos tópicos de intervalo de confiança e dimensionamento de amostra para o parâmetro proporção; segmentar e detectar, por meio de redes neurais convolutivas, as pás dos raspadores de escória em painéis de ferro gusa do Reator Kambara de uma siderúrgica; integrar a Biblioteca Digital de Artigos (IFPublica) e a Plataforma de Digital de Inscrição e Administração de Projetos (PDIAP), por meio de adaptações nos dois projetos, para impedir erros humanos e automatizar o processo de cadastro de artigos do PDIAP na base de dados do IFPublica.

Assim, espero que a presente obra venha a se tornar um guia aos estudantes e profissionais da área de Engenharia de Computação, auxiliando-os em diversos assuntos relevantes da área, fornecendo a estes novos conhecimentos para poderem atender as necessidades informacionais, computacionais e de automação das organizações de uma forma geral. Por fim, agradeço aos autores por suas contribuições na construção desta importante obra e desejo muito sucesso a todos os nossos leitores.

## SUMÁRIO

### **CAPÍTULO 1..... 1**

A ELASTO-PLASTIC CONSTITUTIVE MODEL BASED ON CHABOCHE KINEMATIC HARDENING OF ALUMINUM ALLOY 7050-T7451

Renzo Fernandes Bastos

Daniel Masarin

Ernesto Massaroppi Junior

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8702118081>

### **CAPÍTULO 2..... 11**

ACANNO: UM JOGO DE RPG COM UMA PROPOSTA DE ACESSIBILIDADE USANDO LIBRAS

Gabriel Barroso da Silva Lima

Marcos Roberto dos Santos

Almir de Oliveira Costa Junior

Jucimar Maia da Silva Junior

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8702118082>

### **CAPÍTULO 3..... 23**

A IMPORTÂNCIA ATUAL DE ESTUDOS DE TRANSITÓRIOS ELETROMAGNÉTICOS PARA DEFINIÇÃO DE SISTEMAS DE PROTEÇÃO DE TRANSFORMADORES CONTRA SOBRETENSÕES E AS APLICAÇÕES RECENTES COM A INSTALAÇÃO DE SUPRESSORES DE SURTO

Nelson Clodoaldo de Jesus

João Roberto Cogo

Luiz Marlus Duarte

Luis Fernando Ribeiro Ferreira

Éverson Júnior de Mendonça

Leandro Martins Fernandes

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8702118083>

### **CAPÍTULO 4..... 38**

ALGORITMO PARA GERAÇÃO DE CONTORNO DE MALHAS RETANGULARES PARA CÁLCULO DE DIFERENÇAS FINITAS

Pedro Zaffalon da Silva

Neyva Maria Lopes Romeiro

Rafael Furlanetto Casamaximo

Iury Pereira de Souza

Paulo Laerte Natti

Eliandro Rodrigues Cirilo

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8702118084>

### **CAPÍTULO 5..... 53**

ANÁLISE DA RESISTÊNCIA DE PILARES DE AÇO SOB A INFLUÊNCIA DE TENSÕES RESIDUAIS E IMPERFEIÇÕES GEOMÉTRICAS INICIAIS

Jefferson Alves Ferreira

Giovani Vitório Costa  
Harley Francisco Viana  
Renata Gomes Lanna da Silva

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8702118085>

**CAPÍTULO 6..... 70**

**ANÁLISE DE ESTRUTURAS LAMINARES UTILIZANDO UM ELEMENTO SÓLIDO DE BAIXA ORDEM ENRIQUECIDO COM MODOS INCOMPATÍVEIS**

Erijohnson da Silva Ferreira  
William Taylor Matias Silva  
Sebastião Simão da Silva  
Adenilda Timóteo Salviano  
José Lucas Pessoa de Oliveira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8702118086>

**CAPÍTULO 7..... 84**

**ANÁLISE ESTRUTURAL DO EDIFÍCIO SEDE DA PROCURADORIA GERAL DA REPÚBLICA: O ESTUDO DE CASO DO BLOCO “A”**

Stefano Galimi  
Márcio Augusto Roma Buzar  
Marco Aurélio Bessa  
Leonardo da Silveira Pirillo Inojosa

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8702118087>

**CAPÍTULO 8..... 103**

**ANÁLISE ESTRUTURAL DO EDIFÍCIO SEDE DA PROCURADORIA GERAL DA REPÚBLICA: O ESTUDO DE CASO DO BLOCO “B”**

Stefano Galimi  
Márcio Augusto Roma Buzar  
Marco Aurélio Bessa  
Marcos Henrique Ritter de Gregorio

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8702118088>

**CAPÍTULO 9..... 119**

**APPLICATION OF A MULTI-OBJECTIVE OPTIMIZATION PARETO APPROACH TO DESIGN THE SDRE CONTROLLER FOR A RIGID-FLEXIBLE SATELLITE**

Luiz Carlos Gadelha de Souza

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8702118089>

**CAPÍTULO 10..... 131**

**APPLICATION OF DEEP LEARNING FOR ANALYSIS OF CRACKS IN PELLET FALLING TESTS**

Marconi Junio Henriques Magnani  
Jorge José Fernandes Filho  
Thyago Rosa Souza  
Marco Antonio de Souza Leite Cuadros

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.87021180810>

<b>CAPÍTULO 11</b> .....	<b>143</b>
FLAMBAGEM E VIBRAÇÃO DE ANÉIS E TUBULAÇÕES ESBELTAS EM UMA FUNDAÇÃO ELÁSTICA	
Mariana Barros dos Santos Dias Paulo Batista Gonçalves	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.87021180811">https://doi.org/10.22533/at.ed.87021180811</a>	
<b>CAPÍTULO 12</b> .....	<b>155</b>
CALIDAD ÁGIL: PATRONES DE DISEÑO EN UN CONTEXTO DE DESARROLLO DIRIGIDO POR PRUEBAS	
Anna Grimán Padua Manuel Capel Tuñón Eladio Garví	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.87021180812">https://doi.org/10.22533/at.ed.87021180812</a>	
<b>CAPÍTULO 13</b> .....	<b>168</b>
CONTROLE NEURAL DE DOIS ELOS DE UM ROBÔ DE TRÊS GRAUS DE LIBERDADE	
José Antonio Riul Paulo Henrique de Miranda Montenegro	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.87021180813">https://doi.org/10.22533/at.ed.87021180813</a>	
<b>CAPÍTULO 14</b> .....	<b>181</b>
SUBOPTIMAL CONTROL ON NONLINEAR SATELLITE SIMULATIONS USING SDRE AND H-INFINITY	
Alessandro Gerlinger Romero Luiz Carlos Gadelha de Souza	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.87021180814">https://doi.org/10.22533/at.ed.87021180814</a>	
<b>CAPÍTULO 15</b> .....	<b>193</b>
CREATE REALITY IN BOOKS (CRINB) - PROPOSTA DE FERRAMENTA DE AUTORIA DE LIVROS COM REALIZADADE AUMENTADA	
Lucas Velho Gomes Felipe Zunino Gabriel Abreu Freire Sidney Ferreira Coutinho Rogério Grijo Biazotto Eduardo Henrique Gomes Nelson Nascimento Júnior	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.87021180815">https://doi.org/10.22533/at.ed.87021180815</a>	
<b>CAPÍTULO 16</b> .....	<b>198</b>
DESENVOLVIMENTO DE ATIVIDADES DE ORIENTAÇÃO E CAPACITAÇÃO EM SISTEMAS DE COMPUTAÇÃO - RECYCLING IS BETTER	
Líbero Passador Neto Dimitre Moreira Ort	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.87021180816">https://doi.org/10.22533/at.ed.87021180816</a>	

<b>CAPÍTULO 17</b> .....	<b>206</b>
DESENVOLVIMENTO DE UM JOGO DIGITAL (2D) PARA CONSCIENTIZAÇÃO DE CRIANÇAS CONTRA O BULLYING Rafael Guedes da Silva Anderson Fabian Melo Nakanome  <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.87021180817">https://doi.org/10.22533/at.ed.87021180817</a>	
<b>CAPÍTULO 18</b> .....	<b>215</b>
DESENVOLVIMENTO DE UMA APLICAÇÃO WEB PARA PROPORÇÃO E DIMENSIONAMENTO DE AMOSTRA POR MEIO DO PACOTE SHINY Pablo Fellipe de Souza Almeida Cristina Henriques Nogueira  <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.87021180818">https://doi.org/10.22533/at.ed.87021180818</a>	
<b>CAPÍTULO 19</b> .....	<b>226</b>
DESIGN PATTERNS FOR SOFTWARE EVOLUTION REQUIREMENTS Anna Grimán Padua Manuel Capel Tuñón Eladio Garví  <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.87021180819">https://doi.org/10.22533/at.ed.87021180819</a>	
<b>CAPÍTULO 20</b> .....	<b>240</b>
DETECTION AND SEGMENTATION OF PIG IRON SLAG SCRAPERS USING MASK RCNN FOR WEAR CONTROL Carlos Eduardo Oliveira Milanez Marco Antonio de Souza Leite Cuadros Gustavo Maia de Almeida  <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.87021180820">https://doi.org/10.22533/at.ed.87021180820</a>	
<b>CAPÍTULO 21</b> .....	<b>252</b>
DIMENSIONAMENTO DE BLOCOS SOBRE ESTACAS METÁLICAS Fernanda Calado Mendonça Bernardo Horowitz  <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.87021180821">https://doi.org/10.22533/at.ed.87021180821</a>	
<b>CAPÍTULO 22</b> .....	<b>268</b>
ESTIMATION OF STELLAR PARAMETERS FOR J-PLUS SURVEY WITH MACHINE LEARNING Carlos Andres Galarza Arevalo Simone Daflon Vinicius Moris Placco Carlos Allende-Prieto  <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.87021180822">https://doi.org/10.22533/at.ed.87021180822</a>	
<b>CAPÍTULO 23</b> .....	<b>279</b>
ESTUDO ANALÍTICO E NUMÉRICO VIA MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS DA	

## RIGIDEZ DOS PILARES DE PONTES EM CONCRETO ARMADO

Sávio Torres Melo  
Rebeka Manuela Lobo Sousa  
Pablo Juan Lopes e Silva Santos  
Francisca Itaynara de Souza Araújo  
Thiago Rodrigues Piauilino Ribeiro  
Amanda Evelyn Barbosa de Aquino  
Diogo Raniere Ramos e Silva  
Tiago Monteiro de Carvalho  
Carlos Henrique Leal Viana  
João Paulo dos Santos Silva  
Madson Nogueira da Silva  
Ilanna Castelo Branco Mesquita

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.87021180823>

## **CAPÍTULO 24..... 290**

### **ESTUDO ANALÍTICO E NUMÉRICO VIA MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS DOS EFEITOS DE SEGUNDA ORDEM EM PILARES DE PONTES EM CONCRETO ARMADO**

Sávio Torres Melo  
Rebeka Manuela Lobo Sousa  
Pablo Juan Lopes e Silva Santos  
Francisca Itaynara de Souza Araújo  
Thiago Rodrigues Piauilino Ribeiro  
Amanda Evelyn Barbosa de Aquino  
Diogo Raniere Ramos e Silva  
Tiago Monteiro de Carvalho  
Carlos Henrique Leal Viana  
João Paulo dos Santos Silva  
Madson Nogueira da Silva  
Ilanna Castelo Branco Mesquita

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.87021180824>

## **CAPÍTULO 25..... 311**

### **ESTUDO DO MOVIMENTO DOS CORPOS MOEDORES NO PROCESSO DE MOAGEM UTILIZANDO O MÉTODO DOS ELEMENTOS DISCRETOS**

Wladimir José Gomes Florêncio  
Neilor Cesar dos Santos

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.87021180825>

## **CAPÍTULO 26..... 329**

### **FLUID FLOW SUMMARIZATION USING DYNAMIC MULTI-VECTOR FEATURE SPACES**

Renato José Policani Borseti  
Leandro Tavares da Silva  
Gilson Antonio Giralaldi

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.87021180826>

<b>CAPÍTULO 27</b> .....	<b>351</b>
GESTÃO DE PROCESSOS: ALINHAMENTO ESTRATÉGICO ENTRE TI E NEGÓCIO COM BPMN	
Aryel Evelin Vieira Garcia Rodrigo Elias Francisco	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.87021180827">https://doi.org/10.22533/at.ed.87021180827</a>	
<b>CAPÍTULO 28</b> .....	<b>359</b>
IFINTEGRA - INTEGRADOR DA PLATAFORMA DE REGISTRO DE PROJETOS COM A BIBLIOTECA DIGITAL DE ARTIGOS DE UM CAMPUS DO IFSUL	
Mateus Roberto Algayer Geovane Griesang	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.87021180828">https://doi.org/10.22533/at.ed.87021180828</a>	
<b>SOBRE O ORGANIZADOR</b> .....	<b>366</b>
<b>ÍNDICE REMISSIVO</b> .....	<b>367</b>

# CAPÍTULO 24

## ESTUDO ANALÍTICO E NUMÉRICO VIA MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS DOS EFEITOS DE SEGUNDA ORDEM EM PILARES DE PONTES EM CONCRETO ARMADO

Data de aceite: 02/08/2021

### **Sávio Torres Melo**

Centro Universitário do Piauí (UNIFAPI)  
Teresina – Piauí  
<http://lattes.cnpq.br/6734564205405210>

### **Rebeka Manuela Lobo Sousa**

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí (IFPI)  
Teresina – Piauí  
<http://lattes.cnpq.br/6214319560629327>

### **Pablo Juan Lopes e Silva Santos**

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí (IFPI)  
Teresina – Piauí  
<http://lattes.cnpq.br/6734564205405210>

### **Francisca Itaynara de Souza Araújo**

Faculdade de Ensino Superior de Floriano (FAESF)  
Floriano – Piauí  
<http://lattes.cnpq.br/8791319645485235>

### **Thiago Rodrigues Piauilino Ribeiro**

Faculdade de Ensino Superior de Floriano (FAESF)  
Floriano – Piauí  
<http://lattes.cnpq.br/3111845764872632>

### **Amanda Evelyn Barbosa de Aquino**

Faculdade de Ensino Superior de Floriano (FAESF)  
Floriano – Piauí  
<http://lattes.cnpq.br/1548892957964052>

### **Diogo Ranieri Ramos e Silva**

Faculdade de Ensino Superior de Floriano (FAESF)  
Floriano – Piauí  
<http://lattes.cnpq.br/2473339869472489>

### **Tiago Monteiro de Carvalho**

CEEP José Pacifico de Moura Neto  
Teresina – Piauí  
<http://lattes.cnpq.br/2162762581194082>

### **Carlos Henrique Leal Viana**

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí  
Teresina – Piauí  
<http://lattes.cnpq.br/5126094758903357>

### **João Paulo dos Santos Silva**

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí  
Teresina – Piauí  
<http://lattes.cnpq.br/0716896838526744>

### **Madson Nogueira da Silva**

Universidade Federal do Piauí  
Teresina – Piauí  
<http://lattes.cnpq.br/1827583837780285>

### **Ilanna Castelo Branco Mesquita**

Universidade Federal do Piauí  
Teresina – Piauí  
<http://lattes.cnpq.br/2289424912752984>

**RESUMO:** O estudo referente aos efeitos de segunda ordem em pilares de pontes se torna importante primeiramente pelas limitações existentes diante das normas brasileiras e pelo fato da pequena quantidade de pesquisas

direcionadas a pontes sobre este assunto. Os pilares são elementos que juntamente com os aparelhos de apoio compõem a mesoestrutura das pontes. Eles são responsáveis pela transmissão de toda carga da superestrutura para a infraestrutura, gerando, durante a transmissão, o surgimento dos efeitos de segunda ordem que, em pilares de grandes alturas com geometrias diferenciadas, influenciam na estabilidade global da estrutura. Neste trabalho, é proposto, por meio de modelos analítico e numérico com uso do programa ABAQUS via Método dos Elementos Finitos (MEF), a análise e verificação da utilização de pilares com arranjo simples em substituição aos modelos com arranjos múltiplos a partir do cálculo dos deslocamentos e os efeitos de segunda ordem gerados durante a transmissão dos carregamentos de projeto atuantes na ponte. Em complemento, também foram realizadas as correlações analítico-numéricas de dois modelos de pilares esbeltos, com arranjos simples com seções transversais quadrada e circular, a fim de verificar o comportamento desses elementos em termos de deslocamentos quando comparados com casos reais de arranjos múltiplos. Os resultados numéricos encontrados mostraram convergência com os obtidos analiticamente validando a utilização de arranjos simples.

**PALAVRAS-CHAVE:** Concreto Armado, Pilares de Pontes, Efeitos de Segunda Ordem, ABAQUS.

## ANALYTICAL AND NUMERICAL STUDY VIA METHOD OF THE FINITE ELEMENTS OF THE SECOND ORDER EFFECTS ON PILLARS OF BRIDGES IN ARMED CONCRETE

**ABSTRACT:** The study regarding the effects of second order on bridge pillars becomes important primarily because of the limitations existing under Brazilian standards and the fact that there is a small amount of research aimed at bridges on this subject. The pillars are elements that together with the support devices make up the mesostructure of the bridges. They are responsible for the transmission of the entire load from the superstructure to the infrastructure, generating, during transmission, the appearance of second-order effects that, in pillars of great heights with differentiated geometries, influence the overall stability of the structure. In this work, it is proposed, through analytical and numerical models using the ABAQUS program via Finite Element Method (MEF), the analysis and verification of the use of pillars with simple arrangement replacing the models with multiple arrangements based on the calculation of the displacements and second-order effects generated during the transmission of project loads acting on the bridge. In addition, analytical-numerical correlations of two slender column models were also performed, with simple arrangements with square and circular cross sections, in order to verify the behavior of these elements in terms of displacements when compared with real cases of multiple arrangements. The numerical results found showed convergence with those obtained analytically, validating the use of simple arrangements.

**KEYWORDS:** Reinforced Concrete, Bridge Pillars, Second Order Effects, ABAQUS.

## 1 | INTRODUÇÃO

As pontes e viadutos são elementos essenciais para o sistema rodoviário de transporte, especialmente no Brasil onde este modal predomina, ainda que de forma

precária, visto que o transporte rodoviário é responsável pela movimentação de mais de 60% de toda a carga que trafega no território nacional (Fig. 1), existindo cerca de 130 mil empresas de transporte de cargas no Brasil com mais de 1.6 milhões de veículos que oferecem serviços, segundo a Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT, 2016).

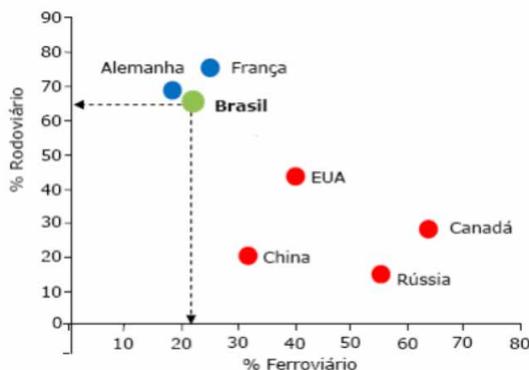


Figura 1 - Gráfico de Participação dos Modos de Transporte Rodoviário e Ferroviário por País (CNT, 2001).

Na mesoestrutura o problema da flambagem em pilares de pontes em concreto armado pode influenciar de modo significativo o dimensionamento destas e está diretamente ligado a não linearidade geométrica e a não linearidade física, originando, assim, efeitos adicionais denominados efeitos de segunda ordem.

Os efeitos de segunda ordem estão associados aos efeitos dos deslocamentos causados por forças internas em estruturas ou elementos estruturais. Assim, a não contabilização dos efeitos de segunda ordem nos esforços de dimensionamento traduzir-se-á numa redução da capacidade de carga e, conseqüentemente, a possibilidade de colapso do elemento estrutural torna-se mais real (Scandelai, 2004).

A presente pesquisa busca realizar um estudo analítico e numérico da interação solo-estrutura de pilares de pontes em concreto armado, a fim de avaliar os efeitos de segunda ordem da estrutura.

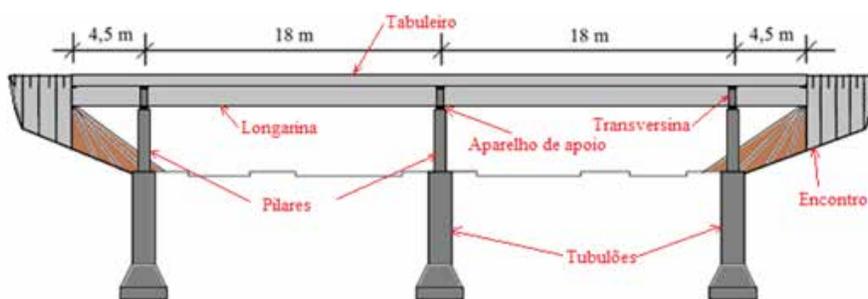
Este trabalho está organizado nas seguintes seções: a seção 2 apresenta os dados de geometria, materiais e carregamentos utilizados no cálculo da ponte, assim como os modelos abordados na pesquisa; a seção 3 mostra os métodos de cálculo analítico e numérico (ABAQUS) de um pilar de ponte de seção quadrada e outro de seção circular; a seção 4 retrata os resultados desta estudo, realizando uma análise comparativa entre os métodos analíticos e os métodos numéricos, com intuito de analisar os deslocamentos horizontais e os efeitos de segunda ordem e, por fim, na seção 5 apresentadas as conclusões.

## 2.1 MODELO DE ESTUDO

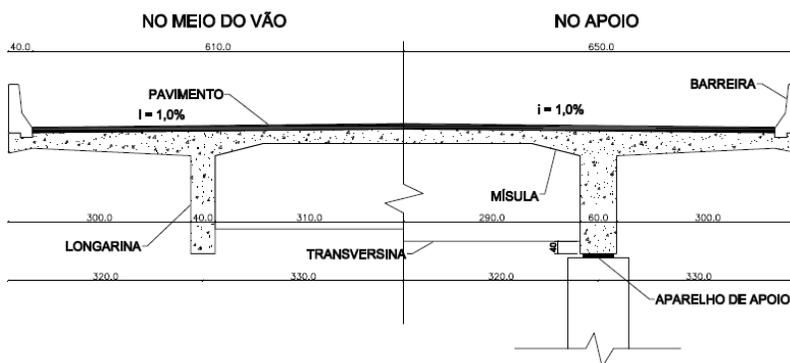
Nesta etapa da pesquisa mostram os dados de cálculo para uma ponte (geometria, materiais e carregamentos), a fim de analisar duas situações de solos (argila dura e maciço rígido).

### 2.1 Geometria da Ponte

A ponte em estudo possui 45 m de comprimento divididos em dois tramos de 18 m e balanços nas extremidades de 4,5 m como ilustrado na Fig. 2a. A largura é de 13 m, obedecendo ao prescrito pelo manual do Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes (DNIT, 1996) e respeita as características da rodovia (DNIT, 1973), como a faixa de rolamento, com um capeamento asfáltico de 9 cm de espessura e inclinação de 1% na laje do tabuleiro (Fig. 2b).



(a) Vista Longitudinal e Elementos da Ponte



(b) Vista Transversal

Figura 2 - Vistas da Ponte.

## 2.2 Características dos Materiais

Em todas as análises analíticas e numéricas realizadas na ponte foram utilizadas as mesmas características de material, que foram definidas de acordo com a prática de

projeto nacional e com as normas: NBR 6118 (2014) e NBR 8800 (2008). As características mecânicas do concreto e do aço adotadas estão apresentadas na Tabela 1.

Concreto	
$f_{ck}$ (Resistência Característica)	35 MPa
E (Módulo de Elasticidade)	28160 MPa
$\nu$ (Coeficiente de Poisson)	0,2
$\gamma_c$ (Peso Específico)	25 kN/m <sup>3</sup>
Aço	
Especificação	CA-50
E (Módulo de Elasticidade)	210 GPa
$\nu$ (Coeficiente de Poisson)	0,3
Neoprene	
G (Módulo de Elasticidade)	1 MPa
$\nu$ (Coeficiente de Poisson)	0,5

Tabela 1 - Características dos Materiais.

Apresentando materiais com propriedades diferentes, deve ser necessário realizar a transformação da área de aço em uma área de concreto equivalente, a fim de obter a nova seção transversal homogeneizada dos pilares, dada por:

$$A_e = x \cdot A_{aço} \quad (1)$$

onde  $A_e$  é a área equivalente,  $A_{aço}$  é a área de aço e “x” é a razão entre o módulo de elasticidade do aço pelo de concreto.

### 2.2.1 Modelo Constitutivo do ABAQUS

O MEF é uma ferramenta numérica aplicada no desenvolvimento de procedimentos aproximados, através de equações diferenciais, que consiste na discretização de um meio contínuo em pequenos elementos, preservando as propriedades originais. Essas equações são resolvidas por modelos matemáticos, facilitando o sistema de análise em diversos elementos estruturais. Há alguns programas comerciais de elementos finitos, dentre eles o programa ABAQUS, escolhido para ser utilizado na modelagem computacional dos problemas de instabilidade de pilares utilizados nesta pesquisa.

No programa ABAQUS, a análise plástica é baseada em 4 parâmetros: a relação entre a resistência no estado biaxial e a resistência no estado uniaxial ( $f_{bo}/f_{co}$ ), a excentricidade, a distância da superfície de ruptura na seção transversal desviadora (K) e, por fim, o ângulo de inclinação, com intuito de verificar a validação para a modelagem da não linearidade física e geométrica, conforme são apresentados na Tabela 2.

Parâmetro	Valor
Ângulo de Inclinação	36°
Excentricidade	0,1
$f_b/f_c$	1,16
K	0,667
Parâmetro de Viscosidade	0

Tabela 2 - Dados utilizados para a análise plástica.

A modelagem do comportamento do aço é tratada em um estado de tensão uniaxial. O aço é representado como material elastoplástico, conforme visualizado na Fig. 3.

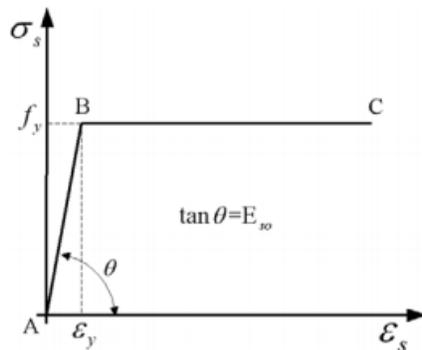


Figura 3 - Aproximação Elastoplástica (Bono, 2008).

### 2.3 Modificações na Mesoestrutura

Para apresentar um melhor controle dos carregamentos e dos deslocamentos, foi realizada uma modificação na mesoestrutura, transformando o arranjo múltiplo em um arranjo simples. Para realizar esses ajustes foi feito o cálculo da inércia equivalente de um pilar, obtendo assim às dimensões que se equivalem ao pórtico da ponte original. Isso foi feito realizando o seguinte procedimento:

$$(EI)_{\text{Pilar}} = \frac{F_{ht}H^3}{3\Delta_{\text{Pórtico}}} \quad (2)$$

Sendo  $F_{ht}$  a força horizontal transversal ao pórtico,  $H$  a altura do pórtico,  $\Delta_{\text{Pórtico}}$  o deslocamento do pórtico e  $(EI)_{\text{Pilar}}$  o módulo de elasticidade junto do momento de inércia do pilar ou sua rigidez à flexão.

A carga referente à força horizontal transversal correspondente ao maior esforço encontrado diante dos pórticos diz respeito ao carregamento do vento e da água, de acordo com a Tabela 3.

Carga	Valor (kN)	Carga Total (kN)
Vento	63	80
Água	17	

Tabela 3 - Carregamento Transversal no Pórtico.

Os deslocamentos existentes nos pórticos da ponte em questão são apresentados através das imperfeições geométricas. Com a obtenção do deslocamento e a força horizontal correspondente ao pórtico, determina-se a inércia equivalente para cada pilar, conforme mostrado na Tabela 4:

$\theta_1$	$\theta_\Delta$	$\Delta_{P\acute{o}rtico}$ (m)	E (kN/m <sup>2</sup> )	Inércia Equivalente (m <sup>4</sup> )
0,00277	0,00277	0,0361	28160540	0,0577

Tabela 4 - Dados para a Inércia Equivalente.

Diante dos cálculos realizados, serão estudados dois casos de seção para a análise: uma quadrada e uma circular, ambas sendo maciças, a fim de observar os deslocamentos que estes novos pilares poderão ter. Com a inércia equivalente calculada, encontra-se o valor de cada dimensão da seção transversal, como pode ser observado na Tabela 5.

Inércia Equivalente	Seção	Dimensão da Seção Transversal (m)	Área da Seção Transversal (cm <sup>2</sup> )	Intervalo de Esbeltez	Armadura (cm <sup>2</sup> )	Área Equivalente (cm <sup>2</sup> )	Área Total (cm <sup>2</sup> )	Dimensões Encontradas com Acréscimo do Aço (cm <sup>2</sup> )
0,0577	Quadrada	0,91	8281	90 < 94,55 < 140	240,19	1791,15	10072,15	1,00
	Circular	1,04	8494,87					1,10

Tabela 5 - Dimensões da Seção Transversal.

## 2.4 Ações nos Pilares da Ponte

Os pilares de pontes estão submetidos a esforços verticais permanentes e móveis, além das horizontais longitudinais e transversais. As normas NBR 7187/2003, NBR 7188/2013 e a AASHTO/2014 tratam do assunto e dão diretrizes para a composição das cargas, conforme os valores de ações atuantes sobre os pilares são apresentadas na Tabela 6, juntamente com cada situação analisada.

Seção	Altura do Pilar (m)	Altura da Fundação (m)	Carregamento Horizontal Longitudinal (kN)	Carregamento Horizontal Transversal (kN)	Carregamento Horizontal Resultante (kN)	Carregamento Vertical (m)
Quadrada	13	16	68,59	72,94	100,12	4377,87
Circular			68,59	68,24	98,75	4387,25

Tabela 6 - Ações Atuantes nos Pilares.

## 2.5 Caracterização dos Modelos

Nesta pesquisa foram analisados dois tipos de solos: argila dura (**A**) e maciço rígido (**B**). Para cada solo serão modeladas duas seções transversais (quadrada e circular), a fim de realizar uma análise de deslocabilidade dos pilares da ponte em cada uma dessas situações considerando a interação solo-estrutura (ISE). Os coeficientes de reação horizontal foram considerados constantes em toda camada de solo para cada pilar em estudo. Os Modelos de Pilares (MP) analisados foram agrupados conforme esquematizado na Tabela 7.

Tipo de Solo	Seção	Modelo	Altura do Pilar (m)	Altura da Fundação (m)	Coefficiente Horizontal do Terreno (kN/m <sup>3</sup> )	Coefficiente Vertical do Terreno (kN/m <sup>3</sup> )
Argila Dura	Quadrada	MPAQ	13	16	7000	10000
	Circular	MPAC				
Maciço Rígido	Quadrada	MPBQ			-	-
	Circular	MPBC			-	-

Tabela 7 - Definição dos Modelos de Pilares Analisados.

O caso do solo maciço rígido não apresentar um coeficiente do terreno é devido o terreno ser uma rocha sã, impedindo qualquer deslocamento na fundação e funcionando como um engastamento perfeito.

## 3 | MÉTODOS DE ANÁLISE

Nesta etapa serão mostrados os métodos analíticos e o numérico via Método dos Elementos Finitos (MEF) através do software ABAQUS v6-14, para a obtenção dos deslocamentos horizontais das pontes.

### 3.1 Método Analítico

O tratamento teórico para determinar a equação diferencial da linha elástica

considerando a base elástica (solo) representada pelo elemento de fundação trabalhando de forma integrada ao pilar da estrutura, parte do princípio de que o comportamento do sistema solo-estrutura de fundação é parecido com o de uma viga sob apoio elástico. A equação diferencial do problema incorporando-se a Hipótese de Winkler é dada por:

$$p = k_h(h - x)yb \quad (3)$$

$$\frac{d^4y}{dx^4} + \frac{k_h(h - x)yb}{EI} = 0 \quad (4)$$

onde:

$$c_r = \frac{k_h b}{EI} \quad (5)$$

Em que  $c_r$  é uma constante relativa ao coeficiente lateral do terreno e “ $k_h$ ” é o coeficiente de recalque lateral médio do terreno, obtido através da Tabela 7.

Marchetti (2008) apresenta uma solução particular através da utilização de série de Fourier, com posterior superposição dos efeitos dos esforços externos atuantes (força horizontal e momento fletor) e uma análise de cada elemento através da sua rigidez, a fim de determinar o deslocamento total do conjunto fundação-pilar, conforme mostra a Fig. 4:

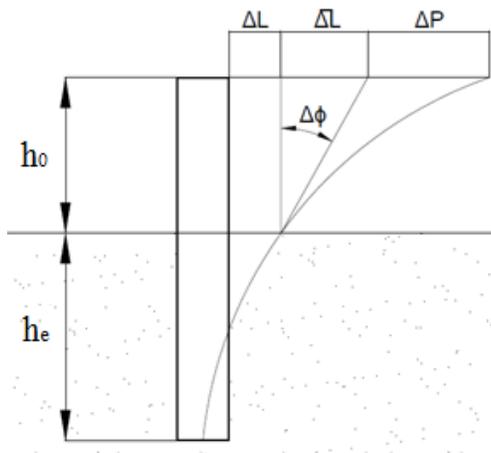


Figura 4 - Deslocamento do conjunto fundação-pilar (Marchetti, 2008).

Nesse modelo, o deslocamento final é dado por:

$$\Delta_{\text{final}} = \Delta L + \overline{\Delta L} + \Delta P \quad (6)$$

$$\Delta_{\text{final}} = \frac{H_0 h_e^2}{6EI} (2h_e + 3h_0) + \frac{\pi H_0 h_0 h_e}{12EI} (2h_e + 3h_0) + \frac{H_0 h_0^3}{3EI} \quad (7)$$

$$\Delta_{\text{final}} = \frac{H_0 h_e}{12EI} (2h_e + 3h_0)(2h_e + \pi h_0) + \frac{H_0 h_0^3}{3EI} \quad (8)$$

Onde  $\Delta_{\text{final}}$  é o deslocamento final,  $\Delta L$  é o deslocamento na fundação,  $\overline{\Delta L}$  é o deslocamento devido à deformação angular referente à seção de extremidade livre e  $\Delta P$  é o deslocamento no pilar (extremidade livre).

### 3.2 Método Numérico

A análise do pilar através do ABAQUS dispõe de uma vasta biblioteca de elementos possibilitando flexibilidade na modelagem de diferentes estruturas, todos os elementos são modelados no sistema global de coordenadas cartesianas utilizam o conceito de massa concentrada em sua formulação, exceto elementos assimétricos.

O pré-processador ABAQUS/CAE (Fig. 5), consiste de uma interface gráfica que permite ao usuário uma rápida e eficiente definição da geometria do problema, atribuição das propriedades dos diferentes materiais, aplicação dos carregamentos e das condições de contorno do problema, seleção do número de etapas pretendidas na análise e, finalmente, geração da malha de elementos finitos correspondente ao corpo analisado. O software dispõe ainda do pós-processador ABAQUS/VIEWER que, operando sobre os arquivos de saída, possibilita, para interpretação dos resultados numéricos, procedimentos de visualização gráfica e de animação.

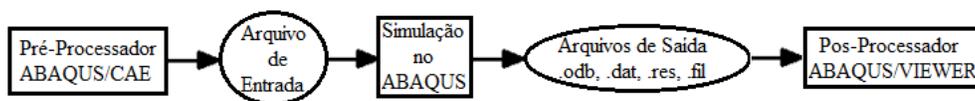


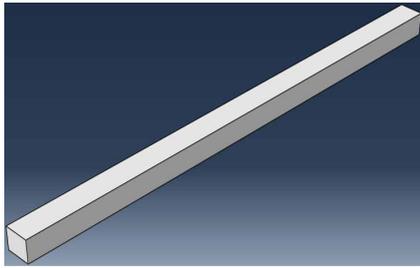
Figura 5 - Diagrama para a Simulação com o Programa ABAQUS.

O software ABAQUS busca contemplar as etapas do projeto e simulação de elementos estruturais, no intuito de prever para tentar mitigar possíveis efeitos indesejáveis. Através do uso dos elementos finitos foi realizada uma modelagem dos pilares na qual executamos os procedimentos descritos nas seções seguintes.

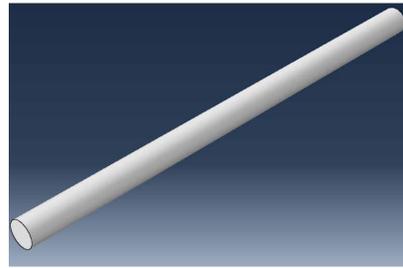
#### 3.2.1 Materiais e Armaduras

Através do comando *PARTS*, se cria partições definidas para a geometria do modelo

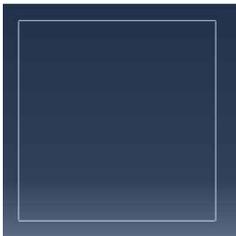
de cada um dos elementos constituintes: o conjunto (pilar + fundação) e as armaduras (longitudinal e transversal), conforme mostrado na Fig. 6.



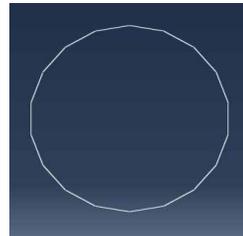
(a) Forma do Conjunto Quadrado



(b) Forma do Conjunto Circular



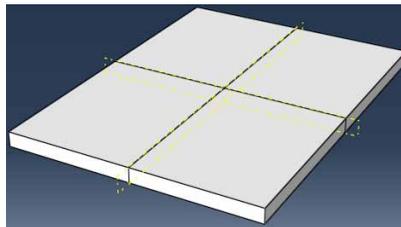
(c) Estribo Quadrado



(d) Estribo Circular



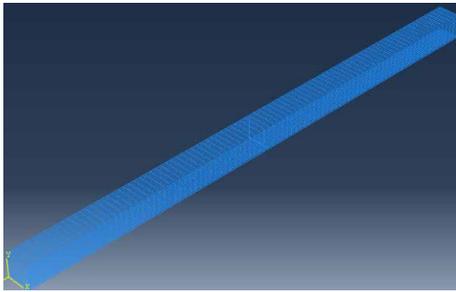
(e) Armadura Longitudinal



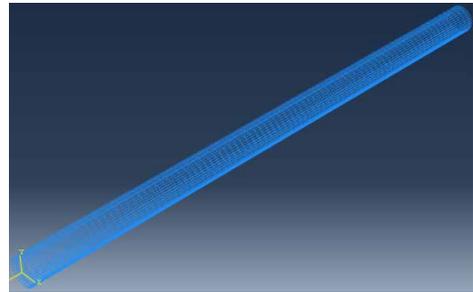
(f) Aparelho de Apoio

Figura 6 - Representação de cada Elemento Constituinte.

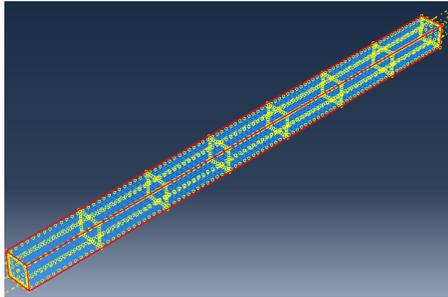
As propriedades mecânicas dos materiais envolvidos dos pilares modelados no *software* (caracterizadas no item 2.2) foram introduzidas com a utilização do comando *PROPERTY*. Com os materiais definidos o passo seguinte é realizar o posicionamento de cada barra longitudinal, bem como dos estribos, através do comando *ASSEMBLY*. Após a definição das armaduras utilizou-se o comando *CONSTRAINT* para realizar o acoplamento entre o concreto e o aço, como ilustrado na Fig. 7.



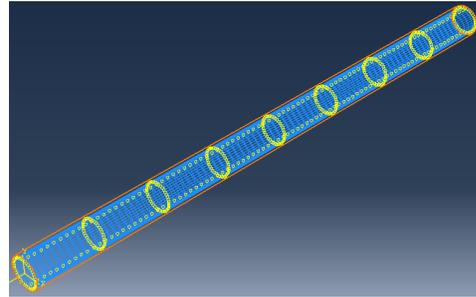
(a) Armadura na Seção Quadrada



(b) Armadura na Seção Circular



(d) Interação do Concreto com Aço na Seção Quadrada

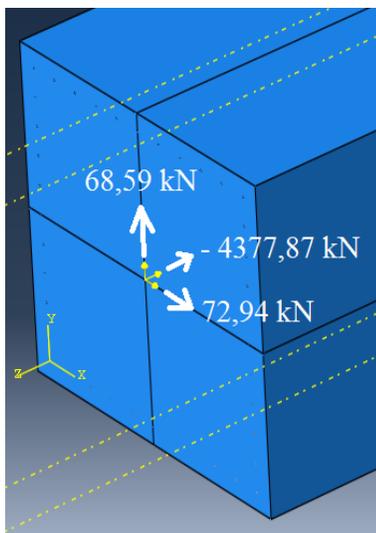


(e) Interação do Concreto com Aço na Seção Quadrada

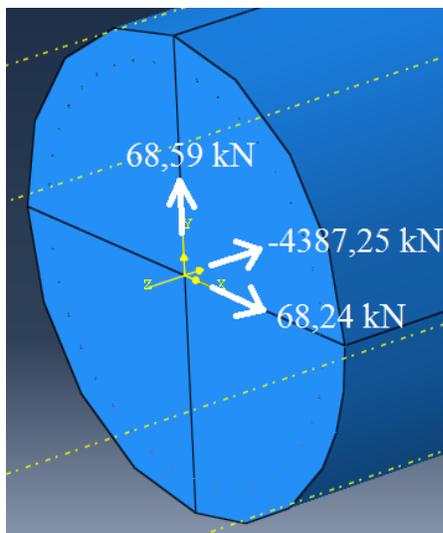
Figura 7 - Representação da Construção do Pilar.

### 3.2.2 Carregamentos no Pilares

A etapa seguinte é realizar o posicionamento dos carregamentos aos quais estes pilares estão submetidos, conforme mostrado na Tabela 6. Vale salientar que o programa não apresenta a opção de trabalhar o carregamento resultante devendo então ser realizada a análise com cada componente da força horizontal (transversal e a longitudinal). No que se refere ao carregamento vertical máximo e mínimo optou-se por utilizar o máximo, a fim de considerar a situação mais desfavorável, ou seja, com a presença do carregamento móvel. A Fig. 8 ilustra estes carregamentos no pilar que foram realizados com uso do comando *LOAD MANAGER*.



(a) Carregamento no Pilar de Seção Quadrada

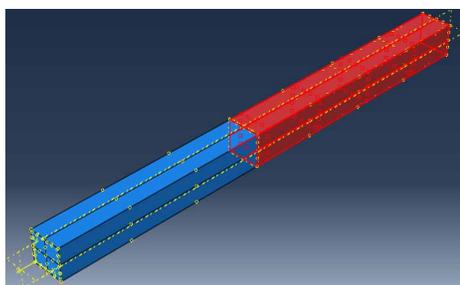


(b) Carregamento no Pilar de Seção Circular

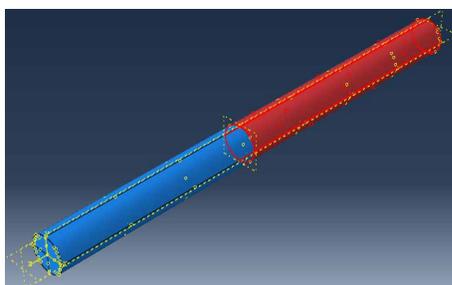
Figura 8 - Representação dos Carregamentos no Pilar.

### 3.2.3 Apoios nas Fundações

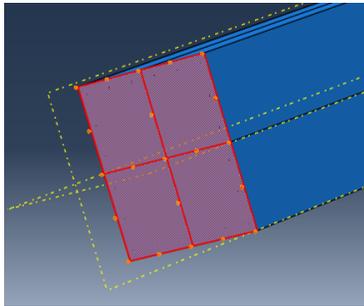
Na pesquisa foram consideradas quatro situações de solos nas fundações que vão influenciar nos pilares, conforme mostrado na Fig. 9. Primeiramente foi utilizado no conjunto (pilar + fundação) o comando *BOUNDARY CONDITION MANAGER* na sua parte inferior, para retirar qualquer deslocamento vertical (eixo Z). Depois se aplicou nas faces da fundação (em vermelho nas Fig. 9a e Fig. 9b) o comando *ELASTIC FOUNDATION* ao redor da fundação representando as molas referentes ao modelo de Winkler, onde o dado de entrada é a rigidez de cada situação de solo, a fim de esquematizar de forma simplificada o funcionamento do solo na estrutura.



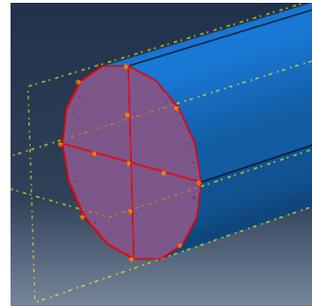
(a) Modelo de Winkler (Molas) na Fundação de Seção Quadrada



(b) Modelo de Winkler (Molas) na Fundação de Seção Circular



(c) Apoio na Base Inferior na Fundação de Seção Quadrada



(d) Apoio na Base Inferior na Fundação de Seção Circular

Figura 9 - Representação dos Apoios na Fundação.

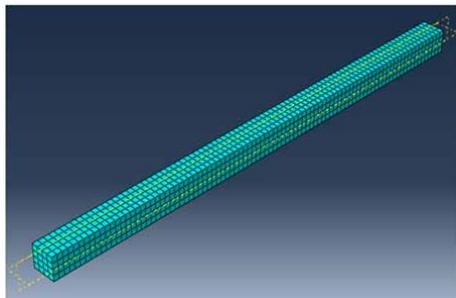
### 3.2.4 Malhas

Para geração das malhas em elementos finitos no ABAQUS, utilizou-se o comando *MESH* onde a discretização foi feita com elementos sólidos tridimensionais do tipo C3D8 contendo oito nós e cada nó com três graus de liberdade translacionais. Já as armaduras foram modeladas com elementos de treliça T3D2 com dois nós apresentando três graus de liberdade por nó, todos de translação, conforme pode ser especificado com mais detalhes na Tabela 8.

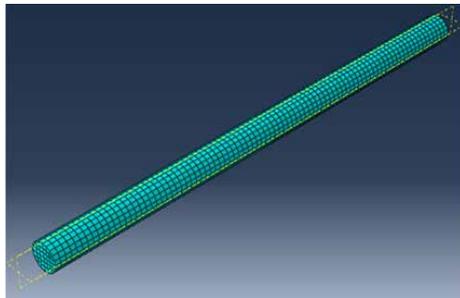
Seção	Quantidade de Elementos			
	Barra Longitudinal	Estribo	Pilar	Aparelho de Apoio
Quadrada	145	20	5220	16
Circular		16	4640	

Tabela 8 - Quantidade de Elementos na Malha de cada Componente Estrutural.

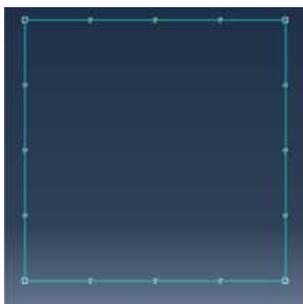
A Figura 10 ilustra a malha final de cada componente estrutural, pois a mesma sofreu alterações até apresentar pequenas variações de deslocamento final, ou seja, foi realizado um teste de sensibilidade da malha. Com isso foi necessário realizar uma aproximação dos resultados numéricos através de uma calibração do programa a um caso no qual já se tem conhecimento, tomando como orientação um pilar com engastamento perfeito, onde se obteve uma variação de aproximadamente 1%. Após a calibração do programa ABAQUS, pôde-se realizar as devidas comparações.



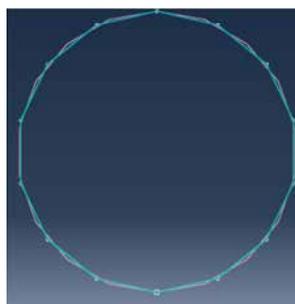
(a) Malha para o Conjunto de Seção Quadrada



(b) Malha para o Conjunto de Seção Circular



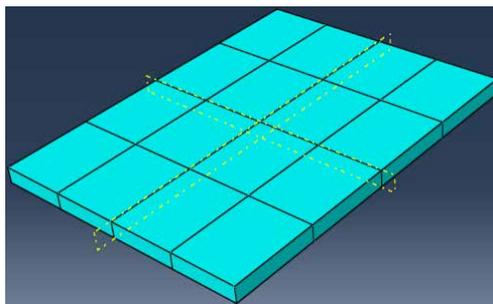
(c) Malha para o Estribo de Seção Quadrada



(d) Malha para o Estribo de Seção Circular



(e) Malha para a Barra Longitudinal



(f) Malha para o Aparelho de Apoio

Figura 10 - Representação da Malha de cada Componente Estrutural.

## 4 | ANÁLISE E RESULTADOS

As parcelas de deslocamentos dos pilares e aparelhos de apoio não se alteraram quando comparadas com a diferença de solo, porém houve um acréscimo de deslocamento devido à introdução da parcela de deformação angular proveniente da rotação dos pilares como corpos rígidos, aumentando as magnitudes dos deslocamentos finais desses

elementos, conforme pode ser observado na Tabela 9.

Modelo	Deslocamento (mm)				
	Fundação	Angular	Pilar	Neoprene	Final
MPAQ	2,87	3,66	31,24	7,51	45,28
MPAC	2,53	3,24	35,01	7,26	48,04
MPBQ	0,00	0,00	31,24	7,51	38,75
MPBC	0,00	0,00	35,01	7,26	42,27

Tabela 9 - Deslocamentos Horizontais Finais Lineares no Método Analítico.

Após a modelagem dos elementos constituintes (pilar, fundação e armadura) juntamente com a aplicação dos seus esforços e condições de apoio, utilizou-se o comando *JOB* para fazer o processamento dos cálculos com o propósito de serem obtidos os deslocamentos dos conjuntos em análise.

A Tabela 10 apresentam os deslocamentos horizontais finais do método numérico utilizando o MEF, através do programa ABAQUS.

Modelo	Deslocamento (mm)		
	Transversal	Longitudinal	Final
MPAQ	40,47	45,90	61,19
MPAC	34,90	37,14	50,96
MPBQ	28,53	33,10	43,70
MPBC	28,16	32,03	42,65

Tabela 10 - Deslocamentos Horizontais Finais Lineares no Método Numérico.

Por outro lado, a análise não linear dos pilares foi realizada de forma analítica e numérica com aplicação de incrementos de cargas e critérios de convergência, a fim de se obter os deslocamentos finais máximos. Foram confeccionadas as curvas “carga versus deslocamento”, referentes a cada elemento estrutural (fundação e pilar), onde a não linearidade física nos modelos analíticos foi tratada de forma simplificada através da redução da rigidez flexional dos elementos estruturais, enquanto no modelo numérico se deu pelo programa ABAQUS.

A rigidez flexional  $EI$  é significativamente sensível aos níveis de esforços internos atuantes nas peças de concreto armado. Assim, com intuito de considerar as perdas de rigidez dos pilares da ponte em estudo, foram realizadas calibrações nas curvas lineares de “carga versus deslocamento” a fim de compor novas curvas com rigidezes flexionais

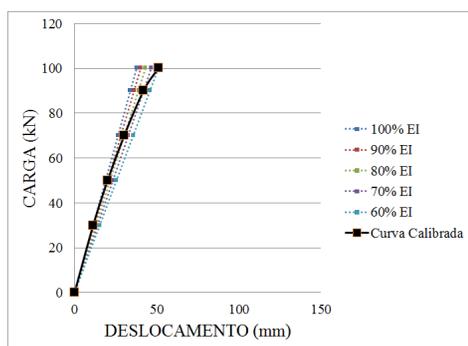
(E.I) reduzidas, através da manutenção da inércia da seção e da redução do módulo de elasticidade do concreto em cada passo de carga pré-definido na pesquisa, com o objetivo de computar o aumento dos deslocamentos com a aplicação dos carregamentos.

A curva calibrada da literatura (CCL) foi baseada em estudos de pesquisadores como MacGregor (1993), que sugeriu o valor de redução de  $EI$  de até 40 % ( $0,6EI$ ) para os pilares; valor este adotado para esta pesquisa. Assim, na calibração, após a carga correspondente a 1ª fissura, reduziu-se a rigidez flexional do pilar, a partir da redução percentual do módulo de elasticidade, até atingir a redução total de 40% no último passo de carga, obtendo novos valores de valores de deslocamento, conforme ilustrado na Fig. 11a.

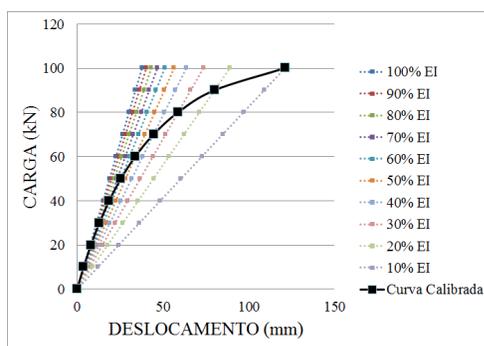
Na curva calibrada pelo autor (CCA), após a aplicação de 10 % da carga característica, foi aplicada uma perda de 10% da rigidez em cada passo de carga incrementado, até a carga final, obtendo novos valores de deslocamento conforme mostra a Fig. 11b.

A Figura 11c representa a curva gerada pelo Método dos Elementos Finitos (MEF) aplicando incrementos de cargas através do comando *STEP* e critérios de convergência do próprio programa ABAQUS.

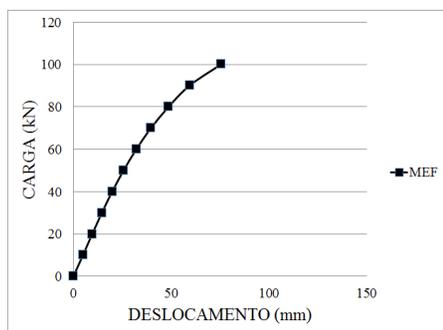
A curva calibrada referente à NBR 6118/2014 recomenda a redução dos valores de rigidezes flexionais após a carga correspondente a 1ª fissura de até 70 % nas lajes ( $0,3EI$ ), até 50 % nas vigas ( $0,5EI$ ) e até 20 % nos pilares ( $0,8EI$ ) para avaliar de forma aproximada os efeitos da não linearidade dos elementos estruturais. Dessa forma, após a carga correspondente a 1ª fissura, reduziu-se a rigidez flexional do pilar, a partir da redução percentual do módulo de elasticidade, até atingir a redução total de 20% no último passo de carga, obtendo novos valores de deslocamento, como pode ser observado na Fig. 11d.



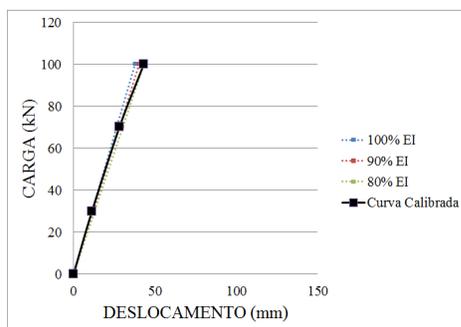
(a) CCL



(b) CCA



(c) MEF



(d) NBR/2014

Figura 11 - Calibração (a) Literatura, (b) Autor, (c) MEF e (d) NBR 6118/2014.

Com isso, a Tabela 11 apresenta o deslocamento não linear final apresentado por cada uma dessas curvas:

Modelo	Deslocamento Não-Linear Final (mm)		
	MEF	CCA	CCL
MPAQ	112,91	326,63	66,18
MPAC	193,59	363,20	71,41
MPBQ	82,25	319,96	59,58
MPBC	130,69	357,34	65,60

Tabela 11 - Deslocamentos Horizontais Finais Não Lineares para cada Método.

Após a realização das análises supracitadas nos item 3, foi realizado uma verificação comparativa da linearidade com a não linearidade através dos deslocamentos, com intuito de observar os efeitos de segunda ordem existentes. Esta verificação ocorre em casos de pequenos afastamentos proporcionais (lineares). Porém, com a situação avaliada já deformada, devido à influência das forças horizontais e verticais, são provocados deslocamentos de ordem superiores (não lineares). A Tabela 12 mostra os deslocamentos de segunda ordem existentes:

Modelo	Deslocamento de Segunda Ordem (mm)		
	MEF	CCA	CCL
MPAQ	51,72	281,34	20,89
MPAC	142,63	315,17	23,38
MPBQ	38,55	281,20	20,83
MPBC	88,04	315,08	23,34

Tabela 12 - Deslocamentos de Segunda Ordem no Topo do Pilar.

Diante de todas as análises feitas anteriormente e de acordo com a Tabela 12, pode observar as variações existentes na Fig. 12.

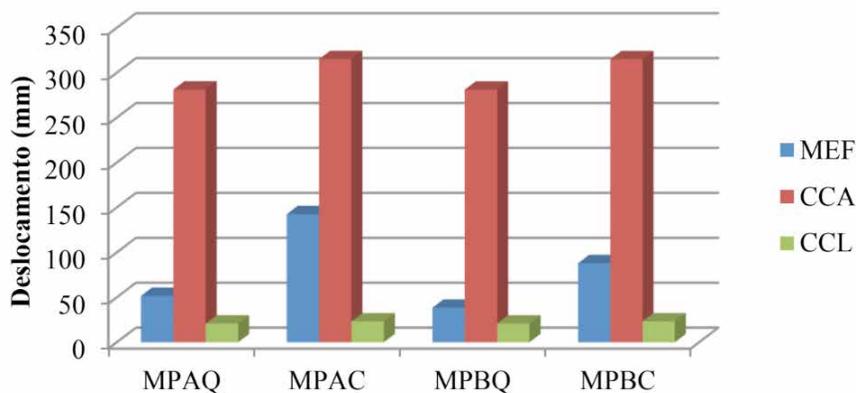


Figura 12 - Maior Deslocamento de Segunda Ordem por Grupo.

Observamos que os deslocamentos apresentados no caso CCA são elevados em comparação aos demais, por causa da proporção do seu carregamento (100% de Força) corresponder a uma rigidez bem reduzida (10% EI), provocando altos valores de deslocamento não linear, conforme mencionado em análises anteriores. No caso referente ao CCL, apresentou deslocamentos bem inferiores, devido à rigidez ser mais elevada (60%). De certa forma, se obteve um acréscimo do deslocamento em relação aos deslocamentos lineares. Porém, a situação que melhor se destacou na parte não linear foi a do modelo MPBQ com os menores deslocamentos entre o comportamento linear e o não linear.

Por fim, realizando uma comparação do melhor caso dessa pesquisa (MPBQ) com o caso de Khouri (2001), realizado em pilares da ponte rodoviária sobre o rio Mogi-Guaçu em Ribeirão Preto através do programa ANSYS, a pesquisadora obteve um deslocamento de segunda ordem de 19,6mm, valor inferior ao obtido no MPBQ desta pesquisa no programa ABAQUS que foi de 38,75mm.

## 5 | CONCLUSÕES

A finalidade de reproduzir modelos não lineares foi justamente para mostrar o comportamento real desse material, visto que uma análise linear não apresenta este tipo de procedimento. Estes modelos procuram incorporar fenômenos como a fissuração, o esmagamento, a interação concreto/aço, dentre outros.

A eficiência do MPBQ relacionada ao deslocamento de segunda ordem de arranjos simples equivale afirmar que a situação ao qual se encontra não o torna favorável, pois diante da análise entre não lineares e lineares, obtiveram um acréscimo considerado do deslocamento em relação aos lineares. Porém, devido às circunstâncias exibidas, a

distribuição dos carregamentos ter se dada apenas em um único pilar, provavelmente geraria uma instabilidade excessiva, contudo pôde-se perceber que o fato de ser um arranjo simples não significa dizer que o mesmo apresente deslocamentos elevados, ao contrário, o que se deve observar são os aspectos que influenciam no cálculo do deslocamento como altura do pilar, dimensões da seção transversal, módulo de elasticidade, tempo de escoramento do pilar, dentre outros.

## REFERÊNCIAS

American Association of State highway and Transportation Officials (AASHTO). *Standard bridge design specifications*. Washington, D.C. 2014;

ANTT. Agência Nacional de Transportes Terrestres. Resolução nº 3.056. *Diário Oficial da União*, 2016;

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) NBR 6118/2014: *Projeto e Execução de Obras de Concreto Armado*, Rio de Janeiro;

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) NBR 7187/2003: *Projeto e Execução de Pontes de Concreto Armado e Protendido*, Rio de Janeiro;

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) NBR 7188/2013: *Carga Móvel Rodoviária e de Pedestres em Pontes, Viadutos, Passarelas e outras Estruturas*, Rio de Janeiro;

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) NBR 8800/2008: *Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios*, Rio de Janeiro;

Bono, Giuliana Furtado Franca. Tese (Doutorado) - *Modelos Constitutivos para Análise Tridimensional de Estruturas de Concreto Armado através do Método dos Elementos Finitos*. Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Escola de Engenharia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Porto Alegre, BR-BS, 2008;

CNT. Confederação Nacional do Transporte. *Plano CNT de Logística*. Brasília, DF, 2001;

DNIT, Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes. *Manual de Projeto de Obras-de-Arte Especiais*, 1996;

DNIT, Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes. *Normas para Projeto de Estradas de Rodagem*, 1973;

Khouri, M. E. Dissertação (Doutorado) - *Contribuição ao Projeto de Pilares de Pontes de Concreto Armado com consideração das Não-Linearidades Física e Geométrica e Interação do Solo-Estrutura*. Departamento de Engenharia de Estruturas, São Carlos - SP, 2001;

Macgregor, J.G. (1993). *Stability Analysis and Design of Concrete*, Proceedings, ASCE, V. 103, No ST10, October;

Marchetti, O. *Pontes de Concreto Armado*, São Paulo: Bluncher, 2008;

Scadelai, M. A. *Dimensionamento de pilares de acordo com a NBR 6118:2003*. 2004. 136 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2004;

Simulia. *ABAQUS 6.14 User Subroutines Reference Manual*. [S.1.], 2014.

## ÍNDICE REMISSIVO

### A

Algoritmo 38, 40, 42, 44, 46, 48, 50, 70, 82, 120, 168, 169, 182, 257, 262, 265, 322, 330

Análise avançada 53, 54, 55, 68

Análise computacional 84, 103

Análise estrutural 55, 71, 82, 84, 85, 92, 93, 94, 95, 97, 103, 109, 110, 111

Aprendizado 13, 174, 193, 194, 197, 208, 215, 224, 268

### B

Bullying 206, 207, 208, 210, 211, 212, 213, 214

### C

Carga crítica 143, 144, 147, 148, 149, 152, 153

Computational fluid dynamics 329, 330, 350

Constitutive model 1, 2, 5, 6, 10

Contorno 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 49, 50, 51, 71, 299

Controlador neural 168, 169, 170, 171, 172, 173, 174, 175, 179

Controle 19, 119, 120, 131, 168, 169, 171, 173, 174, 175, 176, 177, 178, 179, 180, 181, 182, 240, 295, 312, 352, 353, 356, 358

### D

Deep learning 131, 132, 134, 135, 136, 137, 138, 141, 142

Descarte adequado 198

Desenvolvimento 11, 12, 14, 15, 17, 20, 21, 35, 36, 40, 44, 82, 83, 193, 194, 195, 197, 198, 199, 200, 205, 206, 208, 209, 210, 211, 215, 216, 217, 221, 225, 226, 227, 254, 260, 265, 281, 294, 327, 352, 354, 357, 359, 361, 362, 363, 364

Design patterns 155, 156, 166, 167, 226, 227, 228, 230, 231, 234, 238

Diferenças finitas 38, 39, 40, 45, 50, 51, 52, 315

Digital 167, 197, 206, 207, 210, 213, 239, 243, 319, 320, 358, 359, 360, 362, 363, 365

Drop test 131, 132, 133, 134, 135, 141

### E

Educação 12, 13, 14, 21, 53, 68, 70, 191, 193, 195, 197, 208, 212, 215, 225, 279, 290, 311, 326, 359, 366

Educacional 14, 82, 206, 208, 209

Elemento hexaédrico 70, 72, 75, 77

Elementos finitos 53, 55, 69, 70, 71, 72, 83, 279, 280, 281, 285, 286, 290, 291, 294, 297,

299, 303, 306, 309, 321

Equações diferenciais 39, 40, 44, 51, 71, 294

Estabilidade estrutural 143

Estatística 21, 215, 216, 217, 218, 224, 225

Estrutura 17, 38, 54, 71, 72, 75, 77, 78, 81, 82, 84, 85, 87, 89, 90, 91, 97, 98, 99, 101, 102, 103, 104, 106, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 152, 218, 221, 253, 266, 279, 280, 281, 282, 283, 284, 286, 288, 291, 292, 293, 297, 298, 302, 309, 362, 363

## **F**

Ferramenta 15, 18, 22, 39, 193, 194, 195, 196, 200, 204, 210, 211, 216, 224, 294, 313, 354, 356, 360, 361, 363

Frequências naturais 143, 144, 146, 147, 149, 150, 151, 152, 153

Fundação elástica 143

## **G**

Geometria irregular 38

Gestão de processos 351, 352, 354, 355, 358

## **I**

Imperfeições geométricas iniciais 53, 54, 55, 62, 64, 67, 69

Inclusão 29, 33, 35, 36, 67, 68, 197, 359, 360

Industrial process 131

Informação 12, 21, 193, 205, 216, 351, 354, 355, 356, 357, 358, 360, 366

Inovação 86, 104, 105, 193, 366

Interfaces 215, 216, 225, 231, 232, 233, 234, 235, 361

## **J**

Jogo 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 206, 207, 209, 210, 211, 212, 213

## **L**

Layout 221, 222, 359, 360, 362

Libras 11, 12, 13, 14, 17, 18, 19, 20, 21, 22

## **M**

Malha 38, 39, 40, 44, 45, 46, 49, 50, 72, 79, 108, 182, 285, 299, 303, 304, 313, 321, 322, 326

Modelagem 31, 33, 35, 36, 38, 39, 70, 72, 149, 194, 251, 255, 268, 280, 285, 294, 295, 299, 305, 351, 352, 353, 354, 356, 357, 358

Modos incompatíveis 70, 72, 75, 76, 77, 79, 80, 82, 83

## O

Oscar Niemeyer 84, 85, 86, 87, 89, 101, 102, 103, 104, 105, 118

## P

Pasternak 143, 144, 145, 149, 151, 153, 154

Processos 82, 171, 240, 312, 351, 352, 353, 354, 355, 356, 357, 358, 359, 361

Programação 72, 211, 215, 224, 361

Programas 55, 205, 206, 210, 214, 294, 359

Projeto socioambiental 198

## R

Realidade aumentada 193, 194, 195, 196, 197

Rede neural 168, 169, 171, 175

Resistência 53, 54, 55, 56, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 89, 96, 131, 145, 255, 256, 258, 261, 262, 263, 280, 294, 314

Robô 168, 169, 170, 173, 174, 175, 176, 177, 178, 179

Robótica 168

RPG 11, 12, 15, 16, 18

RStudio 215, 216, 217, 218, 220, 224, 225

## S

Shiny 215, 216, 217, 218, 220, 221, 224, 225

Simulações 23, 24, 30, 31, 33, 35, 38, 44, 50, 168, 169, 175, 181, 311, 312, 326, 329

Sobretensões de manobras 23, 24, 25, 29, 30

Software 1, 6, 12, 18, 40, 53, 55, 66, 70, 71, 72, 77, 79, 80, 82, 103, 155, 156, 157, 158, 159, 166, 167, 196, 210, 215, 216, 217, 218, 220, 224, 225, 226, 227, 228, 229, 230, 231, 232, 233, 235, 237, 238, 239, 256, 257, 263, 265, 266, 267, 281, 285, 297, 299, 300, 311, 320, 321, 330, 356, 357, 359, 360, 363, 364

Stable hysteresis cycle 1, 3, 9

Summarization 329, 330, 331, 332, 343, 349, 350

Supressores de surto 23, 25, 28, 29, 30, 33, 34, 35, 36

Sustentabilidade 198, 199

## T

Tecnologia 11, 12, 21, 54, 70, 168, 193, 194, 196, 197, 206, 208, 215, 279, 290, 311, 326, 351, 355, 358, 359, 362, 366

Tensão 1, 24, 25, 26, 27, 28, 33, 34, 59, 62, 63, 66, 67, 75, 170, 255, 256, 258, 260, 261,

266, 295

Tensões residuais 53, 54, 55, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69

Transformadores 23, 24, 25, 28, 30, 34, 35, 36

Transitórios eletromagnéticos 23, 24, 31

## **W**

Web 54, 194, 195, 196, 200, 215, 216, 217, 218, 221, 222, 225, 355, 359, 360, 361, 362, 363, 365

COLEÇÃO

# DESAFIOS DAS ENGENHARIAS:

ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO

-  [www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)
-  [contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)
-  [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
-  [www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)

COLEÇÃO

# DESAFIOS DAS ENGENHARIAS:

ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO

-  [www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)
-  [contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)
-  [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
-  [www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)