

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 Miraniilde 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

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>

CAPÍTULO 11	143
FLAMBAGEM E VIBRAÇÃO DE ANÉIS E TUBULAÇÕES ESBELTAS EM UMA FUNDAÇÃO ELÁSTICA	
Mariana Barros dos Santos Dias Paulo Batista Gonçalves	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.87021180811	
CAPÍTULO 12	155
CALIDAD ÁGIL: PATRONES DE DISEÑO EN UN CONTEXTO DE DESARROLLO DIRIGIDO POR PRUEBAS	
Anna Grimán Padua Manuel Capel Tuñón Eladio Garví	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.87021180812	
CAPÍTULO 13	168
CONTROLE NEURAL DE DOIS ELOS DE UM ROBÔ DE TRÊS GRAUS DE LIBERDADE	
José Antonio Riul Paulo Henrique de Miranda Montenegro	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.87021180813	
CAPÍTULO 14	181
SUBOPTIMAL CONTROL ON NONLINEAR SATELLITE SIMULATIONS USING SDRE AND H-INFINITY	
Alessandro Gerlinger Romero Luiz Carlos Gadelha de Souza	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.87021180814	
CAPÍTULO 15	193
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	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.87021180815	
CAPÍTULO 16	198
DESENVOLVIMENTO DE ATIVIDADES DE ORIENTAÇÃO E CAPACITAÇÃO EM SISTEMAS DE COMPUTAÇÃO - RECYCLING IS BETTER	
Líbero Passador Neto Dimitre Moreira Ort	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.87021180816	

CAPÍTULO 17	206
DESENVOLVIMENTO DE UM JOGO DIGITAL (2D) PARA CONSCIENTIZAÇÃO DE CRIANÇAS CONTRA O BULLYING	
Rafael Guedes da Silva	
Anderson Fabian Melo Nakanome	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.87021180817	
CAPÍTULO 18	215
DESENVOLVIMENTO DE UMA APLICAÇÃO WEB PARA PROPORÇÃO E DIMENSIONAMENTO DE AMOSTRA POR MEIO DO PACOTE SHINY	
Pablo Fellipe de Souza Almeida	
Cristina Henriques Nogueira	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.87021180818	
CAPÍTULO 19	226
DESIGN PATTERNS FOR SOFTWARE EVOLUTION REQUIREMENTS	
Anna Grimán Padua	
Manuel Capel Tuñón	
Eladio Garví	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.87021180819	
CAPÍTULO 20	240
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	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.87021180820	
CAPÍTULO 21	252
DIMENSIONAMENTO DE BLOCOS SOBRE ESTACAS METÁLICAS	
Fernanda Calado Mendonça	
Bernardo Horowitz	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.87021180821	
CAPÍTULO 22	268
ESTIMATION OF STELLAR PARAMETERS FOR J-PLUS SURVEY WITH MACHINE LEARNING	
Carlos Andres Galarza Arevalo	
Simone Daflon	
Vinicius Moris Placco	
Carlos Allende-Prieto	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.87021180822	
CAPÍTULO 23	279
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>

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

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

Data de aceite: 02/08/2021

Data de submissão: 06/05/2021

Jefferson Alves Ferreira

Centro Federal de Educação Tecnológica de
Minas Gerais
Belo Horizonte – Minas Gerais
<http://lattes.cnpq.br/6246057897238858>

Giovani Vitorio Costa

Centro Federal de Educação Tecnológica de
Minas Gerais
Belo Horizonte – Minas Gerais
<http://lattes.cnpq.br/1067376621472994>

Harley Francisco Viana

Centro Federal de Educação Tecnológica de
Minas Gerais
Belo Horizonte – Minas Gerais
<http://lattes.cnpq.br/4172304263509688>

Renata Gomes Lanna da Silva

Centro Federal de Educação Tecnológica de
Minas Gerais
Belo Horizonte – Minas Gerais
<http://lattes.cnpq.br/1852330407141788>

RESUMO: O objetivo deste trabalho é avaliar a influência das tensões residuais e imperfeições geométricas iniciais em colunas de aço submetidas à flexão em torno do eixo de menor inércia, especialmente, em pilares com esbelteza intermediária ($40 \leq l/r \leq 120$). Para isso, utilizam-se os dados obtidos por meio de um software não-comercial, nomeado PPLANLEP, que é

baseado no Método dos Elementos Finitos e é capaz de considerar a não linearidade física, com base na abordagem de plasticidade distribuída, e a não linearidade geométrica. Nas análises executadas, são consideradas tensões residuais auto-equilibradas, oriundas do processo de fabricação do material, com diferentes distribuições nas mesas e alma da seção transversal de perfis “I”. Além disso, tal fator é combinado com distintas configurações de imperfeições geométricas. Por fim, as curvas de resistência dos pilares são comparadas com as curvas propostas pela norma brasileira ABNT NBR 8800: 2008 e europeia EN 1993-1-1: 2005. Verifica-se que o uso da curva de resistência “c” presente na norma europeia faz-se mais assertivo para o dimensionamento de pilares de aço submetidos à flexão em torno do eixo de menor inércia.

PALAVRAS-CHAVE: Análise avançada, Imperfeições geométricas iniciais, Tensões residuais, Resistência de colunas de aço.

STRENGTH ANALYSIS OF STEEL COLUMNS UNDER INFLUENCE OF RESIDUAL STRESSES AND INITIAL GEOMETRIC IMPERFECTIONS

ABSTRACT: The objective of this article is to evaluate the influence of residual stresses and geometric imperfections on steel columns subjected to bending around weak-axis, especially in columns with intermediate slenderness ($40 \leq l/r \leq 120$). For this end, it is used the data obtained by a non-commercial software, called PPLANLEP program, which is based on the Finite Element Method and is capable of considering

the physical nonlinearity, modeled by the distributed plasticity approach, and the geometric nonlinearity. In the analyses, residual self-balanced stresses due to material manufacturing process are considered with different magnitudes and distributions on the flanges and web for an I-type cross section. In addition, this factor is combined with different configurations of initial geometric imperfections. Finally, the resistance curves of the columns are compared with the curves proposed by the Brazilian standard ABNT NBR 8800: 2008 and European standard EN 1993-1-1: 2005. It is verified that the use of the buckling curve “c” proposed by the European standard is more assertive for the design of steel columns subjected to bending around the weak-axis.

KEYWORDS: Advanced analysis, Initial geometric imperfections, Residual stresses, Strength of steel columns.

1 | INTRODUÇÃO

Estruturas de aço têm sido alvo de diversas pesquisas ao longo dos anos devido ao bom desempenho estrutural do material, que possui propriedades importantes para a engenharia, das quais se destacam: elasticidade, maleabilidade, durabilidade e boa resistência. Entretanto, no processo de fabricação dos perfis de aço podem surgir tensões residuais, originadas do resfriamento não-uniforme da peça. Caso não seja feito um alívio de tensões, uma das principais características benéficas do aço, a boa resistência aos esforços, pode ser afetada.

Conforme destacado por Galambos (1998), os principais fatores que influenciam na distribuição das tensões residuais são: a temperatura de laminação do aço ou soldagem, o formato da seção transversal, as condições de resfriamento, os métodos para retificação da peça e as propriedades dos materiais. Segundo Alpsten e Tall (1970), as tensões residuais possuem influência significativa na resistência à compressão de estruturas metálicas. Almeida e Lavall (2007) evidenciaram que a combinação das tensões residuais com as imperfeições geométricas iniciais afetam significativamente a resistência à compressão dos pilares com esbeltez intermediária ($40 \leq l / r \leq 120$), sendo assim, são fatores preponderantes para o correto dimensionamento dessas estruturas.

A análise que considera simultaneamente a não linearidade geométrica e do material, as tensões residuais e imperfeições geométricas, de forma que não seja necessária a verificação de cada elemento de forma isolada, é conhecida como Análise Avançada (CHEN; KIM, 1997). Conforme Silva (2010), a análise avançada procura considerar nos modelos matemáticos hipóteses mais condizentes com o comportamento real da estrutura. Em seu estudo, Liew et al. (1993) define algumas exigências a serem cumpridas para que o método seja considerado como análise avançada, tais como, consideração dos efeitos de plasticidade, tensões residuais, imperfeições geométricas iniciais e também os efeitos de segunda ordem $P-\Delta$ e $P-\delta$. Os efeitos $P-\Delta$ e $P-\delta$ são efeitos relacionados à estabilidade da estrutura, oriundos das cargas axiais e das curvaturas das barras, respectivamente. Com o avanço na tecnologia dos hardwares e softwares, esse tipo de análise pode ser facilmente

incorporada nas rotinas dos programas de análise estrutural.

De acordo com Kim e Chen (1996), desde 1970 diversas pesquisas têm sido desenvolvidas relacionadas a validação de métodos de Análise Avançada, os quais são classificados em (1) Método da rótula plástica refinada (MRPR) e (2) Método da zona plástica (MZP). A primeira abordagem surge do refinamento do método da rótula plástica, o qual considera a plasticidade concentrada, ao possibilitar a ocorrência de rótulas plásticas de comprimento nulo nas extremidades. O refinamento do método é feito de modo a considerar os efeitos da propagação da plasticidade, bem como os efeitos de tensões residuais e imperfeições geométricas (LIEW; WHITE; CHEN, 1993).

Por outro lado, o método da zona plástica permite o monitoramento da distribuição da plasticidade ao longo do comprimento do membro estrutural e da altura da seção transversal. Além disso, esse método é capaz de incluir o efeito das tensões residuais, imperfeições geométricas iniciais e demais efeitos de segunda ordem, por meio da divisão dos membros estruturais em pequenos elementos finitos e a discretização das seções transversais em diversas fibras. Como salientado por certos autores, o método da zona plástica classifica-se como método “exato” de *Análise Inelástica Avançada* e é capaz de fornecer resultados mais precisos do comportamento real das estruturas (DIAS, 2018; GONÇALVES; SILVA; SILVEIRA, 2016; VIANA et al., 2020).

No que se refere às curvas de flambagem para o dimensionamento de barras de aço sob compressão centrada, assunto do presente trabalho, pode-se mencionar duas principais vertentes de interesse no âmbito brasileiro: a chamada “curva única americana” proposta pelo *American Institute of Steel Construction* (AISC) (2005) e as curvas propostas pela EN1993-1-1 (2005) (Eurocode 3). A norma brasileira ABNT NBR 8800 (2008) adotou em sua última revisão, ocorrida em 2008, a curva única prescrita pela AISC. No entanto, conforme destacado em alguns trabalhos, ao simplificar o processo de cálculo por meio da adoção de uma única curva, os resultados obtidos apresentam-se superiores aos reais, em algumas situações, e inferiores em outras, embora estejam dentro de limites aceitáveis no quesito segurança estrutural (MESQUITA; GOMES; LEÃO, 2019). Como exemplo de tal ocorrência, Silva (2010) apresenta um estudo do comportamento de perfis de aço submetidos à flexão em torno dos eixos de maior e menor inércia, onde foi constatado que a curva única adotada pela ABNT NBR 8800 (2008) não descreve satisfatoriamente o caso de flexão em torno do eixo de menor inércia de pilares comprimidos axialmente.

Este trabalho tem por objetivo o estudo da resistência à compressão de pilares de aço com perfis “I”, considerando a influência da distribuição das tensões residuais nas mesas e alma do perfil, e das imperfeições geométricas iniciais, as quais são modeladas com formato linear e senoidal. Para a realização das análises, é empregado o programa não comercial PPLANLEP (**P**rograma de **P**órticos Planos de Aço, considerando a **A**nálise **N**ão **L**inear **E**lasto-**P**lástica), que se baseia no método de análise avançada com plasticidade distribuída (LAVALL, 1996). Esse software utiliza a descrição Lagrangiana Atualizada

juntamente com a abordagem corrotacional para a obtenção consistente da matriz de rigidez tangente do elemento. A solução das equações incrementais de equilíbrio é dada a partir do método incremental-iterativo de Newton-Raphson. As curvas de resistência de pilares sob compressão axial obtidas numericamente são comparadas com as curvas prescritas pela ABNT NBR 8800 (2008) e EN1993-1-1 (2005).

2 I FORMULAÇÃO PARA ANÁLISE NÃO LINEAR BASEADA NO MZP

A formulação para análise inelástica de segunda ordem a seguir baseia-se no MZP para capturar o escoamento gradual do material ao longo da altura da seção transversal e do comprimento dos membros estruturais. No presente trabalho, será considerada a hipótese de Euler-Bernoulli, a qual prevê que as seções transversais permanecem planas e normais ao eixo da barra após a deformação. Por fazer uso da técnica corrotacional, a formulação apresentada permite que os nós sofram grandes deslocamentos e rotações, e as barras, grandes alongamentos e curvaturas.

2.1 Elemento finito e graus de liberdade

A Fig. 1 ilustra o elemento de pórtico plano com extremidades rígidas em sua posição de referência e deformada e define as notações utilizadas. As coordenadas dos nós a e b no sistema global são dados por (x_a, y_a) e (x_b, y_b) .

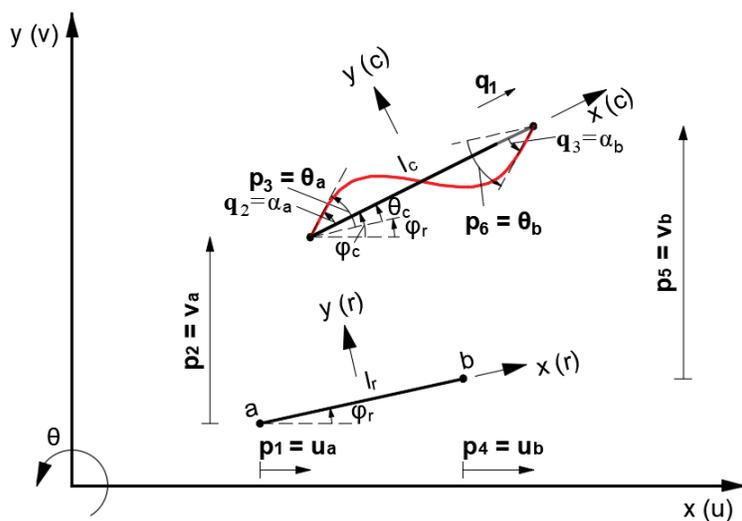


Figura 1 - Elemento finito nas configurações de referência e deformada.

Fonte: Viana et al. (2020).

O vetor de deslocamento no sistema inercial cartesiano é definido por:

$$\mathbf{p}^T = \{u_a; v_a; \theta_a; u_b; v_b; \theta_b\}. \quad (1)$$

Por outro lado, o vetor local de deslocamentos é dado por:

$$\mathbf{q}^T = \{q_1; q_2; q_3\} \quad (2)$$

sendo seus componentes calculados pelas relações:

$$q_1 = l_c - l_r \quad (3)$$

$$q_2 = \alpha_a = \theta_a - \theta_c = p_3 - \varphi_c + \varphi_r \quad (4)$$

$$q_3 = \alpha_b = \theta_b - \theta_c = p_6 - \varphi_c + \varphi_r \quad (5)$$

Na Eq. (3), as variáveis l_r e l_c se referem ao comprimento da corda que une os nós do elemento na configuração de referência e corrente, respectivamente, sendo dados por:

$$l_r = [(x_b - x_a)^2 + (y_b - y_a)^2]^{\frac{1}{2}} \quad (6)$$

$$l_c = [(x_b - x_a + p_4 - p_1)^2 + (y_b - y_a + p_5 - p_2)^2]^{\frac{1}{2}} \quad (7)$$

O ângulo corrente do sistema local em relação ao sistema global é φ_c e pode ser obtido com o auxílio das expressões:

$$\text{sen } \varphi_c = \frac{1}{l_c} [y_b - y_a + p_5 - p_2] \quad (8)$$

$$\text{cos } \varphi_c = \frac{1}{l_c} [x_b - x_a + p_4 - p_1] \quad (9)$$

A diferenciação das expressões (3) a (5) em relação aos graus de liberdade cartesianos conduz a

$$\delta \mathbf{q} = \mathbf{B} \delta \mathbf{p} \quad (10)$$

com

$$\mathbf{B} = \begin{bmatrix} -c & -s & 0 & c & s & 0 \\ -s/l_c & c/l_c & 1 & s/l_c & -c/l_c & 0 \\ -s/l_c & c/l_c & 0 & s/l_c & -c/l_c & 1 \end{bmatrix} \quad (11)$$

As derivadas segundas dos graus de liberdade locais em relação aos graus de liberdade globais também são necessárias e podem ser agrupadas em três matrizes simétricas \mathbf{G}_a (6x6), com a variando de 1 a 3. Dessa forma, as matrizes \mathbf{G}_1 , \mathbf{G}_2 e \mathbf{G}_3 agrupam as derivadas segundas de q_1 , q_2 e q_3 em relação aos graus de liberdade globais, respectivamente. Tais matrizes são dadas explicitamente em da Silva et al. (2018).

2.2 Campo de deslocamentos

A Fig. 2 mostra a cinemática de um elemento de pórtico plano com base na hipótese de Euler-Bernoulli.

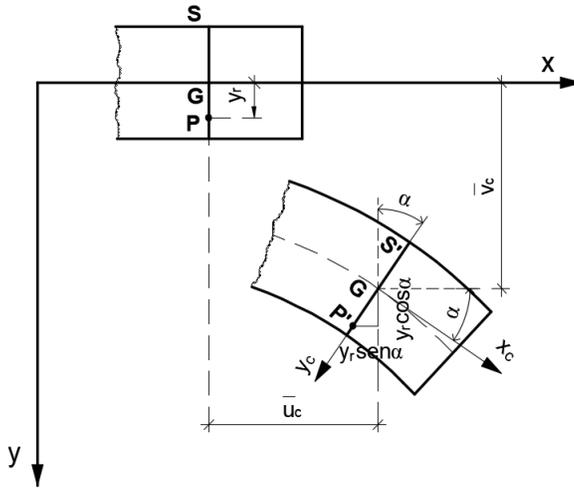


Figura 2 - Cinemática de um elemento de pórtico plano segundo a teoria de Euler-Bernoulli.

Fonte: Viana et al. (2020).

O campo de deslocamentos de um determinado ponto localizado na seção transversal **S**, adotando-se aproximações de segunda ordem para as funções seno e cosseno, é dado por:

$$u_c(x, y) = \bar{u}_c(x) - y_r \alpha \quad (12)$$

$$v_c(x, y) = \bar{v}_c(x) - y_r \frac{\alpha^2}{2} \quad (13)$$

onde u_c e v_c são os deslocamentos axial e transversal do ponto no sistema corrotacional, respectivamente; y_r é a distância de um ponto arbitrário da seção transversal ao eixo da barra; e o termo α , a rotação da seção transversal na qual ele se encontra.

Como demonstrado em da Silva et al. (2018), a rotação da seção transversal pode ser obtida pela expressão:

$$\alpha = \arctan\left(\frac{\bar{v}'_c}{1 + \bar{u}'_c}\right) \quad (14)$$

2.3 Campo de deformação

Com base no campo de deslocamentos, a expressão analítica do campo de deformação pode ser deduzida, chegando-se a:

$$\varepsilon_x = (1 + \bar{u}'_c) \sec \alpha - 1 - y_r \alpha' \quad (15)$$

Interpolando os deslocamentos do eixo da barra \bar{u}_c e \bar{v}_c por uma função linear e cúbica, respectivamente, chega-se à expressão final do campo de deformação (SILVA, 2010).

$$\bar{\varepsilon}_x = \frac{q_1}{l_r} + \left(1 + \frac{q_1}{l_r}\right) \left(\frac{q_2^2}{15} + \frac{q_3^2}{15} - \frac{q_2 q_3}{30}\right) - y_r (\Psi_2'' q_2 + \Psi_3'' q_3) \quad (16)$$

onde

$$\Psi_2''(x_r) = \left(\frac{6x_r}{l_r^2} - \frac{1}{l_r}\right) \quad (17)$$

$$\Psi_3''(x_r) = \left(\frac{6x_r}{l_r^2} + \frac{1}{l_r}\right) \quad (18)$$

2.4 Vetor de forças e matriz de rigidez tangente

O Princípio dos Trabalhos Virtuais (PTV) é utilizado para obter a matriz de rigidez e o vetor de forças do elemento. O PTV estabelece que o trabalho interno de deformação é igual ao trabalho realizado pelas forças externas. Portanto, tem-se que:

$$\int_{V_r} \sigma_x \delta \varepsilon_x dV_r = \mathbf{P}^T \delta \mathbf{p} \quad (19)$$

onde dV_r é o volume do elemento na configuração de referência, σ_x é a tensão normal, $\delta \varepsilon_x$ é a deformação longitudinal virtual e \mathbf{P} é o vetor de forças nodais do elemento.

A deformação longitudinal virtual é dada por:

$$\delta \varepsilon_x = \mathbf{e}_\varepsilon^T \mathbf{B} \delta \mathbf{p} \quad (20)$$

onde \mathbf{e}_ε é um vetor (3x1) que contém as derivadas do campo de deformação em relação aos graus de liberdade corrotacionais, isto é, $\varepsilon_{x,a} = d\varepsilon_x/dq_a$.

Substituindo Eq. (20) na Eq. (19), tem-se que:

$$\mathbf{P} = \mathbf{B}^T \mathbf{Q} \quad (21)$$

onde \mathbf{Q} é o vetor de forças do elemento no sistema corrotacional, dado por:

$$\mathbf{Q} = \int_{V_r} \sigma_x \mathbf{e}_\varepsilon dV_r \quad (22)$$

Por diferenciação da Eq. (21), obtém-se a matriz de rigidez tangente do elemento, a qual pode ser expressa como:

$$\mathbf{K}_t = \mathbf{B}^T \mathbf{D} \mathbf{B} + Q_1 \mathbf{G}_1 + Q_2 \mathbf{G}_2 + Q_3 \mathbf{G}_3 + \mathbf{B}^T \mathbf{H} \mathbf{B} \quad (23)$$

onde

$$\mathbf{D} = \int_{V_r} D \mathbf{e}_\varepsilon \mathbf{e}_\varepsilon^T dV_r \quad (24)$$

sendo D a rigidez tangente de uma fatia da seção transversal do elemento, dada por $D = d\sigma / d\varepsilon$

e

$$\mathbf{H} = \int_{V_r} \sigma_x \mathbf{E}_\varepsilon dV_r \quad (25)$$

sendo E_ε uma matriz simétrica (6x6) que contém as derivadas segundas do campo de deformação em relação aos graus de liberdade naturais, isto é, $\varepsilon_{\alpha,\beta} = d^2 \varepsilon_x / dq_\alpha dq_\beta$, com α e β variando de 1 a 3.

O primeiro termo à direita na Eq. (23) se refere à matriz de rigidez constitutiva, enquanto que os demais termos compõem a matriz de rigidez geométrica.

A formulação descrita acima está implementada no programa PPLANLEP, o qual será utilizado no presente estudo.

3 I CURVAS DE RESISTÊNCIA ADOTADAS PELA ABNT NBR 8800:2008 E EUROCODE 3

Nesta seção são apresentadas as curvas de flambagem prescritas pela ABNT NBR 8800 (2008) e EN 1993-1-1 (2005) (Eurocode 3). As curvas múltiplas prescritas pelo Eurocode 3 se respaldam nos estudos experimentais de Stinfesco (1970) e Jacquet (1970) e nos estudos teóricos de Beer e Schultz (1970) e levam em consideração uma imperfeição geométrica inicial com flecha máxima no meio do vão igual a $L/1000$. Por outro lado, a curva única de flambagem adotada pela ABNT NBR 8800 corresponde à curva única de flambagem do AISC (2005). Tal curva coincide com a curva 2P proposta pelo *Structural Stability Research Council* (SSRC), que incorpora imperfeição geométrica inicial senoidal com excentricidade máxima igual a $L/1470$. A não adoção do conceito das curvas múltiplas se respalda na manutenção da simplicidade dos critérios de projeto e na possível inadequação das curvas múltiplas para casos específicos, havendo, portanto, a necessidade de realização de estudos adicionais (ZIEMIAN, 2010).

3.1 Curva para flambagem prescrita pela ABNT NBR 8800:2008

A ABNT NBR 8800 (2008) propõe a aplicação da curva única prescrita pelo *American Institute of Steel Construction* (AISC) para perfis laminados e soldados. A Eq. (26) é aplicada no cálculo da força axial resistente de cálculo $N_{c,Rd}$:

$$N_{c,Rd} = \frac{\chi Q A f_y}{\gamma_{a1}} \quad (26)$$

onde χ e Q são fatores de redução relacionados à flambagem global e local, respectivamente; A é a área bruta da seção transversal; f_y é a resistência ao escoamento do aço; e γ_{a1} é o coeficiente de ponderação da resistência ($\gamma_{a1} = 1,1$).

O fator de redução da resistência à compressão é calculado por:

$$\chi = 0,658 \lambda_0^2 \text{ para } \lambda_0 \leq 1,5 \quad (27)$$

$$\chi = \frac{0,877}{\lambda_0^2} \text{ para } \lambda_0 > 1,5 \quad (28)$$

sendo λ_0 o índice de esbeltez reduzido dado por:

$$\lambda_0 = \sqrt{QAf_y/N_e} \quad (29)$$

onde N_e é a força crítica de flambagem elástica da barra, calculado pela expressão:

$$N_e = \frac{\pi^2 EI}{(KL)^2} \quad (30)$$

sendo E o módulo de elasticidade do aço; I o momento de inércia da seção transversal e KL o comprimento de flambagem por flexão.

3.2 Curva para flambagem prescrita pelo Eurocode 3

As curvas de flambagem adotadas na norma europeia EN 1993-1-1 (2005), conhecida como Eurocode 3 (EC3), foram elaboradas com base nos estudos teóricos e experimentais conduzidos pelo *European Convention for Constructional Steelwork* (ECCS). Essas curvas se diferem pelo valor do coeficiente de imperfeição α e são obtidas pela expressão:

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \lambda_0^2}} \leq 1,0 \quad (31)$$

onde

$$\phi = 0,5[1 + \alpha(\lambda_0 - 0,2) + \lambda_0^2] \quad (32)$$

O valor do coeficiente de imperfeição α pode ser obtido por meio da Tab. 1.

Curva	a_0	a_1	a_2	a_3	a_4
α	0,13	0,21	0,34	0,49	0,76

Tabela 1 – Coeficiente de imperfeição.

A curva a_0 é direcionada aos casos de aço com resistência de escoamento f_y superior a 460 Mpa, sendo restrita aos casos de perfis laminados de seção I cuja relação altura do perfil (d) / largura das mesas (b_f) é maior que 1,2 e a espessura das mesas t_f é inferior a 40 mm. Além disso, a curva a_0 se aplica aos tubos de seção circular, quadrada ou retangular acabados a quente (BATISTA et al., 2010).

4 | EXEMPLOS NUMÉRICOS E DISCUSSÃO

Com o propósito de estudar os efeitos das tensões residuais e das imperfeições geométricas na resistência à compressão em torno do eixo de menor inércia de pilares de aço, adota-se como referência o perfil laminado W200x46,1, aço ASTM A36, padrão GERDAU-AÇOMINAS, com diferentes índices de esbeltez (20, 40, 60, 80, 90, 100, 120, 140, 160, 180 e 200). O comprimento do pilar foi dividido em 10 elementos e a seção transversal discretizada em 50 fatias, sendo 20 fatias para as mesas e 10 fatias para a alma (ver Fig.

3). O módulo de elasticidade do aço E foi de 20.500 kN/cm², e a tensão de escoamento σ_y igual a 25 kN/cm². A tensão residual de compressão máxima σ_{rc} foi considerada igual a $0,5f_y$, conforme recomendação da ECCS. O raio de giração em relação ao eixo de menor inércia é igual 5,12 cm. Admite-se que o material é elástico-perfeitamente plástico e que as tensões residuais estão distribuídas conforme apresentado na Tab.2. As imperfeições geométricas iniciais foram incluídas nas análises considerando duas configurações: Linear e Senoidal. As curvas de resistência última são traçadas considerando o valor Q, presente na Eq. (26), igual a 1,0.

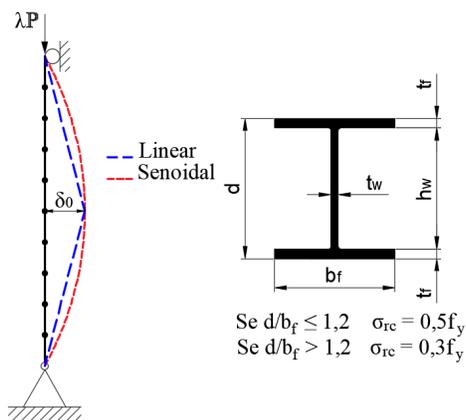


Figura 3 - Pilar birotulado submetido à carga axial.

Configuração	Distribuição		Sigla	Tensão residual de tração
	Mesas	Alma		
	Linear	Sem TR	L0	$\sigma_{rt} = -\sigma_{rc}$
		Constante	LC	$\sigma_{rt} = -\frac{t_f b_f}{t_f b_f + t_w h_w} \sigma_{rc}$ onde: $h_w = d - 2t_f$
		Linear	LL	$\sigma_{rt} = -\sigma_{rc}$
		Sem TR	P0	$\sigma_{rt} = -\frac{\sigma_{rc}}{2}$
	Parabólica	Constante	PC	$\sigma_{rt} = -\frac{2t_f b_f}{4t_f b_f + 3t_w h_w} \sigma_{rc}$
	Parabólica	Parabólica	PP	$\sigma_{rt} = -\frac{t_f b_f + t_w h_w}{4t_f b_f + t_w h_w} 2\sigma_{rc}$

Tabela 2 - Tipos de distribuição das tensões residuais.

4.1 Influência das tensões residuais

A Fig. 4 mostra os gráficos de resistências à compressão do pilar, P/P_y x Índice de esbeltez reduzido (λ_0), em torno do eixo de menor inércia, para as diferentes distribuições de

tensões residuais, conforme apresentadas na Tab. 2. A curva de linha contínua, denominada curva ideal, representa o comportamento do pilar livre de tensões residuais e imperfeição geométrica inicial. É possível observar que as tensões residuais reduzem significativamente a resistência de pilares na faixa de $0 < \lambda_0 \leq 1,3$, e não apresentam influência para pilares com $\lambda_0 > 1,3$, quando ocorre a flambagem elástica. Além disso, verifica-se que a distribuição de tensão residual linearmente nas mesas e constante na alma é mais desfavorável se comparada às demais distribuições. Conclui-se também que, de forma geral, a distribuição parabólica produz resultados menos conservadores em relação aos casos de distribuição linear nas mesas.

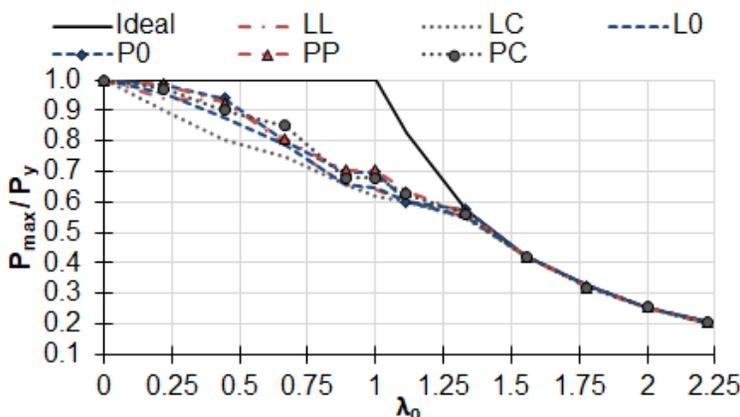


Figura 4 - Curvas de resistência última para distintas configurações de tensões residuais.

A Fig. 5 mostra a variação percentual entre a curva ideal e as curvas que incluem a influência das tensões residuais. Observa-se que na faixa de $0,0 < \lambda_0 \leq 1,0$ há um aumento da variação percentual entre a curva ideal e as curvas com o efeito das tensões residuais, onde o percentual de variação máximo produzido foi de, aproximadamente, 40%, originado pela distribuição de tensão residual linear nas mesas e constante na alma (LC). A partir do índice de esbelteza reduzido $\lambda_0 = 1,0$, a diferença percentual entre a curva ideal e as curvas com o efeito das tensões residuais é fortemente reduzida, chegando a ser menor que 5% a partir de $\lambda_0 \geq 1,3$, região na qual ocorre a flambagem elástica.

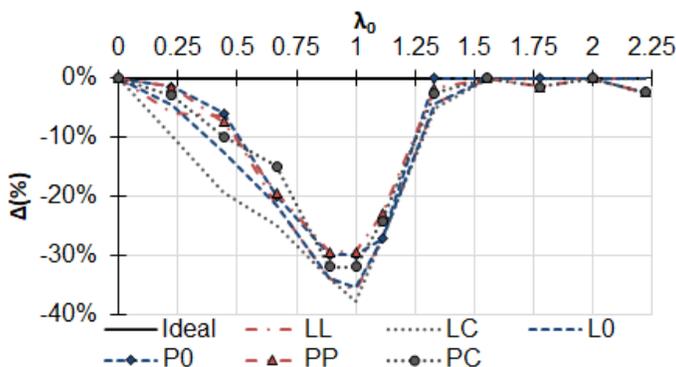


Figura 5 - Comparação das curvas de resistência do pilar com e sem tensões residuais.

4.2 Influência da configuração das imperfeições geométricas iniciais

Conforme destacado por Castro (2007), no âmbito das análises numéricas, a configuração das imperfeições geométricas iniciais adotadas e correspondentes amplitudes podem afetar consideravelmente os valores de cargas últimas a serem obtidas numericamente. A Fig. 6 mostra as curvas de resistência última para o eixo de menor inércia considerando diferentes configurações para a elástica de imperfeição geométrica inicial. Além disso, foram adotadas distintas magnitudes para a flecha máxima no meio do vão $d\theta$, a qual é considerada igual a $L/500$, $L/750$, $L/1000$, $L/1250$, $L/1500$. A partir da Fig.6, observa-se que as respostas do pilar com imperfeição geométrica inicial na forma linear (L) e meia curva de seno (S) se diferem, produzindo a segunda, resultados levemente mais conservadores. Percebe-se que as imperfeições geométricas iniciais diminuem a resistência em toda a região de esbeltez, sendo essa redução mais significativa na região $0,4 \leq \lambda_0 \leq 1,4$.

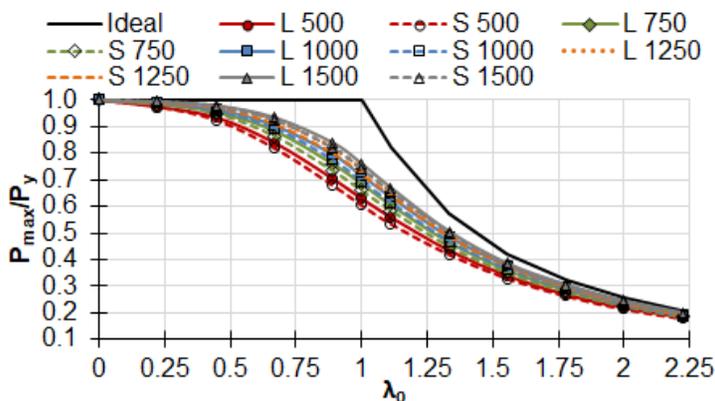


Figura 6 - Curvas de resistência última para as diferentes configurações de imperfeição geométrica inicial.

A Fig.7 mostra a variação percentual entre a curva ideal e as curvas que incluem a influência da imperfeição geométrica inicial. Ao observar essa figura, fica nítida a importância da consideração da imperfeição geométrica inicial no dimensionamento de pilares de aço. Nota-se que tais imperfeições produzem uma redução mais significativa na região com índice de esbeltez intermediário ($0,4 \leq \lambda_0 \leq 1,4$), onde a diferença percentual máxima foi de, aproximadamente, 40%, originada pela adoção de uma elástica no formato de meia curva de seno com $\delta_0 = L/500$ no meio do vão. Verifica-se ainda que a diferença entre as respostas obtidas com as configurações linear (L) e senoidal (S) é mais acentuada na região de $\lambda_0 \geq 1,0$.

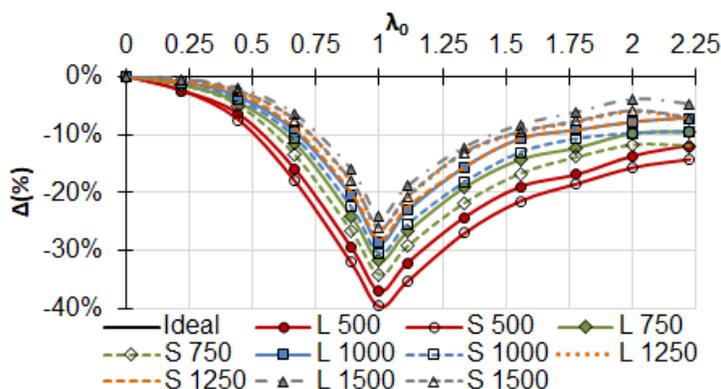


Figura 7 - Comparação entre as curvas de resistência do pilar com e sem imperfeição geométrica inicial.

4.3 Combinação dos dois fatores

A Fig. 8 apresenta os gráficos de resistência última para os seguintes casos: distribuição de tensões residuais com variação linear nas mesas e constante na alma (LC); elástica de imperfeição geométrica como meia curva de seno com flecha máxima d_0 igual a $L/1000$ (S 1000); e a combinação desses dois fatores (LC – S 1000). A partir do gráfico, percebe-se que o máximo efeito considerando os fatores isolados ou combinados, sempre ocorre quando o índice de esbeltez λ_0 está próximo de 1,0, conforme evidenciado nas Figs. 5 e 7. É interessante ressaltar que nem sempre a combinação dos dois fatores irá resultar em uma situação mais desfavorável, conforme evidenciado na Fig. 8 no trecho $\lambda_0 \leq 0,6$, no qual a combinação dos dois fatores mostrou-se ser menos conservadora em relação a influência das tensões residuais de forma isolada. Cabe ainda ressaltar que isso se deve ao fato do mecanismo de falha de pilares curtos estar principalmente ligado à diminuição de rigidez devido à plastificação da seção transversal, justificando, portanto, uma maior influência do formato de distribuição das tensões residuais no perfil.

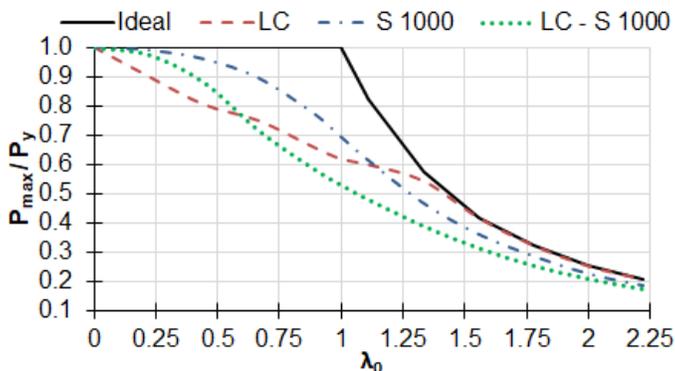


Figura 8 - Curva de resistência última considerando o efeito combinado de tensão residual e imperfeição geométrica inicial.

5 I COMPARAÇÃO COM AS NORMAS ABNT NBR 8800:2008 E EC3

A Fig. 9 exibe a curva de resistência última do pilar em torno do eixo de menor inércia considerando as tensões residuais, distribuídas linearmente nas mesas e constante na alma, e imperfeição geométrica inicial como meia curva de seno, sendo $\delta_0 = L/1000$ no meio do vão (ver curva LC – S 1000). Tal curva é comparada às curvas de dimensionamento propostas pela ABNT NBR 8800 (2008) e Eurocode 3 (EC3), com e sem o coeficiente de ponderação da resistência. A ABNT NBR 8800 (2008) adota o coeficiente de ponderação da resistência $\gamma = \gamma_{a1} = 1,1$ (ver Eq. (26)) para colunas enquanto a norma europeia utiliza $\gamma = 1,0$.

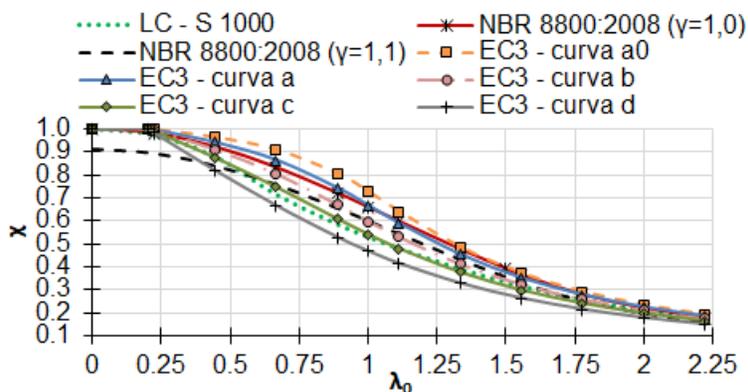


Figura 9 - Comparação com as normas ABNT NBR 8800:2008 e Eurocode 3.

Na Fig. 9, observa-se que a curva “c” proposta pelo Eurocode 3 descreve um comportamento semelhante, em toda a faixa de esbeltez, ao da curva obtida pelo software PPLANLEP. Adicionalmente, verifica-se que a curva obtida numericamente (LC – S 1000) permanece entre as curvas “b” e “c” propostas pela norma europeia, aproximando-se da

curva “c” na região $(0,0 \leq \lambda_0 \leq 1,3)$ e da curva “b” na região $\lambda_0 > 1,3$. Com base na Fig. 10, observa-se que, para o eixo de menor inércia, a curva única prescrita pela ABNT NBR 8800 (2008) apresenta diferença máxima em torno de 15% e 25% em relação à curva obtida numericamente, para o trecho próximo de $\lambda_0 = 1,0$, com e sem a inclusão do coeficiente de ponderação da resistência, respectivamente.

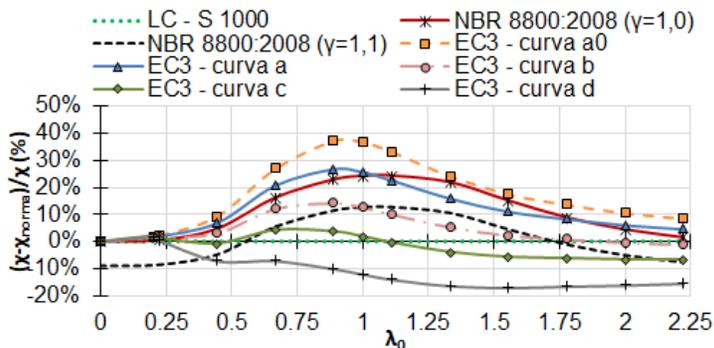


Figura 10 - Comparação com as normas ABNT NBR 8800:2008 e Eurocode 3.

6 I CONCLUSÕES

Este trabalho teve como objetivo apresentar um estudo sobre a influência da distribuição das tensões residuais nas mesas e alma do perfil e das imperfeições geométricas iniciais na resistência de pilares de aço com perfis “I” sob compressão centrada, submetidos à flexão em torno do eixo de menor inércia.

Foi possível observar que a configuração de distribuição de tensão linearmente nas mesas e constante na alma (LC) é mais conservadora em relação às demais configurações de tensões residuais estudadas, produzindo uma diferença percentual máxima de, aproximadamente, 40% em relação às respostas do pilar ideal. Adicionalmente, verificou-se que a influência das tensões residuais é fortemente reduzida a partir de $\lambda_0 = 1,0$, chegando a ser menor que 5% a partir de $\lambda_0 \geq 1,3$, região na qual ocorre a flambagem elástica.

A partir do estudo sobre a influência das imperfeições geométricas iniciais, verificou-se que as imperfeições geométricas iniciais produzem uma redução mais significativa na região de esbeltez intermediária $0,4 \leq \lambda_0 \leq 1,4$, conforme destacado por Almeida e Lavall (ALMEIDA; LAVALL, 2007).

Ao avaliar o efeito combinado das tensões residuais e imperfeições geométricas iniciais, observou-se que nem sempre a combinação desses dois fatores irá resultar em uma situação mais desfavorável, como no caso de pilares curtos, onde o efeito combinado das tensões residuais e imperfeição geométrica inicial mostrou ser menos conservador em relação a influência das tensões residuais de forma isolada. É evidente que tal ocorrência irá depender principalmente da distribuição das tensões residuais ao longo do perfil

adotada para a análise numérica. Verificou-se também que, o máximo efeito considerando os fatores isolados ou combinados, sempre ocorre quando o índice de esbeltez λ_0 está próximo de 1,0.

Ao comparar os resultados obtidos com às curvas de flambagem prescritas pelas normas ABNT NBR 8800:2008 e EN1993-1-1, percebeu-se a inadequação do uso da curva única de resistência proposta pela norma brasileira para o eixo de menor inércia, a qual apresentou uma diferença máxima em torno de 15% e 25% em relação à curva obtida numericamente para o trecho próximo de $\lambda_0 = 1,0$, com e sem a inclusão do coeficiente de ponderação da resistência, respectivamente. Além disso, notou-se que a utilização da curva de resistência “c”, presente na norma europeia faz-se mais assertiva para o dimensionamento de pilares submetidos à flexão em torno do eixo de menor inércia.

AGRADECIMENTOS

Os autores são gratos ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais pelo suporte fornecido para a realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS

ABNT, N. B. R. 8800: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios. **Associação Brasileira de Normas Técnicas**, 2008.

ALMEIDA, A. C. B.; LAVALL, A. C. C. Influência das tensões residuais na resistência de pilares de aço considerando a análise avançada com plasticidade distribuída. **Rem: Revista Escola de Minas**, v. 60, n. 2, p. 391–399, 2007.

ALPSTEN, G. A.; TALL, L. **Residual stresses in heavy welded shapes**. American Welding Society, 1970.

ANSI, A. **AISC 360-05: Specifications for structural steel buildings**. Chicago (IL) American Institute of Steel Construction, , 2005.

BATISTA, E. M. et al. Resistência de barras comprimidas de aço: curvas de flambagem para perfis laminados a quente e soldados, formados a frio e tubulares. **Construmetal 2010**, 2010.

BEER, H.; SCHULTZ, G. Theoretical basis for the European column curves. **Construction Metallique**, v. 3, p. 58, 1970.

CEN, E. N. 1-1-Eurocode 3: Design of steel structures-Part 1-1: General rules and rules for buildings. **European Committee for Standardization, Brussels**, 2005.

CHEN, W.-F.; KIM, S.-E. **LRFD steel design using advanced analysis**. Boca Raton: CRC press, 1997. v. 13

- DA SILVA, R. G. L. et al. Formulation for second-order inelastic analysis of steel frames including shear deformation effect. **Journal of Constructional Steel Research**, v. 151, 2018.
- DE CASTRO ALMEIDA, S. J. **Análise numérica de perfis de aço formados a frio comprimidos considerando imperfeições geométricas iniciais**. São Carlos: Dissertação de Mestrado — Universidade de São Paulo, 2007.
- DIAS, T. C. **Análise de estruturas reticuladas em aço em temperaturas elevadas**. 2018.
- GALAMBOS, T. V. **Guide to stability design criteria for metal structures**. John Wiley & Sons, 1998.
- GONÇALVES, G. A.; SILVA, A. R. D.; SILVEIRA, R. A. M. Avaliação do comportamento inelástico de colunas e pórticos metálicos com flexão em torno do eixo de menor inércia. **Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería**, v. 32, n. 1, p. 13–21, 2016.
- JACQUET, J. Column Buckling Tests and Their Statistical Evaluation. **Construction Métallique**, v. 7, n. 3, 1970.
- KIM, S.-E.; CHEN, W.-F. Practical advanced analysis for braced steel frame design. **Journal of Structural Engineering**, v. 122, n. 11, p. 1266–1274, 1996.
- LAVALL, A. C. C. **Uma formulação teórica consistente para a análise não linear de pórticos planos pelo método dos elementos finitos considerando barras com imperfeições iniciais e tensões residuais na seção transversal**. São Carlos: Tese de Doutorado — Universidade de São Paulo, 1996.
- LIEW, J. Y. R.; WHITE, D. W.; CHEN, W.-F. Second-order refined plastic-hinge analysis for frame design. Part I. **Journal of Structural Engineering**, v. 119, n. 11, p. 3196–3216, 1993.
- MESQUITA, L. C.; GOMES, A. F. F.; LEÃO, F. S. Simulação computacional de pilares de aço submetidos à compressão axial. **REEC-Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, v. 15, n. 2, p. 203–2016, 2019.
- SILVA, R. G. L. **Análise inelástica avançada de pórticos planos de aço considerando as influências do cisalhamento e de ligações semirrígidas**. Belo Horizonte.: Tese de Doutorado — Universidade Federal de Minas Gerais, 2010.
- STINFESCO, D. Experimental basis for European column curves. **Construction Metallique**, v. 7, 1970.
- VIANA, H. F. et al. Formulation for nonlinear dynamic analysis of steel frames considering the plastic zone method. **Engineering Structures**, v. 223, p. 111197, 15 nov. 2020.
- ZIEMIAN, R. D. **Guide to stability design criteria for metal structures**. 6th. ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2010.

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

COLEÇÃO

DESAFIOS DAS ENGENHARIAS:

ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO

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