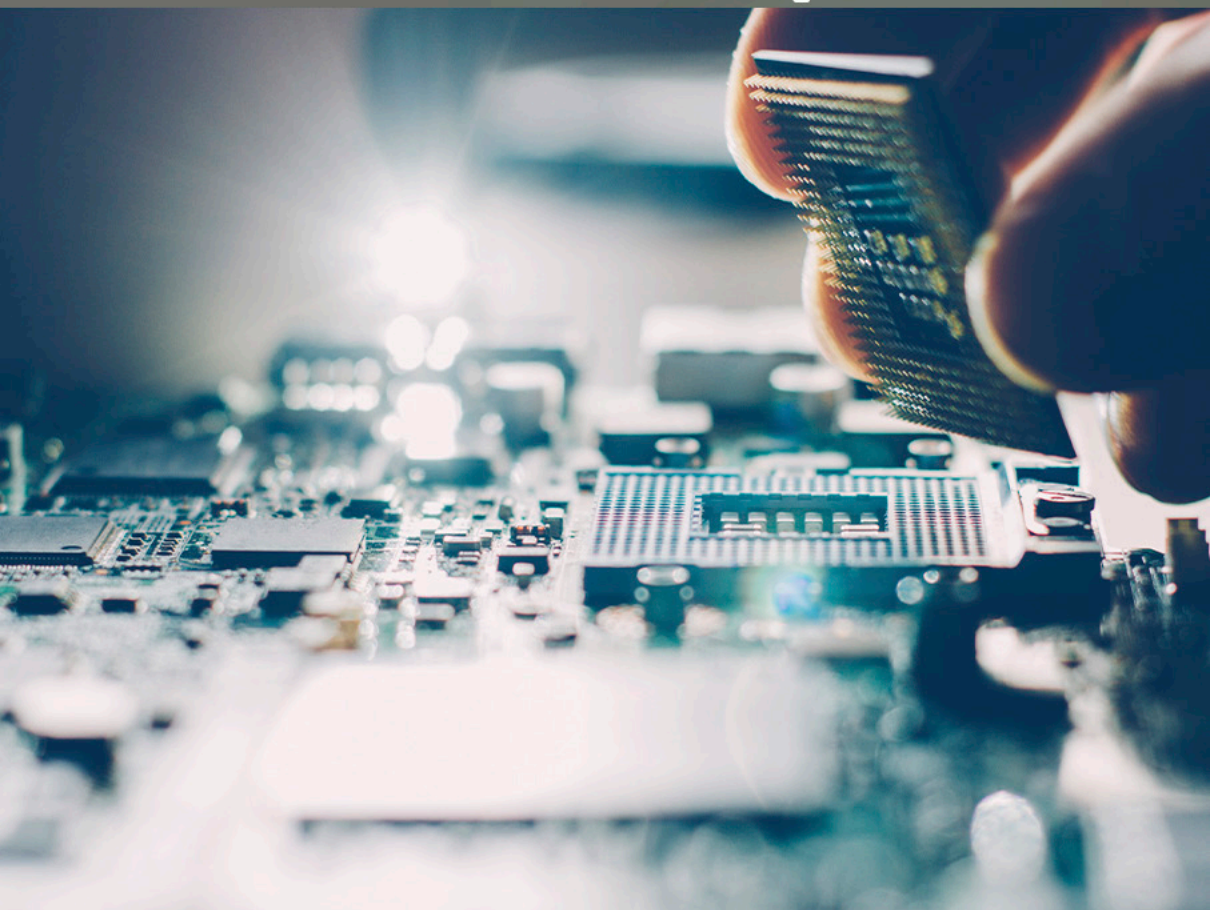


COLEÇÃO  
**DESAFIOS**  
DAS  
**ENGENHARIAS:**

ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO

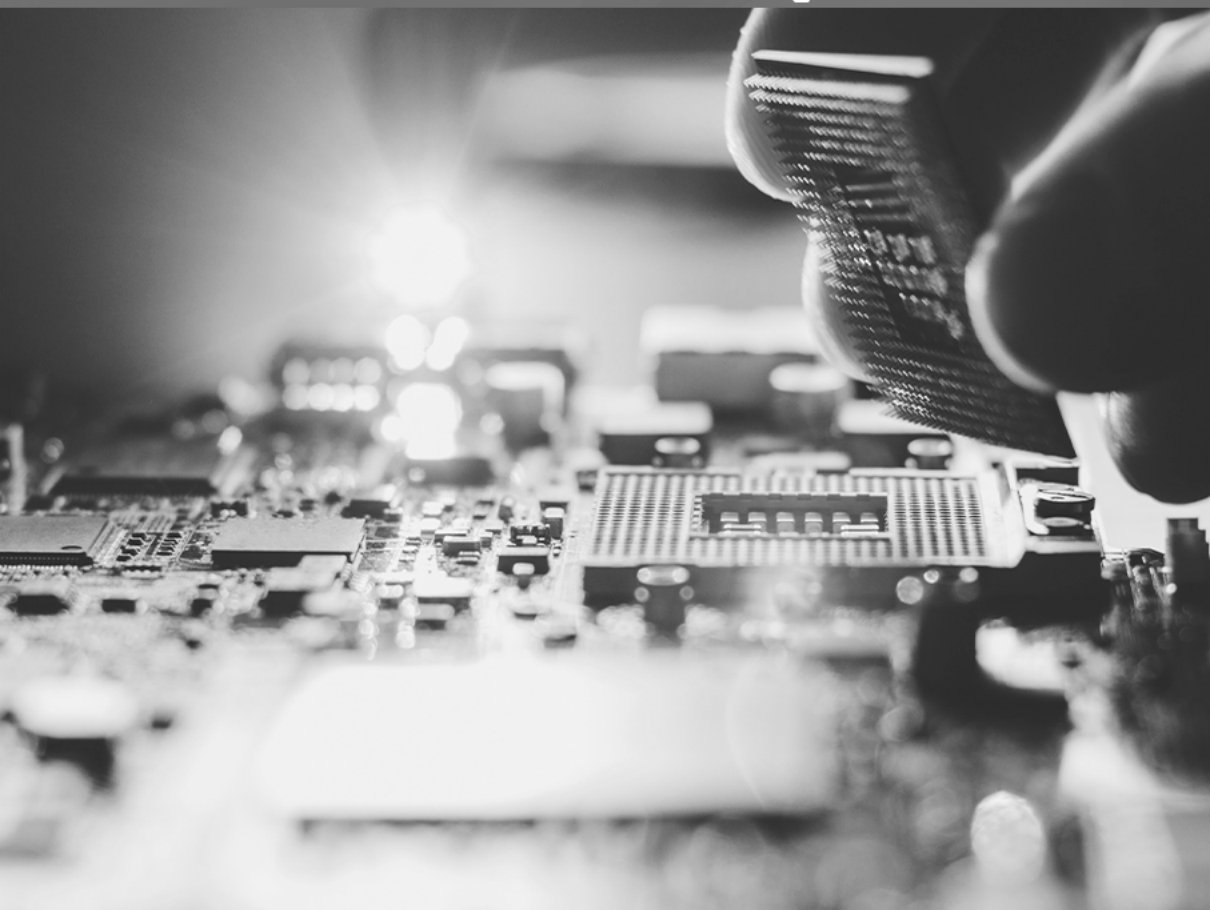


ERNANE ROSA MARTINS  
(ORGANIZADOR)

 **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 Federaci 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 Gonçalo 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



## 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 Giraldi

 <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>

## APPLICATION OF A MULTIOBJECTIVE OPTIMIZATION PARETO APPROACH TO DESIGN THE SDRE CONTROLLER FOR A RIGID-FLEXIBLE SATELLITE

*Data de aceite: 02/08/2021*

**Luiz Carlos Gadelha de Souza**

Federal University of ABC- Sao Bernardo do  
Campo – SP – Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/5801699053436537>

**ABSTRACT:** Complex space missions involving large angle maneuvers and rapid attitude control, require new non-linear control techniques to design the Satellite Control System (SCS) in order to have reliability and adequate performance. In that context, one investigates a new SCS technique based on the State Dependent Riccati Equation (SDRE) methodology which can be considered as an adaptive form of the Linear Quadratic Regulator (LQR) but which allows to deal with the non linearities of the system. A nonlinear mathematical model of a flexible rotatory beam is built through the Lagrangian formulation where the flexible displacement is modelled using the assumed modes theory and a structural damping is added applying the Rayleigh technique. The SDRE controller objectives are to control the hub angular position and simultaneously to damp the flexible displacements. A computational procedure is developed which allows drawing a performance map of the system showing all SDRE reachable performances. Using this control algorithm one can obtain the Pareto's border representing the set of optimal performances. On the other hand, analyzing the influence of the weight matrixes terms, it is shown that it is possible to get the Pareto's border performances

using only a few terms of the SDRE weight matrixes. On the basis of this analysis, a control law enabling to get weight matrixes' values as a function of a required performance is developed. Last of all, state dependent weight matrixes are used to show that they can improve the system performance. Based on the results, it turned out that the SDRE's performance is better than the LQR's one, not only because it can deal with non linearities, but also because its design is more flexible and permits to control the rigid-flexible satellite in the same time interval and spending less energy.

**KEYWORDS:** Nonlinear control law, rigid-flexible satellite, sdre method.

### APLICAÇÃO DE UMA ABORDAGEM DE PARETO DE OTIMIZAÇÃO MULTIOBJETIVA PARA PROJETAR O CONTROLADOR SDRE PARA UM SATÉLITE RÍGIDO-FLEXÍVEL

**RESUMO:** Missões espaciais complexas envolvendo manobras de grande ângulo e rápido controle de atitude requerem novas técnicas de controle não linear para projetar o Sistema de Controle de Satélite (SCS) a fim de ter confiabilidade e desempenho adequado. Nesse contexto, investiga-se uma nova técnica SCS baseada na metodologia State Dependent Riccati Equation (SDRE) que pode ser considerada uma forma adaptativa do Regulador Linear Quadrático (LQR), mas que permite lidar com as não linearidades do sistema. Um modelo matemático não linear de uma viga rotatória flexível é construído através da formulação Lagrangiana onde o deslocamento flexível é

modelado usando a teoria dos modos assumidos e um amortecimento estrutural é adicionado aplicando a técnica de Rayleigh. Os objetivos do controlador SDRE são controlar a posição angular do cubo e, simultaneamente, amortecer os deslocamentos flexíveis. É desenvolvido um procedimento computacional que permite desenhar um mapa de desempenho do sistema mostrando todos os desempenhos alcançáveis do SDRE. Usando este algoritmo de controle, pode-se obter a fronteira de Pareto que representa o conjunto de desempenhos ideais. Por outro lado, analisando a influência dos termos das matrizes de peso, mostra-se que é possível obter os desempenhos de fronteira de Pareto usando apenas alguns termos das matrizes de peso SDRE. Com base nesta análise, é desenvolvida uma lei de controle que permite obter os valores das matrizes de peso em função de um desempenho necessário. Por último, as matrizes de peso dependentes do estado são usadas para mostrar que podem melhorar o desempenho do sistema. Com base nos resultados, constatou-se que o desempenho do SDRE é melhor que o do LQR, não só porque pode lidar com não linearidades, mas também porque seu design é mais flexível e permite controlar o satélite rígido-flexível no mesmo intervalo de tempo e gastando menos energia.

**PALAVRAS-CHAVE:** Lei de controle não linear, satélite rígido-flexível, método sdre.

## INTRODUCTION

The main interest of the SDRE method (Cloutier et al., 1996) is that it is a systematic approach that can deal with non-linear plant. A good state of the art about SDRE theory can be found in (Cimen, 2008). The idea of SDRE is to linearize the plant around the instantaneous point of operation, producing a constant state-space model and then calculate the controller as in LQR control technique (Souza, 2006). The process is repeated at each sampling periods producing and controlling several state dependent linear models out of a non-linear one. In other words, a SDRE controller is an adaptive LQR. Feasibility in real time could be a problem as the computation time for calculating the controller (solving the Algebraic Riccati Equation ARE) has to be inferior to the sampling time of the system. Therefore, several simulations have proven the computationally feasibility for real time implementation as in control of missiles (Menon, et al., 2002) and helicopter (Bogdanov and Wan, 2007). A different approach, also based on an optimization of weight matrix was applied by (Sales et al., 1913) and (Pinheiro and Souza, 2013) to design a control system of flexible satellites. As feasibility has no more to be proven, therefore, this study will focus on simulation and will show benefit of this new nonlinear sdre approach based on the weighting selection as a function of the state.

## SDRE METHODOLOGY

The SDRE control approach is based on the LQR theory which controller  $u$  minimize a quadratic function cost given by

$$J_{LQR} = \frac{1}{2} \int_{t_0}^{\infty} (x^T Q x + u^T R u) dt \quad (1)$$

where  $x \in \mathbb{R}^n$  is the state vector,  $u \in \mathbb{R}^m$  is the control signal, and,  $Q \in \mathbb{R}^{n \times n}$  and  $R \in \mathbb{R}^{m \times m}$  are the weight matrices semi defined positive and defined positive respectively.

The idea of this function is making a trade of between performances using the  $Q$  weight to regulate the “size” of the states  $x$  and energy saving using the  $R$  weight to regulate the control signal  $u$ . Therefore, the SDRE approach is an extension of the LQR controller with the difference that weights  $Q$  and  $R$  can be state dependent:

$$J_{SDRE} = \frac{1}{2} \int_{t_0}^{\infty} (x^T Q(x) x + u^T R(x) u) dt \quad (2)$$

To solve this optimization problem, it is needed to define the specific problem in order to get constraints of the cost function. There are two kinds of constraints: the model and initial conditions. It can be written as:

$$\dot{x} = f(x) + g(x)u, \quad x(t_0) = x_0 \quad (3)$$

Applying a direct parameterization to transform the non-linear system of Eq. 3 into State Dependent Coefficients (SDC) representation (Souza and Gonzales, 2012), the dynamic equation of the system with control can be written in the form

$$\dot{x} = A(x)x + B(x)u \quad (4)$$

The control law is given by

$$u(x) = -R^{-1}(x)B^T(x)P(x)x \quad (5)$$

where  $P(x)$  is the solution of the State Dependent Algebraic Riccati Equation (SDARE).

## EQUATIONS OF MOTIONS OF RIGID-FLEXIBLE SATELLITE

Figure 1 shows a representation of rigid-flexible satellite by a flexible rotatory beam; which consists of a beam fixed to the rotor motor at one end and free at the other one. Euler-Bernoulli beam is used; this means that deformations are considered small. Parameters of the beam are the following: length  $L$ , linear density  $\rho$ , rigidity  $EI_z$  and the rotor motor parameters are: angular position  $\theta(t)$ , which is a rotation along the  $X$ -axis so gravity has no influence, rotor and beam inertia  $I_{eq}$ , a characteristic constant of the motor  $C_m$ , the voltage  $U_m$  and radius of the hub  $r$ . The beam displacement is  $y(x, t)$ . To simplify notation,  $y$  is used without referring to its variables and its partial derivatives relative to the time  $t$  and the position  $x$  are respectively written  $\dot{y}$  and  $y'$ .

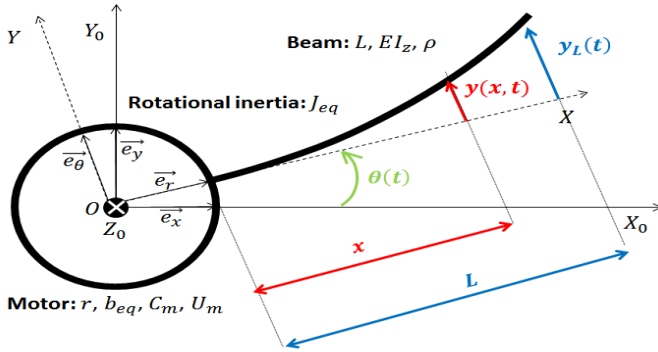


Fig. 1 Representation of the rigid-flexible satellite model.

The assumed mode method supposes that the flexible displacement is a linear combination of products of a space function  $\phi: x \rightarrow \phi(x)$  (also called form) with a time function  $q: t \rightarrow q(t)$  that we will call mode.

$$y(x, t) = \sum_{i=1}^n \phi_i(x) q_i(t) = \Phi^T q = q^T \Phi \quad (6)$$

Lagrange theory permits deriving non-linear motion equations. Full calculation can be found in (Bigot and Souza, 2014).

$$M(q) \begin{bmatrix} \ddot{\theta} \\ \ddot{q} \end{bmatrix} + N(q, \dot{q}, \dot{\theta}) \begin{bmatrix} \dot{\theta} \\ \dot{q} \end{bmatrix} + K \begin{bmatrix} \theta \\ q \end{bmatrix} = F U_m \quad (7)$$

It is a classical vibrating systems equation where  $M$  the mass matrix,  $N$  the damping matrix,  $K$  the rigidity matrix and  $F$  the external force vector.

$$K = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & K_{ff} \end{bmatrix} \quad F = \begin{bmatrix} C_m \\ 0 \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$M = \begin{bmatrix} J_{eq} + q^T M_{ff} q & M_{rf}^T \\ M_{rf} & M_{ff} \end{bmatrix} Q_q \quad N = \begin{bmatrix} b_{eq} + q^T M_{ff} \dot{q} & q^T M_{ff} \dot{\theta} \\ -M_{rf} q \dot{\theta} & \alpha M_{ff} + b K_{ff} \end{bmatrix} \quad (9)$$

$\alpha$  and  $b$  are Rayleigh damping coefficients. It is a technic to model structural damping without having to know all materials properties (Wilson, 1998). Other matrix elements are defined in function of the form function as

$$M_{ff} = \int_0^L \Phi(x) \Phi^T(x) dx, M_{rf} = \rho \int_0^L (r+x) \Phi(x) dx, K_{ff} = EI_z \int_0^L \Phi''(x) \Phi''^T(x) dx \quad (10)$$

One observes that Eq. 7 represent is nonlinear equation of motion of the rigid-flexible satellite and where the mass  $M$  and damping matrix  $N$  are not constants and depends on  $q, \dot{q}$  and  $\dot{\theta}$ .

To be able to apply the SDRE technique, this system has to be represented in the

SDC form, with the system states  $x$  are the rigid mode  $\theta$  and flexible modes  $q$  and their derivatives and control  $u$  are defined by

$$x = [\theta \quad q \quad \dot{\theta} \quad \dot{q}]^T \quad u = U_m \quad (11)$$

Reorganizing Eq. 7, the equations of motions can be put in the classic state space representation given by

$$\dot{x} = \underbrace{\begin{bmatrix} 0 & I \\ -M^{-1}K & -M^{-1}N \end{bmatrix}}_{A(x)} x + \underbrace{\begin{bmatrix} 0 \\ M^{-1}F \end{bmatrix}}_B u \quad (12)$$

One observes that  $a$  and  $b$  are Rayleigh damping coefficients without considering its division into static and dynamics and that  $M$  and  $N$  are clearly states dependent as well as the matrices  $A$  and  $B$  are state dependent too.

### SDRE SIMULATION STRATEGY

As matrix  $A$  and  $B$  depends on the states their values must be determined on every step. So, for every iteration of the simulation, states vector  $x$  is measured, the solution  $P$  is obtained of SDARE, the feedback control  $u$  is determined by Eq. 5 and then, the new matrix  $A$  is obtained. This process is described in the Fig. 2.

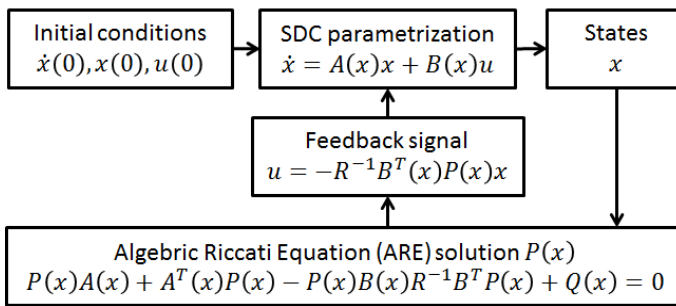


Fig. 2 SDRE Algorithm.

Implementation of this algorithm has been done using the MATLAB-Simulink. The solution of the Algebraic Riccati Equation (ARE) has been found via a S-function [9]. The maximum voltage supply for the motor is  $\pm 15V$ . Referring to performance objectives, those are temporal requirements since the model is non-linear and frequency analysis is not possible. The beam angular position  $\theta$  has to stabilize in the region  $\pm 5\%$  of the command  $\theta_c$  in a minimum setting time:  $T_{r5\%}$ . The flexible deflection at beams extremity  $y_L$  has to be as smaller as possible and can't be higher than  $\pm 1.5[cm]$ .

Table 1 shows the values used for the simulation. It has been used 2 flexible modes. All results of simulation are obtained with the weight  $R = 1$ . The command signal used for

all this study is  $\theta_c = 90^\circ$ .

Beam	Values	Motor	Values
L	41.9 cm	$b_{eq}$	$0.146 \text{ kg m}^2 \text{ s}^{-1}$
$EI_z$	$0.0913 \text{ N m}$	$J_{eq}$	$0.00753 \text{ kg m}^2$
P	0	$C_m$	$0.1282 \text{ N V}^{-1}$

Table 1: model parameters values.

From the cost function represented by Eq. 2 it can be noted that weight  $Q$  is linked with the states  $x$ .  $Q$  weight is responsible for performance of the system.  $Q$  is a  $(n+1) \times (n+1)$  matrix where  $n$  is the number of flexible modes. In order to influence each state independently  $Q$  has to be chosen a diagonal matrix, like :  $\text{diag} \{Q_\theta, Q_q, Q_\theta, Q_q\}$ . Increase  $Q$  results in faster regulation of the associated state. This insight comes from the analysis of the function cost Eq.(2). Let  $x$  be a state of this system and  $Q_x$  its associated weight. Increasing the state  $x$  coefficient  $Q_x$  results in an increasing value of  $x^T Q_x x$ . To minimize this quantity,  $x$  has to reach the equilibrium value faster than other states. Weight terms can be seen as states penalties.

## INFLUENCE OF THE EACH TERMS OF MATRIX Q

Figure 3 shows the influence of each terms of  $Q$  independently. One observes that increasing  $Q_\theta$  leads to a faster system because  $\theta$  state has to reach the equilibrium faster.  $Q_q$  and  $Q_q$  penalize flexible modes so one can see that the displacement is smaller when the weights increase. Finally  $Q_\theta$  penalize the angular speed, that's why the system takes a longer time to set up.

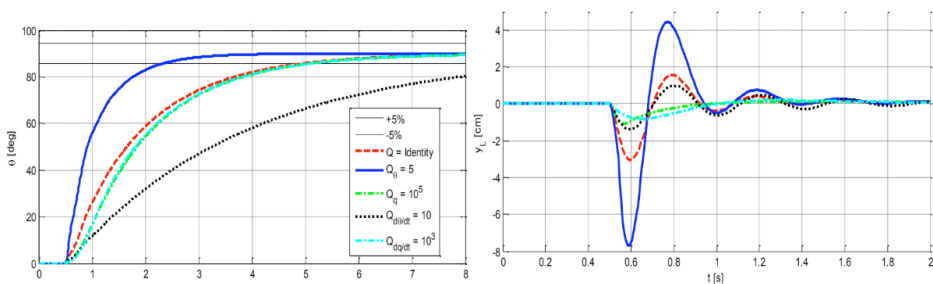


Fig. 3 Analyse of  $Q$  terms influence.

To investigate the influence of flexible states one keeps the values of  $Q_\theta = 10$  and



$Q_{\theta} = 1$  constants. Results have been represented in Figure 4. The best trade off found is the black response with  $Q_q = 10^5$  and  $Q_{\dot{q}} = 10^4$ . The settling time is the same as the cyan response and the deflection is smaller. When looking at the green response and comparing to the black one, ones can see that the settling time is worse and the deflection gain in dropping the deflection is not so better. Note that values of  $Q_q$  and  $Q_{\dot{q}}$  are high because values of  $q$  and  $\dot{q}$  are small, remembering that what is to be minimized is  $q^T Q_q q$  and  $\dot{q}^T Q_{\dot{q}} \dot{q}$ .

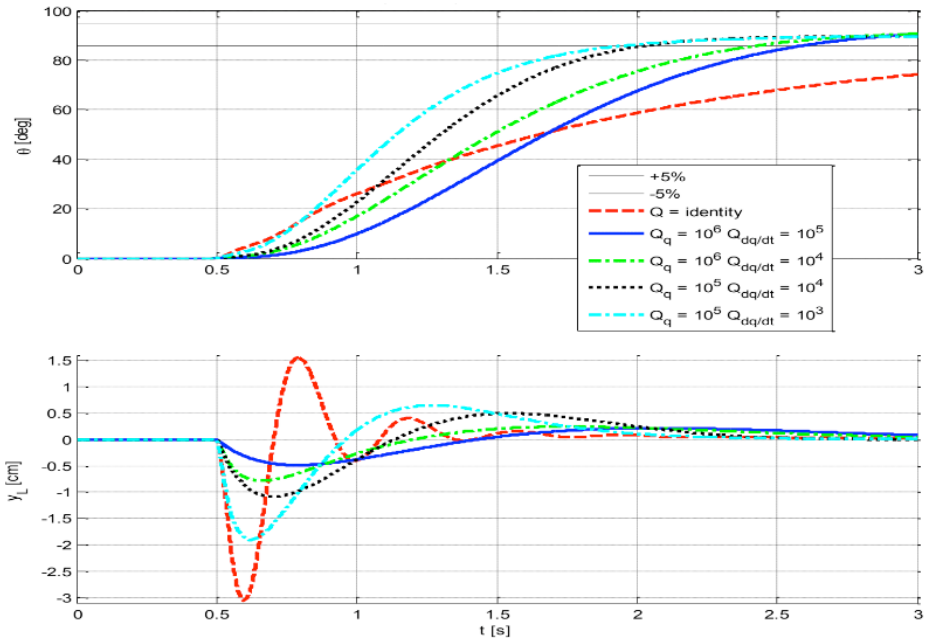


Fig. 4. Varying  $Q_q$  and  $Q_{\dot{q}}$  for  $Q_{\theta} = 10$  and  $Q_{\dot{\theta}} = 1$ .

The next step is to find good  $Q_{\theta}$  and  $Q_{\dot{\theta}}$ . Other terms have been picked as the “best” value s of the previous analysis:  $Q_q = 10^5$  and  $Q_{\dot{q}} = 10^4$ . As it is not an issue the way of getting the desired angular position (smoothly or not),  $Q_{\dot{\theta}}$  can be relax. One relieves the constraint over  $\dot{\theta}$ , it means that there is no matter of  $\dot{\theta}$  be high. Figure 5 shows that relaxing this constraint permits a better performance: green response is faster than blue response and displacement is almost the same. It has been verified that decrease  $Q_{\dot{\theta}}$  more than 0.1 has no effective effect on the system.

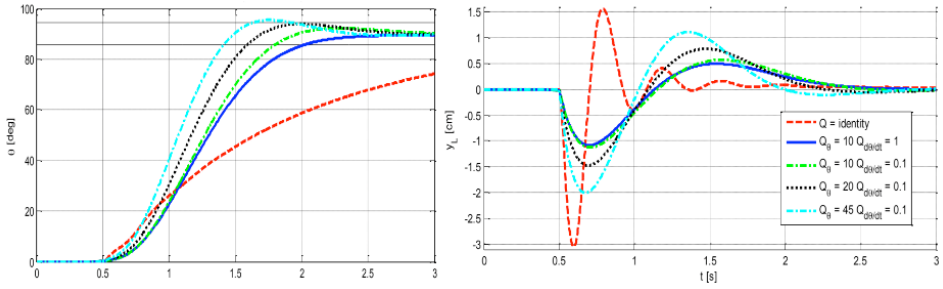


Fig. 5. Varying  $Q_\theta$  and  $Q_\theta$  for  $Q_q = 10^5$  and  $Q_q = 10^4$ .

On Figure 5 it is evident that increasing  $Q_\theta$  improve the settling time but increase flexible deflections. Then designer has to choose in function of its most important requirement.

### SDRE CONTROL LAW BASED ON MATRIX $Q_\theta$

One observes that to get a fast response, a high  $Q_\theta$  is desired. The idea is to produce a variable  $Q_\theta$  in function of the motion: small at the beginning of the motion and high at the end of the motion. The simpler function is a linear function of  $\theta$ :

$$Q_\theta(\theta) = Q_{\theta_0} + \frac{K_{Q_\theta} |\theta - \theta_0|}{|\theta_c - \theta_0| + \epsilon} \quad (13)$$

Both  $Q_{\theta_0}$  and  $K_{Q_\theta}$  are scalar parameters of the linear function to adjust the law to get the desired performance.  $\epsilon$  is a small number (typically  $10^{-4}$ ) to avoid singularity when  $\theta_c = \theta_0$ . When  $t = 0$ ,  $\theta(0) = \theta_0$  then,  $Q_\theta(t_0) = Q_{\theta_0}$ . At the contrary, when  $t = t_\infty$ ,  $\theta(\infty) = \theta_c$  then,  $Q_\theta(\infty) \cong Q_{\theta_0} + K_{Q_\theta}$ . So, it can be conclude that this function is increasing with the time, starting from  $Q_{\theta_0}$  and getting to  $Q_{\theta_0} + K_{Q_\theta}$ . Note that this function is not a linear function of the time because  $\theta(t)$  is not a linear function of time. To prove benefits of having such adaptive weight, the response for different weights  $Q(\theta)$  has been calculated. The response is analyzed according two parameters: the setting time  $T_{r,5\%}$  and the maximum displacement at the beam extremity  $y_{L,max}$ .

### PERFORMANCE MAP

The performance map shows the system's performance goals, where each point is obtained by simulating the system with a different SDRE controller configuration, different values of the weights of the Q and R matrices. Figure 6 represents the performance map for the objectives  $T_{r,5\%}$  and  $y_{L,max}$  associated with various values of the matrices weights  $R = R_u$ ,  $\bar{R}$  and  $Q = \text{diag}(Q_\theta, Q_q I_2, Q_q I_2) \bar{Q}$ .

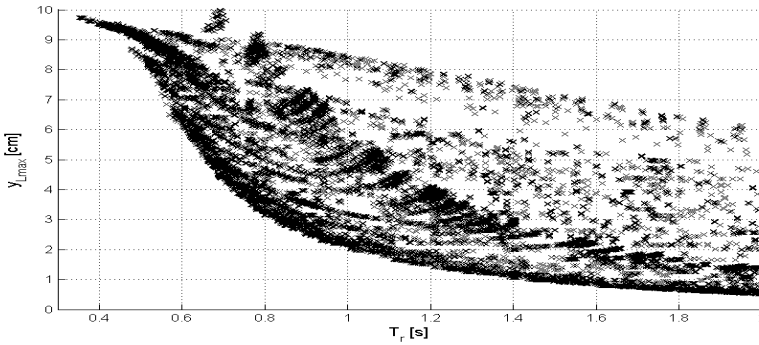


Fig. 6 - Performance map of the SDRE controlled for several different weights Q and R.

From Fig. 6, it can be seen the system performances map of SDRE controller. The division of these points is not uniform; some sets of points appear in the left Pareto border which represents the best attainable performances. In this area the density of points is very high; this means that there are many different combinations of weights that allow optimum performance. In between of the Pareto area also has a high dot density. These points represent the overshoot performances in the response  $\theta$ . Typically, when attempting to increase the speed of the system, a time arrives where the value of  $\theta$  to be reached ( $\theta_d$ ) is exceeded, this causes the stabilization time of the system  $T_{r5\%}$  to increase abruptly, creating a zone of relatively low point density between the left and right sets of points.

## COMPARISON OF THE LQR AND SDRE CONTROLLERS PERFORMANCE

Figure 7 shows the Pareto boundaries of SDRE and LQR in red and green respectively. It is noticed that the SDRE controller achieves better performances than the LQR controller because the red curve is below the green curve. The gain in performance is not very large, probably because the modeled system does not have very large nonlinearities. It is believed that this gain would be greater for a system with higher nonlinearities.

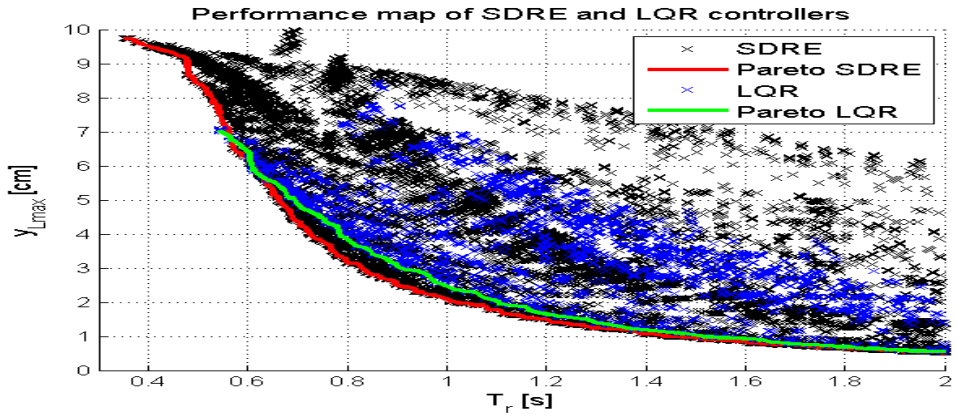


Fig. 7 - Comparison of performance map and Pareto frontier of SDRE and LQR controllers.

Figure 8 shows the time domain responses of the three points identified in Figure 7. In addition to improving the stabilization time of the system having a maximum flexible displacement equal  $L_{max} = 3\text{cm}$ , the SDRE consumes less energy to perform the maneuver.

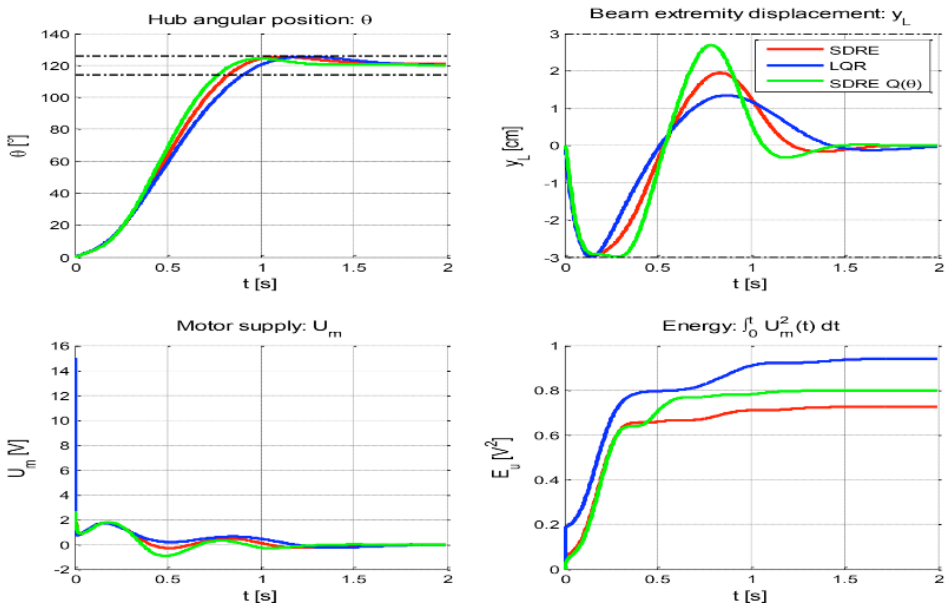


Fig. 8 Time domain responses of the three points identified in Figure 7.

In addition, it is noted that when using SDRE with a state-dependent weight matrix, the second peak of the flexible displacement is larger and reaches almost the same level as the first (3cm). This phenomenon can be considered as positive because it allows the deformation of the beam during the maneuvers to be symmetrical on both sides and thus

decreases the possibility of the beam presenting a residual deformation (due to material hysteresis) in one direction when the maneuver is performed.

## SUMMARY

In this paper the SDRE controller was studied applying it to a non-linear model of a rigid-flexible rotating robotic arm formed by a flexible rod coupled to a servomotor. The elaborated model considers an Euler-Bernoulli type beam, uses the assumed modes method with two modes of vibration, considers first order nonlinearities and has a Rayleigh type structural damping. This model can be adapted to allow the simulation of satellites with flexible appendices such as antennas or solar panels. The mathematical model was validated by comparing the open-loop results with the real system results. The dynamics equations were parameterized to arrive at the SDC form for the implementation of the SDRE controller. The adjustment of the SDRE controller by means of the Q and R matrices was studied in detail: a normalization technique was applied in order to be able to perform simulations to measure the influence of each term of the matrices weight on the performance of the system. Afterwards, we tried to obtain the best possible performance in terms of system stabilization time and vibration minimization. For this, the performance map of the SDRE-controlled system was created to find the Pareto frontier; Set of optimal performance points. Based on the points of the Pareto frontier, a law was successfully created that allows to obtain the values of the matrices weight as a function of the value of a parameter of performance. The developed law has a limitation; It only works for a certain range of performance. Finally, a weight-dependent matrix of a state was used to show that, in this way, the performance of the SDRE can be improved. The study was concluded showing that the SDRE controller allows obtaining a better performance than the regulator LQR.

## REFERENCES

- Bigot, P., & Souza, L. C. (2014). Investigation of the State Dependent Riccati Equation (SDRE) adaptive control advantages for controlling non-linear systems as a flexible rotatory beam. *International journal of systems applications, engineering and development*. (Vol. 8, pp 92-99).
- Bogdanov, A., & Wan, E.A.(2007). State-dependent Riccati equation control for small autonomous helicopters. *Journal of guidance, control, and dynamics*,30(1),47-60.
- Cimen, T. (2008, July). State-dependent Riccati equation (SDRE) control: a survey. In *Proc. of the 17th IFAC world congress* (pp. 3761-3775).
- Cloutier J. R., D'Souza C. N. & Mracek C. P. (1996). Nonlinear Regulation and Nonlinear H-infinity Control via the State-Dependent Riccati Equation Technique: Part 1. Theory. In *Proc. of the 1st International Conference on Nonlinear Problems in Aviation and Aerospace*.

Menon, P. K., Lam, T., Crawford, L. S., & Cheng, V. H. L. (2002). Real-time computational methods for SDRE nonlinear control of missiles. In *American Control Conference, 2002. Proceedings of the 2002* (Vol. 1, pp. 232-237). IEEE.

Pinheiro, E. R.; Souza, L. C. G.. Design of the Microsatellite Attitude Control System Using the Mixed Method via LMI Optimization. *Mathematical Problems in Engineering* (Print), v. 2013, p. 1-8, 2013.

Sales, T.P.; Rade, D. A.; Souza, L.C.G. . Passive vibration control of flexible spacecraft using shunted piezoelectric transducers. *Aerospace Science and Technology* (Imprimé), v. 1, p. 12-26, 2013.

Souza, L. C. G. (2006). Design of Satellite Control System Using Optimal Nonlinear Theory. *Mechanics based design of structures and machines*, 34(4), 351-364.

Souza, L. C. G., & Gonzales, R. G. (2012). Application of the state-dependent Riccati equation and Kalman filter techniques to the design of a satellite control system. *Shock and vibration*, 19(5), 939-946.

Wilson E. L. (1998). Three-Dimensional Static and Dynamic Analysis of Structures, Chapter 19. [www.edwilson.org/BOOK-Wilson/19-DAMP.pdf](http://www.edwilson.org/BOOK-Wilson/19-DAMP.pdf)

## 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)