



Henrique Ajuz Holzmann  
João Dallamuta  
(Organizadores)

# A Aplicação do Conhecimento Científico na Engenharia Mecânica

# 2

**Atena**  
Editora  
Ano 2020



Henrique Ajuz Holzmann  
João Dallamuta  
(Organizadores)

# A Aplicação do Conhecimento Científico na Engenharia Mecânica

# 2

**Atena**  
Editora  
Ano 2020

**Editora Chefe**

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Assistentes Editoriais**

Natalia Oliveira

Bruno Oliveira

Flávia Roberta Barão

**Bibliotecário**

Maurício Amormino Júnior

**Projeto Gráfico e Diagramação**

Natália Sandrini de Azevedo

Camila Alves de Cremo

Karine de Lima Wisniewski

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

**Imagens da Capa**

Shutterstock

**Edição de Arte**

Luiza Alves Batista

**Revisão**

Os Autores

2020 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2020 Os autores

Copyright da Edição © 2020 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, 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.

A Atena Editora não se responsabiliza por eventuais mudanças ocorridas nos endereços convencionais ou eletrônicos citados nesta obra.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação.

**Conselho Editorial**

**Ciências Humanas e Sociais Aplicadas**

Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas

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

Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior – Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais

Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília

Prof. Dr. Carlos Antonio de Souza Moraes – Universidade Federal Fluminense  
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa  
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  
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice  
Prof. Dr. Jadson Correia de Oliveira – Universidade Católica do Salvador  
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  
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. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. William Cleber Domingues Silva – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

#### **Ciências Agrárias e Multidisciplinar**

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano  
Profª Drª Carla Cristina Bauermann Brasil – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás  
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – Universidade Federal da Grande Dourados  
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná  
Profª Drª Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia  
Prof. Dr. Écio Souza Diniz – Universidade Federal de Viçosa  
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Fágner Cavalcante Patrocínio dos Santos – Universidade Federal do Ceará  
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof. Dr. Jael Soares Batista – Universidade Federal Rural do Semi-Árido  
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  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Eysler Gonçalves Maia Brasil – Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira  
Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. Marcus Fernando da Silva Praxedes – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Regiane Luz Carvalho – Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

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

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto  
Prof. Dr. Alexandre Leite dos Santos Silva – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará  
Prof<sup>ª</sup> Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho  
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá

Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
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  
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

### **Conselho Técnico Científico**

Prof. Me. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo  
Prof. Me. Adalberto Zorzo – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza  
Prof. Me. Adalto Moreira Braz – Universidade Federal de Goiás  
Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba  
Prof. Dr. Adilson Tadeu Basquerote Silva – Universidade para o Desenvolvimento do Alto Vale do Itajaí  
Prof. Me. Alexsandro Teixeira Ribeiro – Centro Universitário Internacional  
Prof. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão  
Profª Ma. Anne Karynne da Silva Barbosa – Universidade Federal do Maranhão  
Profª Drª Andrezza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico  
Profª Drª Andrezza Miguel da Silva – Faculdade da Amazônia  
Prof. Dr. Antonio Hot Pereira de Faria – Polícia Militar de Minas Gerais  
Prof. Me. Armando Dias Duarte – Universidade Federal de Pernambuco  
Profª Ma. Bianca Camargo Martins – UniCesumar  
Profª Ma. Carolina Shimomura Nanya – Universidade Federal de São Carlos  
Prof. Me. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Ma. Cláudia de Araújo Marques – Faculdade de Música do Espírito Santo  
Profª Drª Cláudia Taís Siqueira Cagliari – Centro Universitário Dinâmica das Cataratas  
Prof. Me. Clécio Danilo Dias da Silva – Universidade Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Me. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará  
Profª Ma. Daniela da Silva Rodrigues – Universidade de Brasília  
Profª Ma. Daniela Remião de Macedo – Universidade de Lisboa  
Profª Ma. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco  
Prof. Me. Douglas Santos Mezacas – Universidade Estadual de Goiás  
Prof. Me. Edevaldo de Castro Monteiro – Embrapa Agrobiologia  
Prof. Me. Eduardo Gomes de Oliveira – Faculdades Unificadas Doctum de Cataguases  
Prof. Me. Eduardo Henrique Ferreira – Faculdade Pitágoras de Londrina

Prof. Dr. Edwaldo Costa – Marinha do Brasil  
Prof. Me. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita  
Prof. Me. Ernane Rosa Martins – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás  
Prof. Me. Euvaldo de Sousa Costa Junior – Prefeitura Municipal de São João do Piauí  
Profª Ma. Fabiana Coelho Couto Rocha Corrêa – Centro Universitário Estácio Juiz de Fora  
Prof. Dr. Fabiano Lemos Pereira – Prefeitura Municipal de Macaé  
Prof. Me. Felipe da Costa Negrão – Universidade Federal do Amazonas  
Profª Drª Germana Ponce de Leon Ramírez – Centro Universitário Adventista de São Paulo  
Prof. Me. Gevair Campos – Instituto Mineiro de Agropecuária  
Prof. Dr. Guilherme Renato Gomes – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Me. Gustavo Krahl – Universidade do Oeste de Santa Catarina  
Prof. Me. Helton Rangel Coutinho Junior – Tribunal de Justiça do Estado do Rio de Janeiro  
Profª Ma. Isabelle Cerqueira Sousa – Universidade de Fortaleza  
Profª Ma. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia  
Prof. Me. Javier Antonio Albornoz – University of Miami and Miami Dade College  
Prof. Me. Jhonatan da Silva Lima – Universidade Federal do Pará  
Prof. Dr. José Carlos da Silva Mendes – Instituto de Psicologia Cognitiva, Desenvolvimento Humano e Social  
Prof. Me. Jose Elyton Batista dos Santos – Universidade Federal de Sergipe  
Prof. Me. José Luiz Leonardo de Araujo Pimenta – Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria Uruguay  
Prof. Me. José Messias Ribeiro Júnior – Instituto Federal de Educação Tecnológica de Pernambuco  
Profª Drª Juliana Santana de Curcio – Universidade Federal de Goiás  
Profª Ma. Juliana Thaisa Rodrigues Pacheco – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Kamilly Souza do Vale – Núcleo de Pesquisas Fenomenológicas/UFPA  
Prof. Dr. Kárpio Márcio de Siqueira – Universidade do Estado da Bahia  
Profª Drª Karina de Araújo Dias – Prefeitura Municipal de Florianópolis  
Prof. Dr. Lázaro Castro Silva Nascimento – Laboratório de Fenomenologia & Subjetividade/UFPR  
Prof. Me. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Ma. Lillian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará  
Profª Ma. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ  
Profª Drª Lívia do Carmo Silva – Universidade Federal de Goiás  
Prof. Dr. Lucio Marques Vieira Souza – Secretaria de Estado da Educação, do Esporte e da Cultura de Sergipe  
Prof. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados  
Prof. Dr. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual do Paraná  
Prof. Dr. Michel da Costa – Universidade Metropolitana de Santos  
Prof. Dr. Marcelo Máximo Purificação – Fundação Integrada Municipal de Ensino Superior  
Prof. Me. Marcos Aurelio Alves e Silva – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo  
Profª Ma. Maria Elanny Damasceno Silva – Universidade Federal do Ceará  
Profª Ma. Marileila Marques Toledo – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri  
Prof. Me. Ricardo Sérgio da Silva – Universidade Federal de Pernambuco  
Profª Ma. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal

Prof. Me. Robson Lucas Soares da Silva – Universidade Federal da Paraíba  
Prof. Me. Sebastião André Barbosa Junior – Universidade Federal Rural de Pernambuco  
Profª Ma. Silene Ribeiro Miranda Barbosa – Consultoria Brasileira de Ensino, Pesquisa e Extensão  
Profª Ma. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo  
Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Faculdade Regional Jaguaribana  
Profª Ma. Thatianny Jasmine Castro Martins de Carvalho – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Me. Tiago Silvio Dedoné – Colégio ECEL Positivo  
Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista



**Editora Chefe:** Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira  
**Bibliotecário** Maurício Amormino Júnior  
**Diagramação:** Luiza Alves Batista  
**Edição de Arte:** Luiza Alves Batista  
**Revisão:** Os Autores  
**Organizadores:** Henrique Ajuz Holzmann  
João Dallamuta

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**  
**(eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)**

A639 A aplicação do conhecimento científico na engenharia mecânica 2 [recurso eletrônico] / Organizadores Henrique Ajuz Holzmann, João Dallamuta. – Ponta Grossa, PR: Atena, 2020.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

ISBN 978-65-5706-376-7

DOI 10.22533/at.ed.767201109

1. Automação industrial. 2. Engenharia mecânica – Pesquisa – Brasil. 3. Produtividade industrial. 4. Tecnologia. I. Holzmann, Henrique Ajuz. II. Dallamuta, João.

**Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422**

**Atena Editora**

Ponta Grossa – Paraná – Brasil

Telefone: +55 (42) 3323-5493

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

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

## APRESENTAÇÃO

A Engenharia Mecânica pode ser definida como o ramo da engenharia que aplica os princípios de física e ciência dos materiais para a concepção, análise, fabricação e manutenção de sistemas mecânicos. Nos dias atuais a busca pela redução de custos, aliado a qualidade final dos produtos é um marco na sobrevivência das empresas. Nesta obra é conciliada duas atividades essenciais a um engenheiro mecânico: Projetos e Simulação.

A área de projetos, simulação bem como o desenvolvimento de novo materiais vem ganhando amplo destaque, pois através de simulações pode-se otimizar os projetos realizados, reduzindo o tempo de execução, a utilização de materiais e os custos finais.

Outra área de grande importância é o estudo das naturezas térmicas, pois devido a mudanças significativas no meio ambiente, gradientes cada vez maiores de amplitude térmica vêm sendo registrados. Estes afetem diretamente a processos, previsões de para projetos e ainda aos custos finais de produtos.

Dessa forma, são apresentados trabalhos teóricos e resultados práticos de diferentes formas de aplicação e abordagens nos projetos dentro da grande área das engenharias. Trabalhos envolvendo simulações devido a inserção de novos softwares dedicados a áreas específicas, auxiliando o projetista em suas funções. Sabe-los utilizar de uma maneira eficaz e eficiente é um dos desafios dos novos engenheiros.

Neste livro são apresentados vários trabalhos, alguns com resultados práticos, sobre simulações em vários campos da engenharia industrial, elementos de maquinas e projetos de bancadas práticas.

Um compendio de temas e abordagens que constituem a base de conhecimento de profissionais que se dedicam a projetar e fabricar sistemas mecânicos e industriais.

De abordagem objetiva, a obra se mostra de grande relevância para graduandos, alunos de pós-graduação, docentes e profissionais, apresentando temáticas e metodologias diversificadas, em situações reais.

Boa leitura!

Henrique Ajuz Holzmann

João Dallamuta

## SUMÁRIO

### **CAPÍTULO 1..... 1**

#### **AVALIAÇÃO DA APLICABILIDADE DE EQUAÇÃO TEÓRICA NA PREDIÇÃO DE RUGOSIDADE DO AÇO ABNT 1045 SUBMETIDO AO PROCESSO DE RETIFICAÇÃO**

Mayara Fernanda Pereira

Bruno Souza Abrão

Rosemar Batista da Silva

**DOI 10.22533/at.ed.7672011091**

### **CAPÍTULO 2..... 8**

#### **AVALIAÇÃO DA INTEGRIDADE SUPERFICIAL DO AÇO N2711 APÓS RETIFICAÇÃO COM REBOLO DE ÓXIDO DE ALUMÍNIO**

Henrique Butzlaff Hübner

Rosemar Batista da Silva

Marcus Antônio Viana Duarte

Eduardo Carlos Bianchi

**DOI 10.22533/at.ed.7672011092**

### **CAPÍTULO 3..... 15**

#### **AVALIAÇÃO DA RUGOSIDADE DO INCONEL 718 APÓS RETIFICAÇÃO COM REBOLOS DE DIFERENTES ABRASIVOS CONVENCIONAIS**

Rodrigo de Souza Ruzzi

Raphael Lima de Paiva

Otávio de Souza Ruzzi

Rosemar Batista da Silva

**DOI 10.22533/at.ed.7672011093**

### **CAPÍTULO 4..... 22**

#### **AVALIAÇÃO DA RUGOSIDADE GERADA PELO PROCESSO DE JATEAMENTO EM DIFERENTES DISTÂNCIAS DO BOCAL À PEÇA**

Henrique Butzlaff Hübner

Antonio Favero Filho

Freddy Alejandro Portillo Morales

Mayara Fernanda Pereira

Rosemar Batista da Silva

**DOI 10.22533/at.ed.7672011094**

### **CAPÍTULO 5..... 31**

#### **ENSAIO BALÍSTICO DE LAMINADOS DE AÇO PARA FUTURA APLICAÇÃO EM BLINDAGEM ADD-ON ESPAÇADA**

João Pedro Inácio Varela

Ednaldo Gomes da Rocha Júnior

Wanderley Ferreira de Amorim Júnior

**DOI 10.22533/at.ed.7672011095**

### **CAPÍTULO 6..... 47**

#### **CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA DE FILMES HÍBRIDOS BIODEGRADÁVEIS**

**COMPOSTOS POR FÉCULA DE BATATA (FB), GELATINA BOVINA (GB) E QUITOSANA (QT)**

Francielle Cristine Pereira Gonçalves  
Kristy Emanuel Silva Fontes  
Elano Costa Silva  
Arthur Domingos Mesquita De Moraes  
Dyana Alves De Oliveira  
Théo Martins De Alencar Paiva  
Ricardo Alan Da Silva Vieira  
Manoel Quirino da Silva Júnior  
Francisco Leonardo Gomes de Menezes

**DOI 10.22533/at.ed.7672011096**

**CAPÍTULO 7..... 60**

**REFLECTIVITY BEHAVIOR IN X-BAND OF MICROWAVE ABSORBERS BASED ON CU SUBSTITUTED NIZN SPINEL NANOCRYSTALLINE FERRITE**

Valdirene Aparecida da Silva  
Evandro Luis Nohara  
Mirabel Cerqueira Rezende

**DOI 10.22533/at.ed.7672011097**

**CAPÍTULO 8..... 71**

**DESENVOLVIMENTO DE PRÓTESE PERSONALIZADA DA ATM ATRAVÉS DA GERAÇÃO DE IMAGEM 3D BIOMECÂNICA A PARTIR DE TOMOGRAFIA**

Rafael Ferreira Gregolin  
Cecília Amélia de Carvalho Zavaglia  
Ruís Camargo Tokimatsu  
João Antônio Pereira  
Bruna Beatriz de Paiva

**DOI 10.22533/at.ed.7672011098**

**CAPÍTULO 9..... 81**

**PROJETO ROBUSTO DE CIRCUITO *SHUNT* RESSONANTE PARA ATENUAÇÃO PASSIVA DE VIBRAÇÕES EM VIGA COMPÓSITA**

Lorrane Pereira Ribeiro  
Antônio Marcos Gonçalves de Lima

**DOI 10.22533/at.ed.7672011099**

**CAPÍTULO 10..... 93**

**ESTUDO COMPARATIVO DE DESEMPENHO ENTRE GLP E GNV EM GERADOR À COMBUSTÃO**

Paulo Roberto Hahn  
Jorge Luis Plácido de Borba  
Marco Antônio Frölich  
Moisés de Mattos Dias  
Elienai Josias Brum Dutra  
Monir Göethel Borba  
Patrice Monteiro de Aquim

Eduardo Luis Schneider  
José Lesina Cezar  
Lirio Schaeffer

**DOI 10.22533/at.ed.76720110910**

**CAPÍTULO 11 ..... 104**

**MODELAGEM DE ESCOAMENTOS GÁS-LÍQUIDO INTERMITENTES: CORRELAÇÕES PARA O COEFICIENTE DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR**

Lucas Avosani  
Luiz Eduardo Melo Lima

**DOI 10.22533/at.ed.76720110911**

**CAPÍTULO 12..... 117**

**RADIAÇÃO TÉRMICA EM SUPERFÍCIES SELETIVAS**

Gustavo César Pamplona de Sousa  
Raimundo Nonato Calazans Duarte  
Wanderley Ferreira de Amorim Júnior  
Kelly Cristiane Gomes da Silva

**DOI 10.22533/at.ed.76720110912**

**CAPÍTULO 13..... 128**

**RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS DE CONTROLE ÓTIMO UTILIZANDO ALGORITMOS GENÉTICOS**

Arthur Henrique Iasbeck  
Fran Sérgio Lobato

**DOI 10.22533/at.ed.76720110913**

**CAPÍTULO 14..... 139**

**CONSTRUÇÃO DO TEODOLITO CASEIRO:UMA ALTERNATIVA BARATA E EFICIENTE**

Ronis Cley Fontes da Silva  
Lourivan Carneiro de Souza

**DOI 10.22533/at.ed.76720110914**

**CAPÍTULO 15..... 151**

**ANÁLISE DA POTÊNCIA ELÉTRICA NA RETIFICAÇÃO DO AÇO ENDURECIDO SAE 52100 EM DIFERENTES CONDIÇÕES DE CORTE**

Raphael Lima de Paiva  
Rodrigo de Souza Ruzzi  
Otávio de Souza Ruzzi  
Rosemar Batista da Silva

**DOI 10.22533/at.ed.76720110915**

**SOBRE OS ORGANIZADORES ..... 159**

**ÍNDICE REMISSIVO..... 160**

# CAPÍTULO 13

## RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS DE CONTROLE ÓTIMO UTILIZANDO ALGORITMOS GENÉTICOS

Data de aceite: 01/09/2020

Data de submissão: 13/06?2020.

**Arthur Henrique lasbeck**

Faculdade de Engenharia Mecânica,  
Universidade Federal de Uberlândia  
Uberlândia - Minas Gerais  
<http://lattes.cnpq.br/2145522693710111>

**Fran Sérgio Lobato**

Faculdade de Engenharia Química,  
Universidade Federal de Uberlândia  
Uberlândia - Minas Gerais  
<http://lattes.cnpq.br/7640108116459444>

**RESUMO:** No presente trabalho os tradicionais Algoritmos Genéticos (AG) são empregados para a solução de Problemas de Controle Ótimo (PCO). Neste caso, o problema original é transformado em um equivalente de Programação Não Linear (PNL) via discretização da variável de controle. Para validar a metodologia proposta, estudos de caso com diferentes níveis de complexidade são avaliados. Os resultados obtidos demonstram que a metodologia proposta configura-se como uma interessante estratégia para a resolução de PCOs.

**PALAVRAS-CHAVE:** Controle Ótimo, Algoritmos Genéticos, Aplicações Matemáticas e de Engenharia.

### SOLVING OPTIMAL CONTROL PROBLEMS USING GENETIC ALGORITHMS

**ABSTRACT:** This work proposes the use of traditional Genetic Algorithms (GA) to solve Optimal Control Problems (OCP). In this case, the original problem is transformed into equivalent of Nonlinear Programming Problem (NLP) through the discretization of control variable. To validate the method, case studies with different levels of complexity are evaluated. The obtained results demonstrate that the proposed methodology is configured as an interesting strategy to solve OCPs.

**KEYWORDS:** Optimal Control, Genetic Algorithms, Mathematical and Engineering Applications.

## 1 | INTRODUÇÃO

O Problema de Controle Ótimo (PCO) consiste na determinação do perfil da variável de controle de modo a minimizar/maximizar um determinado índice de desempenho (função objetivo) (Bryson e Ho, 1975). Este caracteriza-se por apresentar flutuação do índice diferencial durante a integração do sistema algébrico-diferencial. Esta dificuldade ao mesmo que tempo que o torna um problema de difícil resolução também representa um grande desafio para pesquisadores de diversas áreas da ciência e da engenharia. As restrições algébrico-diferenciais a que este problema está sujeito representam os balanços de massa,

energia e quantidade de movimento, enquanto as restrições algébricas estão relacionadas a limitações físicas, ambientais e de projeto (Logsdon e Biegler, 1989; Brenan et al., 1996).

Os métodos clássicos para projeto de controladores não são eficazes no tratamento de sistemas complexos, com múltiplas entradas e múltiplas saídas, ou que apresentem dinâmica não linear e variante no tempo. Além disso, sistemas de controle modernos tendem a demandar o atendimento de critérios de desempenho relacionados, por exemplo, ao gasto de combustível ou energia, ao tempo despendido na execução de uma dada tarefa, ou à quantidade de produto gerada por um dado processo (Kirk, 1970).

Considere o controle de atitude de uma aeronave realizado com base na minimização do seu gasto de combustível, ou a regulação de um processo químico fundamentado na maximização do volume de produtos gerado. A teoria do Controle Ótimo foi desenvolvida tendo em vista a solução de problemas deste tipo (Kirk, 1970).

Tradicionalmente, o PCO tem sido resolvido via aplicação de Métodos Diretos, Métodos Indiretos e Métodos Híbridos (Bryson e Ho, 1975; Logsdon e Biegler, 1989; Brenan et al., 1996; Lobato, 2004). Nos Métodos Diretos, o vetor de variáveis de controle e de variáveis de estado são discretizados, transformando o problema original em um equivalente de Programação Não Linear (PNL). Na abordagem Indireta, através da aplicação do Princípio Máximo de Pontriagyn, o PCO original é convertido em um sistema de equações algébrico-diferenciais de valor no contorno. Já os Métodos Híbridos consistem na reunião das melhores características dos Métodos Diretos e do Método Indireto para aumentar a precisão dos resultados sem onerar grande esforço computacional.

Alternativamente à linha de otimização clássica, que faz uso de informações sobre o gradiente da função objetivo e das restrições para atualizar o projeto inicial, observa-se grande interesse da comunidade científica no uso de algoritmos não-determinísticos para a resolução do PCO. Em geral, estes se diferem de outras técnicas de otimização por dispensarem o uso de derivadas da função objetivo e das restrições para determinar a direção de busca. Além disso, tais métodos não investem todo o esforço computacional num único ponto, mas sim operam sobre uma população de pontos. Entretanto, como estes são estocásticos, seu desempenho varia de execução para execução, a menos que seja utilizado o mesmo gerador de números aleatórios com a mesma semente (Deb, 2001).

Neste cenário, inúmeros métodos (clássicos ou heurísticos) têm sido propostos para a resolução dos PNLs obtidos a partir do emprego de Métodos Diretos (Nascentes, 2012). O interesse por técnicas heurísticas se deve à sua capacidade de escapar de ótimos locais, e à simplicidade de sua implementação e concepção conceitual (Nascentes, 2012).

Diante do que foi apresentado, o presente trabalho tem por objetivo utilizar os tradicionais Algoritmos Genéticos (AG) como metodologia para a resolução de PCOs, e realizar a comparação dos resultados obtidos àqueles encontrados por meio de outras abordagens.

## 21 O PROBLEMA DE CONTROLE ÓTIMO

O PCO pode ser definido como (Becerra, 2008):

$$\min J = \phi(x(t_f), t_f) + \int_{t_0}^{t_f} L(x(t), u(t), t) dt \quad (1)$$

sujeito à:

$$\dot{x}(t) = f(x(t), u(t), t)$$

$$x(t_0) = x_0$$

$$h(x(t), u(t), t) = 0$$

$$g(x(t), u(t), t) \leq 0$$

$$u^L \leq u(t) \leq u^U$$

$$x^L \leq x(t) \leq x^U$$

em que  $x(t)$  é o vetor de estados,  $u(t)$  o vetor de controles, e  $j$  a função objetivo a ser minimizada. A dinâmica do sistema, que pode ser não linear e variante no tempo, é descrita pela equação  $\dot{x}(t) = f(x(t), u(t), t)$ , enquanto as restrições algébricas, de igualdade e desigualdade, associadas ao problema, são descritas respectivamente por  $h(x(t), u(t), t) = 0$  e  $g(x(t), u(t), t) \leq 0$ . Os sobrescritos L e U representam, respectivamente, os limites superior e inferior das variáveis de estado e controle, enquanto  $x_0$  é o estado inicial do sistema.

Observe que a função objetivo é dividida em duas parcelas. A primeira delas,  $\phi(x(t_f), t_f)$ , viabiliza a avaliação do estado final alcançado pelo sistema, enquanto a segunda,  $\int_{t_0}^{t_f} L(x(t), u(t), t) dt$ , possibilita que a evolução dos estados e controles seja levada em consideração na computação de  $j$ .

Cabe ressaltar que, no entanto, a solução de um PCO não depende somente da variável de controle, mas também da computação dos estados, uma vez que o valor da função objetivo geralmente está associado à evolução de  $x(t)$ . No presente trabalho, adotou-se a ação de controle constante por partes para que os estados pudessem ser determinados a partir da solução do conjunto de equações diferenciais  $\dot{x}(t) = f(x(t), u(t), t)$  que descreve a dinâmica do sistema. O Método de Runge-Kutta-Fehlberg com passo variável foi empregado na computação de  $\dot{x}(t)$  a partir da utilização da função `ode45()`, nativa do Matlab®.



### 3 | ALGORITMOS GENÉTICOS

Os tradicionais AG configuram-se como uma técnica de busca baseada nos princípios da genética e da seleção natural, e são fundamentados na evolução de uma dada população inicial, gerada aleatoriamente, a partir da aplicação dos operadores de seleção, cruzamento e mutação. A população é composta por indivíduos que representam possíveis soluções para o problema de otimização (Haupt, 2012). Na Figura 1 é apresentado um fluxograma em que são introduzidas as principais etapas de um AG.

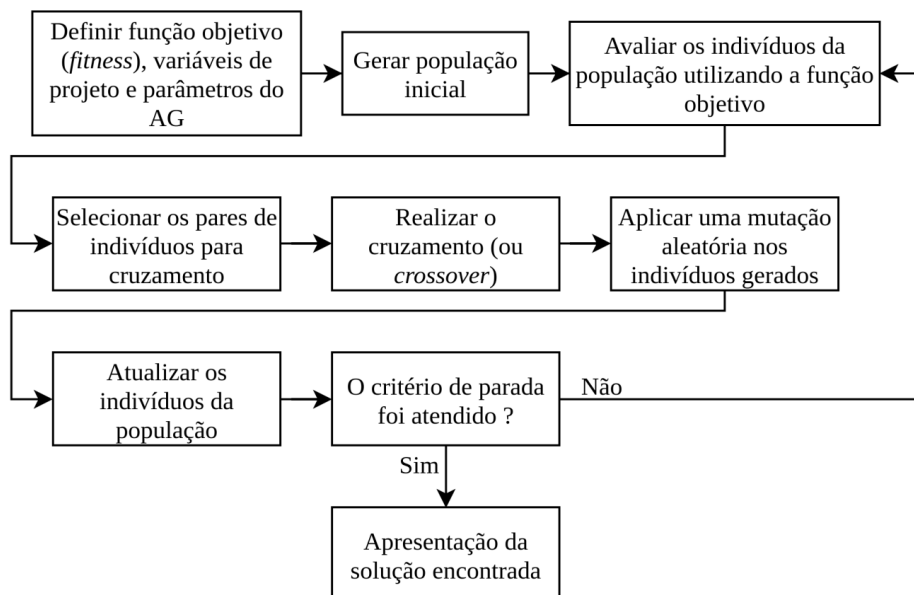


Figura 1: Fluxograma em que são introduzidas as principais etapas de um AG.

Inicialmente, os parâmetros de entrada do algoritmo devem ser definidos pelo usuário. São eles: o tamanho da população,  $N$ , o número máximo de gerações (ou iterações)  $n_g$ , a probabilidade de cruzamento  $p_c$ , e a probabilidade de mutação  $p_m$ . Além disso, é necessário que a função objetivo seja definida (Haupt, 2012).

Em seguida, uma população de indivíduos é gerada, aleatoriamente, de forma a preencher o espaço de busca delimitado pelo usuário. No presente trabalho optou-se por representar os indivíduos como vetores, nos quais estão contidas as variáveis de decisão cujo valor será determinado ao longo do processo de otimização.

A população gerada é então atualizada a partir da aplicação dos operadores genéticos de modo que seja observado, ao fim de cada geração, um aumento nos valores de função objetivo (ou *fitness*) atribuídos a cada um dos indivíduos (Haupt, 2012).

Na etapa de seleção,  $Np_s$  indivíduos da população corrente são selecionados para o cruzamento. Deve-se proceder nesta etapa de forma que os indivíduos mais aptos tenham maior chance de serem selecionados. A seleção pode ser realizada, por exemplo, a partir do emprego do Método da Roleta ou do Método do Torneio (Haupt, 2012).

Já na etapa de cruzamento, os indivíduos selecionados devem ser combinados. Adotou-se no presente trabalho o emprego da combinação linear, Equação 2, para geração dos novos indivíduos  $p_{s1}$  e  $p_{s2}$  a partir da combinação de  $p_{p1}$  e  $p_{p2}$ , selecionados na etapa anterior. As variáveis  $\beta_1$  e  $\beta_2$  são números aleatórios gerados em cada combinação (Haupt, 2012).

$$\begin{aligned} p_{s1} &= \beta_1 p_{p1} + (1 - \beta_1) p_{p2} \\ p_{s2} &= \beta_2 p_{p1} + (1 - \beta_2) p_{p2} \end{aligned} \quad (2)$$

Por fim, na etapa de mutação, é atribuído um número aleatório a cada um dos indivíduos gerados no cruzamento. Caso  $r < p_m$  um dos elementos que compõe o vetor que representa o respectivo indivíduo é modificado. O elemento em questão é escolhido aleatoriamente e o valor a ele acrescido é normalmente pequeno (Haupt, 2012).

Por fim, visando a manutenção do número de indivíduos na população, os  $N$  indivíduos mais aptos dentre aqueles presentes na população inicial e aqueles gerados na etapa de cruzamento, são escolhidos para a construção de uma nova população. Na iteração (ou geração) seguinte, o processo se repete com a aplicação dos operadores genéticos nesta nova população (Haupt, 2012).

## 4 | METODOLOGIA

Para que seja possível resolver o PCO a partir do emprego dos AG, é necessário reescrevê-lo como um PNL a partir da discretização da variável de controle em elementos (ou fases). O novo problema consistirá, portanto, na determinação dos vetores  $u_i$  e  $t_j$  ( $1 \leq i \leq m$  e  $1 \leq j \leq m - 1$ ) (Nascentes, 2012), conforme ilustrado na Figura 2.

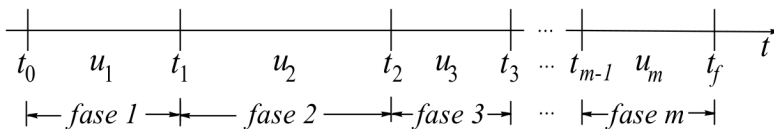


Figura 2 – Discretização da variável de controle.

## 5 I ESTUDOS DE CASO

### 5.1 Problemas Singulares

Em um primeiro momento, consideram-se como estudos de caso dois PCOs singulares propostos por Jacobson (1970). O primeiro deles é definido como:

$$\min x_3(t_f)$$

sujeito à:

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= x_2 \\ \dot{x}_2 &= u \\ \dot{x}_3 &= x_1^2 \\ t_f &= 5s \\ x_0 &= [0 \ 1 \ 0] \\ -1 &\leq u(t) \leq 1 \end{aligned} \quad (3)$$

Já o segundo difere do primeiro apenas no cálculo de  $\dot{x}_3$ , que passa a ser definido como  $\dot{x}_3 = x_1^2 + x_2^2$ .

Foram adotados:  $N = 100$ ,  $n_g = 100$ ,  $p_s = 0,7$  e  $p_m = 0,6$ . A seleção foi realizada pelo emprego do Método do Torneio (Haupt, 2012) e o cruzamento entre os indivíduos da população para geração de novas soluções se deu através da implementação da combinação linear (Haupt, 2012), com os coeficientes  $\beta_1$  e  $\beta_2$  escolhidos aleatoriamente no intervalo  $[0,3]$  a cada cruzamento. Na etapa de mutação, foi aplicada a uma das variáveis de projeto associadas a alguns dos indivíduos da população, um acréscimo igual a um décimo do limite superior atribuído à respectiva variável.

Na Tabela 1 os resultados obtidos pela implementação dos AG são comparados àqueles advindos do emprego de outras abordagens.

Referência	Primeiro caso			Segundo caso		
	$J^*$	n	$N$	$J^*$	n	$N$
Jacobson (1970)	0,828500	*	*	0,277100	*	*
Dadebo e McAuley (1995)	0,754016	80	*	0,269000	80	*
Luus (1995)	0,753984	4	*	0,268395	4	*
Luus (2001)	0,753985	5	200000	0,268394	5	200000
Nascentes (2012)	0,754856	5	10100	0,268512	5	10100
Algoritmo Genético	0,752200	5	10100	0,268420	5	10100

Tabela 1: Resultados obtidos pelo emprego dos AG, e de outras abordagens, na solução dos problemas singulares em análise. O valor ótimo da função objetivo, o número de elementos de controle utilizados, e o número de iterações, são representados, respectivamente, por  $J^*$ , n e  $N$ .

\* Informações não fornecidas

De forma geral observa-se que as soluções advindas da utilização dos AG estão em concordância com aquelas reportadas pela literatura especializada. Além disso, o uso dos AG possibilitou que fosse empregado um número bem menor de elementos de controle e de avaliações da função objetivo em comparação com as demais abordagens, demonstrando a capacidade da metodologia proposta. Os perfis de controle obtidos para cada um dos estudos de caso avaliados são apresentados nas Figuras 3 e 4.

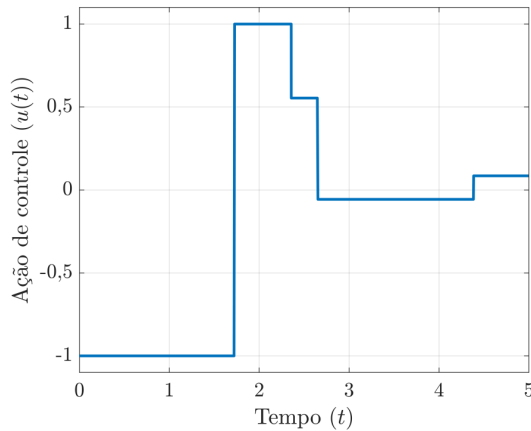


Figura 3: Perfil da variável de controle obtido, pelo emprego dos AG, para o primeiro problema singular em análise.

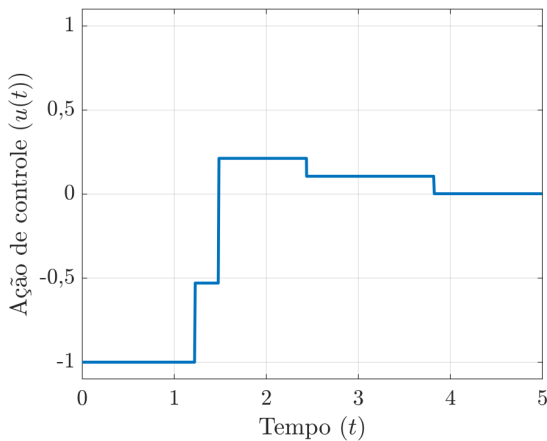


Figura 4: Perfil da variável de controle obtido, pelo emprego dos AG, para o segundo problema singular em análise.

## 5.2 Problema da mistura de catalisadores

Uma vez avaliados os resultados obtidos a partir do emprego dos AG na solução de problemas puramente matemáticos, considera-se o problema da mistura de catalisadores. Este problema clássico da área de controle ótimo tem como objetivo determinar a melhor mistura entre dois catalisadores  $u$  ao longo do comprimento fixo de um reator PFR (*Plug Flow Reactor*) onde ocorre uma reação do tipo  $S_1 \leftrightarrow S_2 \rightarrow S_3$  capaz de maximizar a produção de  $S_3$ .

As variáveis de estado  $x_1$  e  $x_2$  representam respectivamente as concentrações de A e B e a variável de controle  $u$  representa a taxa de mistura dos catalisadores, e apresenta um segmento singular que causa sérias dificuldades na resolução do PCO (Logsdon e Biegler, 1989).

A formulação matemática do problema da mistura de catalisadores é apresentada na Equação 4.

$$\begin{aligned} & \max 1 - x_1(t_f) - x_2(t_f) \\ & \text{sujeito à:} \\ & \quad \dot{x}_1 = u(10x_2 - x_1) \\ & \quad \dot{x}_2 = u(x_1 - 10) - (1 - u)x_2 \\ & \quad t_f = 1s \\ & \quad x_0 = [1 \ 0] \\ & \quad 0 \leq u(t) \leq 1 \end{aligned} \tag{4}$$

Foram adotados:  $N = 30$ ,  $n_g = 60$ ,  $p_s = 0,8$  e  $p_m = 0,9$ . A seleção foi realizada por meio do Método do Torneio (Haupt, 2012) e o cruzamento entre os indivíduos da população para geração de novas soluções se deu através da implementação da combinação linear (Haupt, 2012), com os coeficientes  $\beta_1$  e  $\beta_2$  sendo escolhidos aleatoriamente no intervalo  $[0,3]$  a cada cruzamento. Na etapa de mutação, foi aplicada a uma das variáveis de projeto associadas a alguns dos indivíduos da população, um acréscimo igual a um décimo do limite superior atribuído à respectiva variável.

Nas Tabelas 2 e 3 os resultados obtidos pela implementação dos AG são comparados àqueles advindos do emprego de outras abordagens.

Referência	Método	$J^*$	$N$
Vassiliadis (1993)	NPSOL	0,048055	*
Bell e Sargent (2000)	SNOPT	0,048080	*
Lobato (2004)	IA	0,048057	*
Lobato e Steffen (2004)	MPCA	0,047732	12000

Lobato et al. (2011)	DE	0,048080	5025
	ADE (1)	0,048069	4025
	ADE (2)	0,047990	3850
	IDE	0,048079	3220
Algoritmo Genético		0,048063	1830

Tabela 2: Resultados obtidos pelo emprego dos AG, e de outras abordagens, na solução do problema da mistura de catalisadores. O valor ótimo da função objetivo e o número de iterações, são representados, respectivamente, por  $J^*$  e  $N$ .

\* Informações não fornecidas.

Referência	Método	$t_{s1}$	$t_{s2}$	$u_1$	$u_2$	$u_3$
Lobato (2004)	IA	0,128	0,737	1	0,226	0,000
Lobato e Steffen (2004)	MPCA	0,129	0,732	1	0,227	0,000
Lobato et al. (2011)	DE	0,128	0,733	1	0,227	0,000
	ADE (1)	0,128	0,734	1	0,226	0,000
	ADE (2)	0,127	0,734	1	0,227	0,001
	IDE	0,128	0,733	1	0,226	0,000
Algoritmo Genético		0,134	0,703	1	0,235	0,000

Tabela 3: Valores  $u_1$ ,  $u_2$  e  $u_3$  assumidos pela variável de controle, e pontos no tempo,  $t_{s1}$  e  $t_{s2}$ , em que ocorrem as transições entre estes valores.

Primeiramente cabe ressaltar que as soluções advindas da utilização dos AG estão em concordância com aquelas reportadas pela literatura especializada. Além disso, o uso dos AG possibilitou que fosse empregado um número bem menor de avaliações da função objetivo em comparação com as demais abordagens, demonstrando a capacidade da metodologia proposta. O perfil de controle e a evolução dos estados  $x_1$  e  $x_2$  são apresentados, respectivamente, nas Figuras 5 e 6.

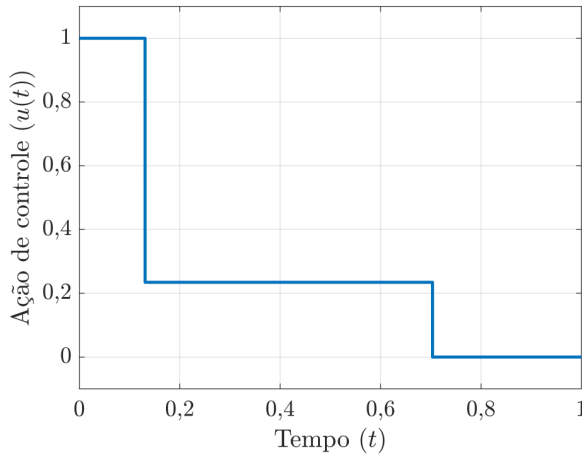


Figura 5: Perfil da variável de controle obtido na solução do problema da mistura de catalisadores pelo emprego dos AG.

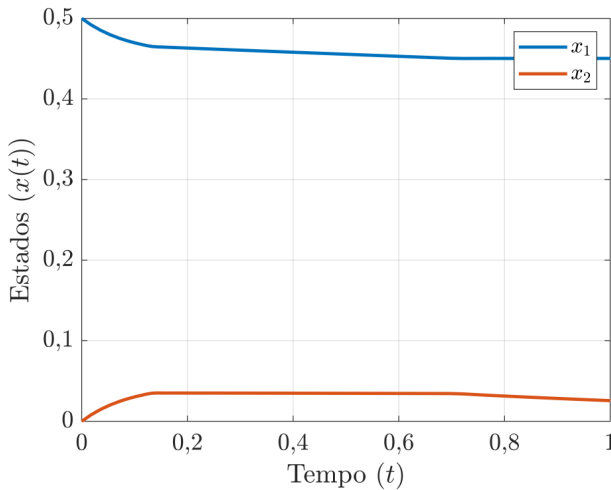


Figura 6: Evolução dos estados obtidos na solução do problema da mistura de catalisadores pelo emprego dos AG.

## 6 | CONCLUSÃO

Neste trabalho foi proposto o emprego dos tradicionais AG na solução de PCOs. Visando a validação desta abordagem três estudos de caso foram propostos. A partir dos resultados obtidos foi possível verificar a eficácia da metodologia em análise, visto que soluções bem próximas àquelas apresentadas na literatura foram encontradas às custas de um menor número de elementos de controle e de avaliações da função objetivo.

## REFERÊNCIAS

Becerra, V. M. **Optimal Control**. Scholarpedia, v. 3, n. 1, p. 5354, 2008.

Bell M. L., Sargent R. W. H. **Optimal Control of Inequality Constrained DAE Systems, Computers and Chemical Engineering**, v. 24, p. 2385-2404, 2000.

Bryson, A. E.; Ho, Y. C. **Applied Optimal Control**. Hemisphere Publishing, Washington, 1975.

Brenan, K. E.; Campbell, S. L.; Petzold, L. R. **Numerical Solution of Initial Value Problems in Differential Algebraic Equations**. Classics Applied Mathematic. SIAM Philadelphia, 1996.

Deb, K. **Multi-Objective Optimization using Evolutionary Algorithms**. John Wiley and Sons, New York, 2001.

Haupt, Randy L.; Haupt, Sue Ellen. **Practical Genetic Algorithms**. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, 2004.

Jacobson, D. H., Gershwin, W. D., Lele, M.M. **Computation of Optimal Singular Controls**. IEEE Trans. On Auto. Control, v. 15, p. 67-73.

Kirk, D. E. **Optimal Control Theory: An Introduction**. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice-Hall, 1970.

Lobato, F. S. **Abordagem Mista para Problemas de Otimização Dinâmica. Dissertação de Mestrado**, FEQUI/UFU, Uberlândia-MG, 2004.

Lobato, F. S., Steffen Jr, V. **Solution of Optimal Control Problems using Multi-Particle Collision algorithm**. 9th Conference on Dynamics, Control and Their Applications, 2010.

Lobato, F. S.; Steffen Jr, V.; Silva-Neto, A. J. **Resolução de Problemas Inversos em Processos Difusivos e Transferência Radiativa usando o Algoritmo de Evolução Diferencial**. Computação Evolucionária em Problemas de Engenharia, Omnipax, 2011.

Lobato, F. S.; Silva-Neto, A. J.; Steffen Jr, V. **Solution of Singular Optimal Control Problems using the Improved Differential Evolution Algorithm**. Journal of Artificial Intelligence and Soft Computing Research, (1), 1-12, 2011.

Logsdon, J. S.; Biegler, L. T. **Accurate Solution of Differential-Algebraic Optimization Problems**. Industrial Engineering Chemical Research, v. 28, p. 1628-1639, 1989.

Nascentes, C. L.; Murata, V. V.; Lobato, F. S. **Resolução de Problemas de Controle Ótimo Singulares com Índice Superior Usando o Algoritmo de Evolução Diferencial**. UFU - Universidade Federal de Uberlândia, 2012. XV Encontro de Modelagem Computacional.

Vassiliadis, V. **Computational Solution of Dynamic Optimization Problems with General Differential-Algebraic Constraints**. Tese de Ph.D. University of London, London, UK, 1993.



## ÍNDICE REMISSIVO

### A

Acabamento 2, 3, 9, 10, 11, 15, 16, 17, 22, 25, 28, 75, 151, 152

Aço Carbono 22, 25

Aço N2711 8, 13

Algoritmos 128, 129, 131

Aplicações Matemáticas 128

Atmosfera de Corte 19, 151, 152, 154, 155, 156, 157

### B

Biodegradável 49, 52

Biomodelos 71, 73

Blindagem 31, 32, 33, 34, 35, 36, 42, 45, 46

### C

Caracterização Mecânica 47, 48

Carbeto de Silício 15, 16, 17, 18, 19, 20

Circuitos Shunt Piezelétricos 81

Coefficiente Convectivo 104, 106, 110

Coletor Solar 117, 126

Controle Ótimo 91, 128, 129, 130, 135, 138

Controle Passivo 81, 82, 86, 91

Correlações 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 114

### D

Distância de Aplicação 22, 24, 25, 29

### E

Elementos Finitos 71, 74, 76, 77, 79, 80, 81, 82, 84, 85, 92

Embalagens 48, 52, 96

Energia Renovável 94, 101

Escoamento Multifásico 104

### G

Gás Liquefeito de Petróleo 94, 96, 102, 103

Gás Natural Veicular 94, 95, 97

Grupo Motor-Gerador 93, 94, 95, 98, 99, 100, 102

## **I**

Imagem Médica 71

Inconel 718 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21

Integridade da Superfície 8

## **J**

Jateamento 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30

## **L**

Laminados de Aço 31, 32, 36, 39

## **M**

Materiais Absorvedores 60, 61, 70

Material Compósito 81, 82, 85, 86

Modelagem 71, 72, 76, 79, 81, 82, 83, 84, 86, 92, 104, 138, 141, 143

Modelo Teórico 1, 2

Módulos Balísticos 31

## **N**

Nanopartículas 61

## **P**

Padrão Intermitente 104, 105, 107, 108

Penetração de Trabalho 2, 3, 4, 5, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 15, 17, 18, 19, 20, 151, 152, 153, 154, 155, 156, 157

Potência Elétrica 151, 152, 153, 154, 155, 156, 157

Propagação de Incertezas 81

Próteses 71, 73

## **R**

Radiação Térmica 117, 118, 119, 122, 123, 126

Refletividade 60, 61, 122, 123, 124, 126

Retificação 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 28, 29, 151, 152, 153, 154, 155, 156, 157

Rugosidade 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 11, 13, 15, 17, 18, 19, 20, 22, 25, 27, 28, 29, 30, 151

## **S**

Superfícies Seletivas 117, 118, 127





## **T**

Teodolito 139, 140, 141, 143, 145, 146, 147, 148, 149, 150

Transferência de Calor 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 113, 115, 118, 126, 127

## **V**

Velocidade da Peça 2, 3, 4, 5, 8, 10, 12, 17, 18, 151, 152, 153, 154, 155, 156, 157

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

# A Aplicação do Conhecimento Científico na Engenharia Mecânica

# 2

 **Atena**  
Editora  
Ano 2020

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

# A Aplicação do Conhecimento Científico na Engenharia Mecânica

# 2

 **Atena**  
Editora  
Ano 2020