

COLEÇÃO
DESAFIOS
DAS
ENGENHARIAS:

ENGENHARIA MECÂNICA



HENRIQUE AJUZ HOLZMANN
JOÃO DALLAMUTA
(ORGANIZADORES)

Atena
Editora
Ano 2021

COLEÇÃO
DESAFIOS
DAS
ENGENHARIAS:

ENGENHARIA MECÂNICA



HENRIQUE AJUZ HOLZMANN
JOÃO DALLAMUTA
(ORGANIZADORES)

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 Internazionale 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 Salvador
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

Diagramação: Maria Alice Pinheiro
Correção: Mariane Aparecida Freitas
Revisão: Os autores
Organizadores: Henrique Ajuz Holzmann
João Dallamuta

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

C691 Coleção desafios das engenharias: engenharia mecânica / Organizadores Henrique Ajuz Holzmann, João Dallamuta. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2021.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5983-259-0

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.590212107>

1. Engenharia mecânica. I. Holzmann, Henrique Ajuz (Organizador). II. Dallamuta, João (Organizador). III. Título. CDD 621

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

Atena Editora
Ponta Grossa – Paraná – Brasil
Telefone: +55 (42) 3323-5493
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br

DECLARAÇÃO DOS AUTORES

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

DECLARAÇÃO DA EDITORA

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

APRESENTAÇÃO

A Engenharia 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. O aumento no interesse por essa área se dá principalmente pela escassez de matérias primas, a necessidade de novos materiais que possuam melhores características físicas e químicas e a necessidade de reaproveitamento dos resíduos em geral. Além disso a busca pela otimização no desenvolvimento de projetos, leva cada vez mais a simulação de processos, buscando uma redução de custos e de tempo.

Neste livro são apresentados trabalho teóricos e práticos, relacionados a área de mecânica, materiais e automação, dando um panorama dos assuntos em pesquisa atualmente. A caracterização dos materiais é de extrema importância, visto que afeta diretamente aos projetos e sua execução dentro de premissas técnicas e econômicas. Pode-se ainda estabelecer que estas características levam a alterações quase que imediatas no projeto, sendo uma modificação constante na busca por melhores respostas e resultados.

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. Sendo hoje que utilizar dos conhecimentos científicos de uma maneira eficaz e eficiente é um dos desafios dos novos engenheiros.

Boa leitura

Henrique Ajuz Holzmann
João Dallamuta

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

MODELAGEM DE UM MANIPULADOR PARALELO 3RRR PARA INCLUSÃO DE ELOS FLEXÍVEIS

André Vecchione Segura

Fernanda Thaís Colombo

Maíra Martins da Silva

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5902121071>

CAPÍTULO 2..... 9

MODELAGEM NUMÉRICA DE SUSPENSÃO DE ¼ DE VEÍCULO

Lucas Alves Torres

Lucas Messias Cunha de Araújo

João Gabriel Paulino de Souza

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5902121072>

CAPÍTULO 3..... 20

OTIMIZAÇÃO PARAMÉTRICA DA SUSPENSÃO DE UM CAMINHÃO COM RESTRIÇÃO DE CONFIABILIDADE

José Gilberto Picoral Filho

Ewerton Grotti

Herbert Martins Gomes

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5902121073>

CAPÍTULO 4..... 38

ANÁLISE DE FADIGA PARA OS AÇOS ABNT 1045 E ABNT 4140 PELO MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS

Brenda Martins Fernandes

Reny Angela Renzetti

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5902121074>

CAPÍTULO 5..... 48

ANÁLISE PARAMÉTRICA DAS FREQUÊNCIAS DOMINANTES DE UM VIOLÃO ACÚSTICO

Marco Túlio Santana Alves

Felipe Iglesias

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5902121075>

CAPÍTULO 6..... 56

VORTEX-INDUCED VIBRATIONS MODEL WITH 2 DEGREES OF FREEDOM OF RIGID CYLINDERS NEAR A FIXED WALL BASED ON WAKE OSCILLATOR

Rafael Fehér

Juan Pablo Julca Avila

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5902121076>

CAPÍTULO 7	67
AVALIAÇÃO DE PARÂMETROS DE UM COLETOR SOLAR DE TUBO EVACUADO ECCÊNTRICO	
Mavd de Paula Ribeiro Teles Kamal Abdel Radi Ismail	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.5902121077	
CAPÍTULO 8	79
RADIÔMETRO SOLAR DE BAIXO CUSTO USANDO A PLATAFORMA ABERTA ARDUINO	
Elson Avallone Cristiano Pansanato Átila Negretti Faro Dionísio Igor Alves da Silva Jhonatas Wendel da Silva Guilherme Biazzi Gonçalves Mário César Ito Rafael Paiva Garcia Paulo César Mioralli	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.5902121078	
CAPÍTULO 9	92
TURBULENT FORCED CONVECTION IN THE THERMAL ENTRANCE OF RECTANGULAR DUCTS: ANALYSIS FOR DIFFERENT MODELS OF VELOCITY DISTRIBUTION AND MOMENTUM EDDY DIFFUSIVITY	
Dhiego Luiz de Andrade Veloso Carlos Antônio Cabral dos Santos Fábio Araújo de Lima	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.5902121079	
CAPÍTULO 10	109
SELEÇÕES DE SUBSTITUIÇÃO EM UM ALGORITMO GENÉTICO DE CODIFICAÇÃO REAL APLICADO À OTIMIZAÇÃO DE UM CICLO RANKINE ORGÂNICO DE DUPLO ESTÁGIO	
Guilherme de Paula Prado Renan Manozzo Galante	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.59021210710	
CAPÍTULO 11	124
DINÂMICA LINEAR PLANA DE UM TUBO ENGASTADO TRANSPORTANDO FLUIDO COM UMA MASSA ANEXADA NA EXTREMIDADE LIVRE	
Milton Aparicio de Oliveira	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.59021210711	

CAPÍTULO 12..... 138

SENSOR CAPACITIVO PARA DETECÇÃO DE FRAÇÃO DE VAZIO EM ESCOAMENTO BIFÁSICO ÁGUA-AR

Anderson Giacomeli Fortes

Jeferson Diehl de Oliveira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.59021210712>

CAPÍTULO 13..... 150

STUDY OF STATIC AND DYNAMIC LEVELS OF UNDERGROUND AQUIFER WELLS TO MAINTAIN THEIR BALANCE LEVEL IN THE PROVINCE OF ICA - 2014

Primitivo Bacilio Hernández Hernández

Omar Michael Hernández García

Aníbal Bacilio Hernández García

Jessenia Leonor Loayza Gutiérrez

Walter Merma Cruz

Marcos Luis Quispe Pérez

Edward Paul Sueros Ticona

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.59021210713>

CAPÍTULO 14..... 164

SISTEMAS COMPUTACIONAIS INTELIGENTES E CONTROLE AVANÇADO COM ÊNFASE EM MAPAS COGNITIVOS FUZZY EM SISTEMAS DINÂMICOS APLICADOS EM DIFERENTES ÁREAS, COM ÊNFASE EM ROBÓTICA

Márcio Mendonça

Marina Souza Gazotto

Marina Sandrini

Marta Rúbia Pereira dos Santos

Rodrigo Henrique Cunha Palácios

Fábio Rodrigo Milanez

Lillyane Rodrigues Cintra

Francisco de Assis Scannavino Junior

Wagner Fontes Godoy

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.59021210714>

CAPÍTULO 15..... 181

ROBÔ AUTÔNOMO PARA ESTACIONAMENTO

Lucas Netto Luzente de Almeida

Graziele Barreto da Costa Almeida

Heitor Gomes de Souza Batista

Armando Carlos de Pina Filho

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.59021210715>

CAPÍTULO 16..... 193

PROTOTIPAGEM RÁPIDA 3D APLICADA AO ÂMBITO UNIVERSITÁRIO

Vitória de Oliveira Mattos

Lucas Ruzzon de Jesus Ortega

Rafael Issao Fukai

Milena de Sousa Ferreira
João Pedro Monterani Laguna
Marcelo Sampaio Martins

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.59021210716>

CAPÍTULO 17..... 199

**UMA SOLUÇÃO ANALÍTICA PARA EFEITOS MECÂNICOS EM TUMORES SÓLIDOS
AVASCULARIZADOS**

Francisco Jose Vargas da Silva

Fernando Pereira Duda

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.59021210717>

SOBRE OS ORGANIZADORES 206

ÍNDICE REMISSIVO..... 207

SELEÇÕES DE SUBSTITUIÇÃO EM UM ALGORITMO GENÉTICO DE CODIFICAÇÃO REAL APLICADO À OTIMIZAÇÃO DE UM CICLO RANKINE ORGÂNICO DE DUPLO ESTÁGIO

Data de aceite: 01/07/2021

Data de submissão: 06/05/2021

Guilherme de Paula Prado

Universidade Tecnológica Federal do Paraná –
UTFPR
Guarapuava – PR
<http://lattes.cnpq.br/8738706187849020>

Renan Manozzo Galante

Universidade Tecnológica Federal do Paraná –
UTFPR
Guarapuava – PR
<http://lattes.cnpq.br/8573919756836467>

RESUMO: Problemas de otimização são comuns aos projetos de sistemas de engenharia. Nos sistemas térmicos, mais especificamente, pode-se desejar otimizar a potência, a transferência de calor, a eficiência térmica, custos totais, etc. Estes sistemas possuem muitos parâmetros de otimização, cujas influências no funcionamento do sistema podem ser imprevisíveis e de comportamento não linear. Devido à complexidade da otimização de sistemas térmicos, a utilização de algoritmos avançados de otimização torna-se atrativa. O presente trabalho se propõe a comparar a eficiência de um algoritmo genético de codificação real na otimização de um ciclo Rankine orgânico de duplo estágio, considerando dois tipos de seleção de substituição. Resultados apontaram para a convergência mais rápida e para valores mais próximos entre si quando utilizada a seleção

($\mu + \lambda$). A seleção (μ, λ) apresentou uma maior dispersão entre os valores ótimos encontrados, o que pode estar relacionado à maior diversidade da população.

PALAVRAS - CHAVE: Algoritmo Genético, Otimização, Seleção, Sistemas Térmicos

REPLACEMENT SELECTIONS IN A REAL-CODED GENETIC ALGORITHM APPLIED TO THE OPTIMIZATION OF A DOUBLE STAGE ORGANIC RANKINE CYCLE

ABSTRACT: Optimization problems are common in engineering systems designing. More specifically, in thermal systems, it is desirable to optimize the net power, the heat transfer, thermal efficiency, total costs, etc. These systems have various optimization parameters which influence into the system operation may be unpredictable and with nonlinear behavior. Due to the complexity in optimizing thermal systems, the use of advanced algorithms of optimization become attractive. The present work proposes to compare the efficiency of a real-coded genetic algorithm in optimizing a double stage organic Rankine cycle, considering two types of replacement selection. Results point to a fastest convergence when using ($\mu + \lambda$) selection. The (μ, λ) selection presented a greater dispersion between the optimum values found which may be related to the greater diversity of population.

KEYWORDS: Genetic Algorithm, Optimization, Selection. Thermal Systems.

1 | INTRODUÇÃO

1.1 Otimização

Otimização é a tarefa de encontrar a melhor solução para um determinado problema. Geralmente procura-se por uma solução ótima global cuja a qual é a melhor solução para todo o domínio deste problema. Problemas de otimização são comuns nas mais diversas áreas, desde a vida cotidiana às áreas da matemática, engenharia, ciências naturais e sociais, ciência da computação, entre outras. De forma resumida, toda situação em que se pretende maximizar algo como lucro, ou minimizar algo como gasto energético, trata-se de um problema de otimização (KRAMER, 2017).

Matematicamente, um problema de otimização pode ser descrito de forma genérica como (YANG, 2010):

$$\begin{aligned} & \min_{x \in \mathbb{R}} f_i(x), & (i = 1, 2, \dots, M), \\ \text{sujeita a} & \quad \phi_j(x) = 0, & (j = 1, 2, \dots, J), \\ & \quad \psi_k(x) \leq 0, & (k = 1, 2, \dots, K), \end{aligned} \tag{1}$$

em que $f_i(x)$, $\phi_j(x)$ e $\psi_k(x)$ são funções do vetor

$$X = \langle x_1, x_2, \dots, x_n \rangle^T \tag{2}$$

Os componentes x_i do vetor X são chamados parâmetros ou variáveis de decisão/otimização. As funções f_i são chamadas de funções objetivo e, para os casos em que $M = 1$, há apenas uma função objetivo. O domínio que contém as variáveis de decisão é chamado de espaço de busca \mathbb{R}^n . As igualdades $\phi_j(x)$ e as desigualdades $\psi_k(x)$ são restrições deste espaço de busca. As desigualdades também podem ser do tipo ≥ 0 e, a otimização, formulada como um problema de maximização (YANG, 2010).

Nos diversos campos da engenharia, problemas de otimização são abundantes. Otimização é recorrente em aplicações de projeto, modelagem, caracterização, controle, produção, etc. Muitos problemas da vida real possuem mais de uma solução e, assim, a otimização pode ser realizada encontrando-se o conjunto de parâmetros/variáveis que melhor solucionam o problema, em termos de algum critério de desempenho. À melhor solução possível, dá-se o nome de solução ótima. Problemas que admitem somente uma solução não são otimizáveis, pois apenas um único conjunto de parâmetros é aceitável (ANTONIOU; LU, 2007).

Lopes e Takahashi (2011) afirmam que o projeto de sistemas de engenharia requer o uso de técnicas capazes de tratar o grande número de soluções que estes sistemas possuem, abordando um número reduzido de soluções consideradas ótimas que implicam

em sistemas econômicos, confiáveis e de bom desempenho. Estas técnicas são chamadas de técnicas ou métodos de otimização que, com o avanço da tecnologia, tornam-se cada vez mais frequentes e importantes.

A otimização também é um procedimento comum ao projeto de sistemas térmicos, onde considera-se um requisito específico, como transferência de calor, eficiência térmica, capacidade de resfriamento, etc. Além dos requisitos citados anteriormente, é razoável minimizar o custo total do sistema. Deste modo, o processo de otimização se torna complexo, cuja função objetivo deve considerar um grande número de variáveis e restrições de projeto. A influência das variáveis de otimização geralmente é imprevisível e de comportamento não linear, e a função objetivo pode apresentar vários ótimos locais. Nestes casos, a utilização de algoritmos avançados de otimização torna-se atrativa, cujo os quais encontram soluções suficientemente próximas do ótimo global, com custo computacional e tempo razoáveis (PATEL; SAVSANI; TAWHID, 2019).

O presente trabalho tem como objetivo estudar o desempenho e a performance de um algoritmo genético de codificação real (RCGA – do inglês *Real-Coded Genetic Algorithm*) em relação às seleções de substituição ($\mu + \lambda$) e (μ, λ) (lê-se mu plus lambda e mu comma lambda, respectivamente), aplicado à otimização do ciclo Rankine orgânico de duplo estágio (DS ORC – do inglês *Double Stage Organic Rankine Cycle*) estudado por Braimakis e Karellas (2018).

Em seu trabalho, Braimakis e Karellas (2018) otimizaram um DS-ORC conectado em série via força bruta, para 28 diferentes pares de fluidos de trabalho. Prado e Galante (2020) propuseram um RCGA para a otimização do mesmo DS-ORC e os mesmos pares de fluidos, e demonstraram que essa abordagem pode gerar soluções satisfatórias, cuja as quais podem ser melhoradas executando-se o algoritmo diversas vezes. No presente trabalho, para comparar a influência das seleções ($\mu + \lambda$) e (μ, λ), apenas um par de fluido será utilizado.

1.2 Algoritmo Genético de Codificação Real

O algoritmo genético (GA – do inglês *Genetic Algorithm*) é descrito por Kramer (2017) descreve um GA como modelo ou abstração da evolução biológica, baseada na teoria da seleção natural de Charles Darwin.

Um GA procura por soluções ótimas ao realizar um processo de evolução artificial. Esse processo começa com uma primeira geração formada por soluções candidatas geradas de forma aleatória. Então, um processo evolucionário começa recombinação duas ou mais soluções por meio de um operador de cruzamento (*crossover*). Novas soluções também podem ser criadas ou modificadas por um operador de mutação. As melhores soluções geradas após cruzamento e/ou mutação são selecionadas (ou tendem a ser selecionadas) para a próxima geração (KRAMER, 2017).

Os GAs foram apresentados como métodos de otimização pela primeira vez por

John Holland em 1975, nos Estados Unidos. O primeiro GA tem representação binária, baixa probabilidade de mutação, seleção proporcional à aptidão e ênfase na recombinação para gerar novas soluções candidatas. Este algoritmo genético é comumente mencionado como “GA canônico” ou “GA simples” (SGA – do inglês *Simple Genetic Algorithm*) (EIBEN; SMITH, 2016).

GAs de representação binária se mostraram ineficientes em aplicações de alta precisão, multidimensionais, ou em problemas de domínio contínuo se comparados aos RCGAs. Nos RCGAs, as variáveis, que são representadas por números no formato de ponto flutuante (*floating-point*), são genes que formam os cromossomos dos indivíduos, cujo os quais são alterados por diferentes operadores genéticos (CHAMBERS, 2000).

Ao comparar os GAs de representação binária com os RCGAs, Michalewicz (1996) concluiu que a representação por ponto flutuante é mais rápida, mais consistente e promove maior precisão. Essa representação por ponto flutuante também é descrita como de fácil implementação, já que é mais fiel ao domínio do problema.

Segundo Stefanoiu (2014), a estratégia/seleção de substituição ou sobrevivência, que escolhe quais indivíduos da geração atual passarão para a próxima geração, têm relação com as propriedades de *exploitation* (capacidade de convergência rápida) e *exploration* (capacidade de exploração do domínio do problema) do GA. Portanto, as seleções ($\mu + \lambda$) e (μ, λ) serão abordadas e analisadas em relação à convergência e exploração do domínio do problema.

Na seleção ($\mu + \lambda$), um número μ de indivíduos é selecionado entre o conjunto de indivíduos da população atual e o conjunto de λ indivíduos gerados pelos operadores genéticos (cruzamento e/ou mutação). Na seleção (μ, λ), toda a população atual é descartada e sobreviventes são escolhidos somente entre o conjunto de λ indivíduos gerados (KRAMER, 2017). O procedimento de otimização com o RCGA será melhor descrito e detalhado na METODOLOGIA.

2 | METODOLOGIA

Braimakis e Karellas (2018) otimizaram um DS ORC via força bruta. Nesse trabalho, a otimização foi realizada pela maximização da eficiência exergética, variando-se um conjunto de parâmetros de um limite inferior a um limite superior. Esse procedimento de otimização foi repetido para diferentes valores de temperatura da fonte quente, variando entre 100 e 300°C, em incrementos de 20 K. Além disso, essa otimização é executada para 28 diferentes combinações de fluido de trabalho.

Como o intuito do presente trabalho é comparar duas estratégias de substituição em um RCGA, a mesma planta e a mesma modelagem de Braimakis e Karellas (2018) serão consideradas, mas apenas um par de fluido de trabalho (Ciclopentano e R1234yf) será analisado, com a temperatura da fonte quente fixada em 240°C. A modelagem,

algumas considerações e o processo de otimização serão melhor detalhados nas próximas subseções.

2.1 Modelagem

Braimakis e Karellas (2018) modelaram o DS ORC como sendo dois ciclos Rankine orgânicos de único estágio conectados em série, operando em alta e baixa temperatura, respectivamente, como mostrado na Figura 1. Assim como na metodologia de Braimakis e Karellas (2017), a fonte quente será considerada como água quente pressurizada. Os ciclos de alta temperatura (HT – do inglês *High Temperature*) e de baixa temperatura (LT – do inglês *Low Temperature*) têm a mesma configuração. Como o fluido do trabalho do ciclo HT deve possuir temperatura crítica igual ou superior ao ciclo LT, o ciclopentano (temperatura crítica de 238,6°C) é assumido como fluido de trabalho do ciclo HT e o R1234yf (temperatura crítica de 94,70°C) como fluido de trabalho do ciclo LT.

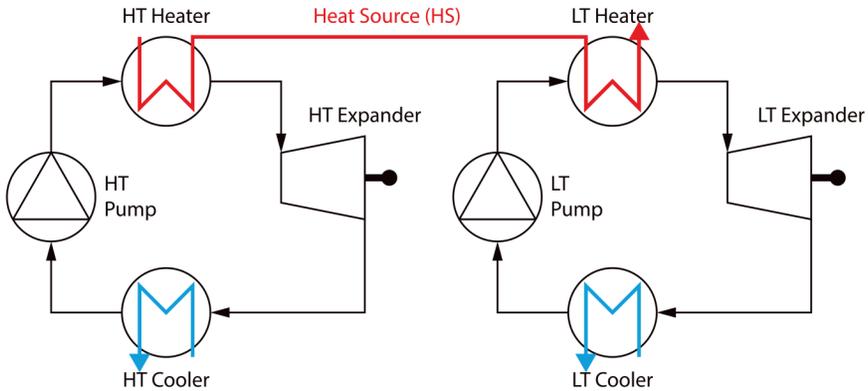


Figura 1: Representação do ciclo Rankine orgânico de duplo estágio.

Fonte: adaptado de Braimakis e Karellas (2018).

Assim como em Braimakis e Karellas (2018), a função objetivo utilizada para a otimização do DS ORC é a eficiência exérgica (eficiência da segunda lei), calculada pela Equação 3.

$$\eta_{ex} = \frac{P_{e,liq}}{\dot{E}_{fq}} \quad (3)$$

Na Equação 3, $P_{e,liq}$ é a soma das potências líquidas geradas nos ciclos HT e LT, e \dot{E}_{fq} é a taxa exérgica da corrente da fonte quente na entrada do sistema, dada pela Equação 4. Assume-se uma capacidade máxima teórica de 500 kW para a fonte quente.

$$\dot{E}_{fq} = \dot{m}_{fq} [(h_{fq,ent} - h_{fq,ref}) - T_0 (s_{fq,ent} - s_{fq,ref})] \quad (4)$$

No presente trabalho, assim como em Braimakis e Karellas (2018), as propriedades termofísicas são calculadas usando a biblioteca CoolProp, desenvolvida e apresentada por Bell *et al.* (2014).

2.2 Variáveis de Otimização e Considerações

Em Braimakis e Karellas (2018), as seguintes variáveis de otimização são consideradas: pressões de evaporação dos ciclos HT e LT, *pinch point* da caldeira de recuperação (também mencionada como evaporador) e temperatura de condensação no estágio HT. Essas variáveis de otimização (em negrito) e as principais considerações e suposições para o sistema são apresentadas na Tabela 1.

<u>Eficiências</u>	
Eficiência eletromecânica ($\eta_m \eta_G$)	0,95
Eficiência do motor da bomba (η_M)	0,85
Eficiência isentrópica do expansor ($\eta_{exp,is}$)	0,75
Eficiência isentrópica da bomba ($\eta_{bomba,is}$)	0,70
<u>Trocadores de calor</u>	
Pinch point no evaporador HT (PP_{HT})	a ser otimizado (5 a 40 K)
Pinch point no evaporador LT	5 K
Incremento na temperatura da água de resfriamento	10 K
<u>Limites globais de pressão e temperatura</u>	
Pressão no evaporador HT (p_{HT})	a ser otimizada
Pressão no evaporador LT (p_{LT})	a ser otimizada
Temperatura de condensação no ciclo HT ($T_{cond,HT}$)	a ser otimizada (40 a 140°C)
Mínimas temperaturas de condensação HT e LT (°C)	$\max(40, T_{sat}(p = 5 \text{ kPa}))$
Pressão de evaporação mínima (HT e LT)	$1,5 p_{cond}$
Pressão de evaporação máxima (HT e LT)	$\min(40E+2 \text{ kPa}, 1,4p_{crit})$

Tabela 1: Variáveis de otimização e principais considerações.

Fonte: Braimakis e Karellas (2018).

2.3 Procedimento se Otimização com o RCGA

O procedimento de otimização com o RCGA se inicia pela criação de indivíduos com cromossomos contendo as variáveis de otimização como seus genes. O cromossomo de um indivíduo é representado por um vetor de números de ponto flutuante. Um indivíduo pode ser descrito pela Equação 2, em que x_1, x_2, \dots, x_n são genes representados por números de ponto flutuante.

Como visto anteriormente, Braimakis e Karellas (2018) consideraram PP_{HT} , p_{HT} , p_{LT} e $T_{cond,HT}$ como variáveis de otimização. Deste modo, para este problema de otimização, cada indivíduo tem 4 genes, e pode ser representado pela Equação 5.

$$X_i = \langle PP_{HT}, p_{HT}, p_{LT}, T_{cond,HT} \rangle^T \quad (5)$$

Para cada indivíduo da população inicial, os genes ou variáveis de otimização são selecionados aleatoriamente dentro dos limites mostrados na Tabela 2.

5	≤	PP_{HT}	≤	40 K
$1,5 p_{cond}$	≤	p_{HT}	≤	$\min(40E+2 \text{ kPa}, 1,4 p_{crit})$
$1,5 p_{cond}$	≤	p_{LT}	≤	$\min(40E+2 \text{ kPa}, 1,4 p_{crit})$
40	≤	$T_{cond,HT}$	≤	140°C

Tabela 2: Limites das variáveis de otimização.

Fonte: autoria própria.

Inicialmente, o tamanho da população (n_{pop}), geralmente fixo, é definido. Então, n_{pop} indivíduos são criados aleatoriamente como mencionado anteriormente, dentro dos limites apresentados na Tabela 2. Um fluxograma que representa o procedimento de otimização com o RCGA a partir da criação da população inicial é mostrado na Figura 2.

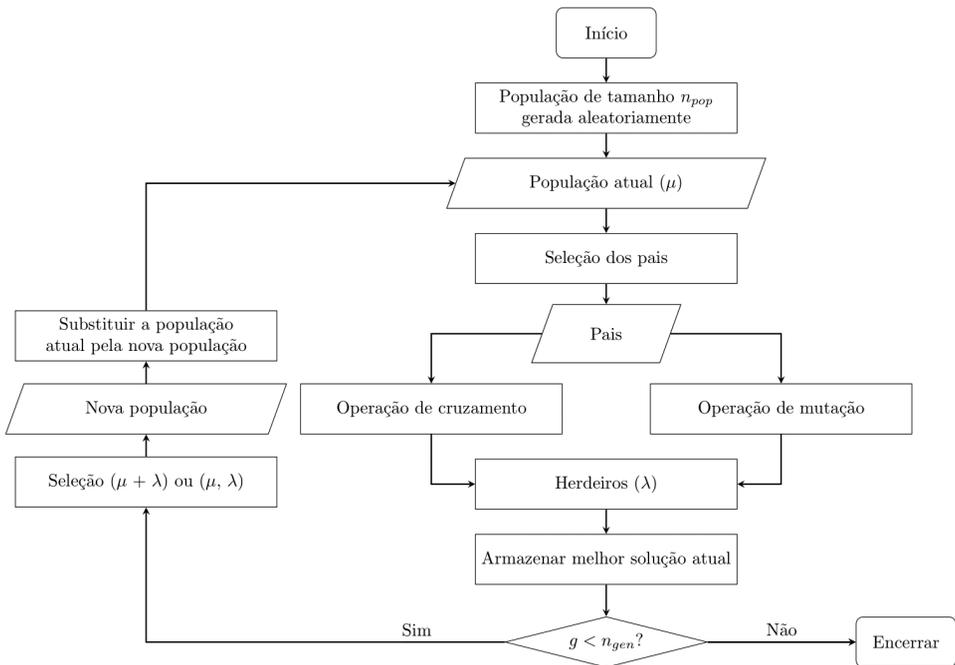


Figura 2: Fluxograma do processo evolutivo do RCGA.

Fonte: Autoria própria.

Após a população inicial ser criada, cada indivíduo é avaliado baseado em sua aptidão. No problema do presente trabalho, a aptidão é calculada utilizando os genes dos indivíduos como parâmetros na modelagem do DS ORC, e calculando a eficiência exergética pela Equação 3. Como o objetivo desta otimização é a maximização da eficiência exergética, a aptidão dos indivíduos pode ser considerada como sendo o próprio valor calculado pela Equação 3 e, deste modo, os indivíduos mais aptos são aqueles com maiores valores de eficiência exergética.

Com a avaliação de todos os indivíduos da população, é possível selecionar alguns deles como “pais”, com base em suas aptidões. Os pais são indivíduos selecionados (par a par) para gerarem novas soluções através de cruzamento ou mutação. As novas soluções candidatas são chamadas de “filhos” ou “herdeiros”. Existem diversas formas de seleção parental, mas no presente trabalho os pais são escolhidos de forma aleatória para não aplicar muita seleção ao RCGA.

Os operadores de cruzamento e mutação são aplicados paralelamente até que um conjunto de filhos de tamanho λ (número inteiro escolhido pelo usuário) seja criado. Deste modo, deve-se definir as probabilidades de cruzamento e mutação p_c e p_m , respectivamente. Os valores de p_c e p_m definem com que frequência os operadores de cruzamento e mutação ocorrerão, e ambos devem estar dentro do intervalo $[0,1]$, obedecendo a condição $(p_c + p_m) \leq 1,0$. A criação do conjunto de filhos ocorre de forma iterativa até que o conjunto de herdeiros tenha λ indivíduos. Em cada iteração, um número r no intervalo $[0,1]$ é escolhido aleatoriamente; se $r < p_c$, então dois pais são escolhidos e aplica-se o operador de cruzamento, gerando-se dois filhos, mas apenas o primeiro filho gerado é adicionado à população de herdeiros; se $p_c < r \leq (p_c + p_m)$, um pai é escolhido e aplica-se o operador de mutação, em que cada gene do cromossomo pode ser modificado individualmente de acordo com um número ind_{pb} definido pelo usuário, e o indivíduo é escolhido pela seleção parental e adicionado ao conjunto de herdeiros; se $(p_c + p_m) < 1$ e $r > (p_c + p_m)$, então um indivíduo é escolhido pela seleção parental e adicionado ao conjunto de herdeiros, sem sofrer modificações pelos operadores anteriores.

Existem diversos operadores de cruzamento para os RCGAs, alguns deles são revisados por Herrera *et al.* (1998) e Sorsa *et al.* (2008). O operador de cruzamento escolhido para o presente RCGA é o SBX (do inglês – *Simulated Binary Crossover*), apresentado por Deb e Agrawal (1995). No SBX, a probabilidade de cruzamento (p_c) e um índice de distribuição (n_c), geralmente fixos, são definidos. n_c define o quão próximos (em relação aos valores das variáveis de otimização) os filhos serão de seus respectivos pais.

O operador de mutação utilizado neste RCGA é o Polynomial Mutation Operator, que é estudado por Deb e Ayan Deb (2014). Nesse operador, o usuário deve definir uma probabilidade de mutação (p_m) e um índice de distribuição (n_m). n_m define o quão próximos os filhos serão de seus respectivos pais. Os operadores de cruzamento e mutação descritos anteriormente são limitados de forma a garantir que os valores das variáveis de otimização

não excedam os valores mostrados na Tabela 2.

Após o conjunto de herdeiros ser completado, a nova população é selecionada pela estratégia de substituição. Como mencionado anteriormente, no presente trabalho serão consideradas duas diferentes abordagens para o RCGA, as seleções $(\mu + \lambda)$ e (μ, λ) . Na seleção $(\mu + \lambda)$, a nova geração é selecionada entre o conjunto de herdeiros (de tamanho λ) e o conjunto da população atual (de tamanho μ), preservando-se as melhores soluções encontradas em cada geração. Na seleção (μ, λ) , o conjunto (μ) é descartado, e a nova população é escolhida somente entre os indivíduos do conjunto de herdeiros (de tamanho λ), e desta forma, nem sempre as melhores soluções encontradas são preservadas. Vale destacar que no presente RCGA, o tamanho da população se mantém constante ao longo das gerações e, desta forma, o número μ , que define quantos indivíduos são selecionados para a próxima geração, é considerado como igual a n_{pop} .

A substituição da população atual pela nova população determina uma nova geração. Todos os processos de seleção de pais e criação de filhos por cruzamento e/ou mutação são repetidos até que um número máximo de gerações (definido pelo usuário) seja alcançado e, a melhor solução encontrada em todas as gerações é considerada como a solução ótima.

3 I RESULTADOS

O RCGA foi executado trinta vezes para cada estratégia de substituição. A cada execução do algoritmo, o valor da melhor solução encontrada em cada geração é armazenado. Considerou-se os seguintes parâmetros: $n_{pop} = \mu = 25$, $\lambda = 50$, $\rho_c = 0,7$, $\eta_c = 0,5$, $\rho_m = 0,3$, $ind_{pb} = 0,3$, $\eta_m = 2$, $\eta_{gen} = 50$. A Figura 3 apresenta as melhores soluções encontradas pelas várias execuções do RCGA ao longo das gerações.

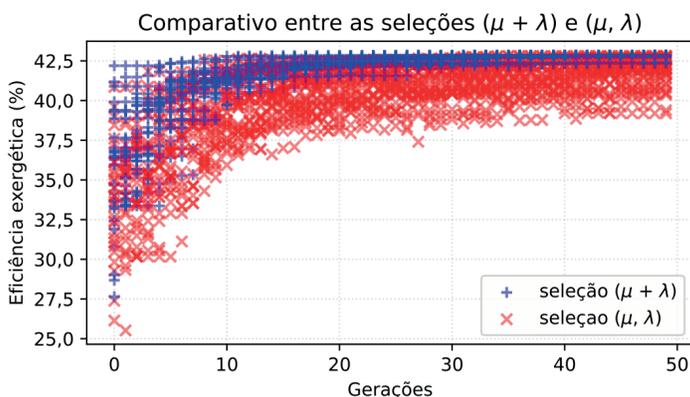


Figura 3: Melhores soluções encontradas em cada geração, em 30 execuções do RCGA.

Fonte: autoria própria.

Como pode-se observar no gráfico da Figura 3, os pontos referentes aos melhores valores encontrados pela seleção (μ, λ) apresentam uma maior dispersão, se comparados aos valores encontrados pela seleção $(\mu + \lambda)$, em todo o processo de busca pela solução ótima. Essa dispersão pode ser melhor observada na Figura 4, que apresenta o desvio padrão dos melhores valores encontrados em cada geração, para cada seleção de substituição.

A diferença na dispersão dos valores encontrados pelos dois tipos de seleção de substituição, apresentadas nas Figuras 3 e 4, pode estar relacionada às propriedades de *exploration* e *exploitation*. A propriedade de *exploration*, segundo Stefanoiu (2014), está associada à diversidade da população, o que permite uma maior exploração do domínio do problema e evita a estagnação do algoritmo em um mínimo ou máximo local. Utilizando o desvio padrão como medida de diversidade, é possível observar que a seleção (μ, λ) se sobressai em relação à $(\mu + \lambda)$ nesse sentido. Zhu (2003) além de estudar o desvio padrão como medida de diversidade, afirma que a queda do mesmo está relacionada à convergência da população. A habilidade de evitar ótimos locais não pôde ser observada na otimização do problema abordado no presente trabalho.

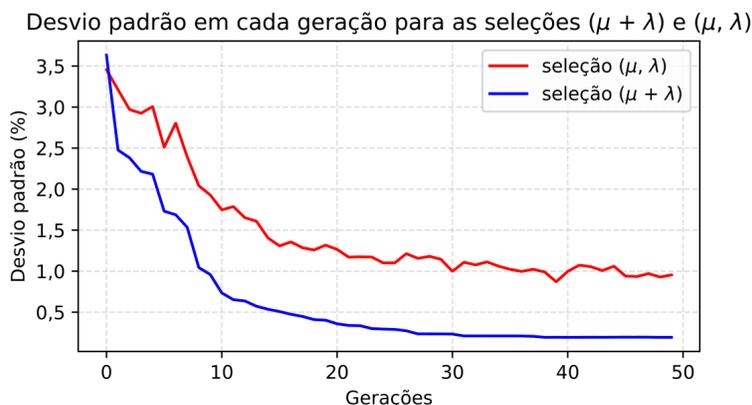


Figura 4: Desvio padrão das aptidões em cada geração, em 30 execuções do RCGA.

Fonte: autoria própria.

A propriedade de *exploitation*, isto é, de convergência rápida segundo Stefanoiu (2014), pode ser observada pela seleção $(\mu + \lambda)$ em relação à (μ, λ) em análise da Figura 3. Como Zhu (2003) afirma, esta convergência mais rápida também pode ser observada pelo gráfico da Figura 4, em que o desvio padrão das aptidões da seleção $(\mu + \lambda)$ se mostra menor em praticamente toda a busca, com exceção das primeiras gerações. Além da convergência mais rápida, a seleção $(\mu + \lambda)$ encontrou melhores soluções em todas as execuções, resultado que é apresentado na Figura 5, em que o valor das melhores soluções encontradas pelas duas formas de seleção de substituição é mostrado de forma

crescente. Outra propriedade apresentada pela seleção ($\mu + \lambda$) diz respeito a encontrar soluções ótimas com valores mais próximos entre si: o desvio padrão das soluções ótimas de cada execução foi calculado, sendo igual a 0,19% para a seleção ($\mu + \lambda$) e 0,48% para a seleção (μ, λ).

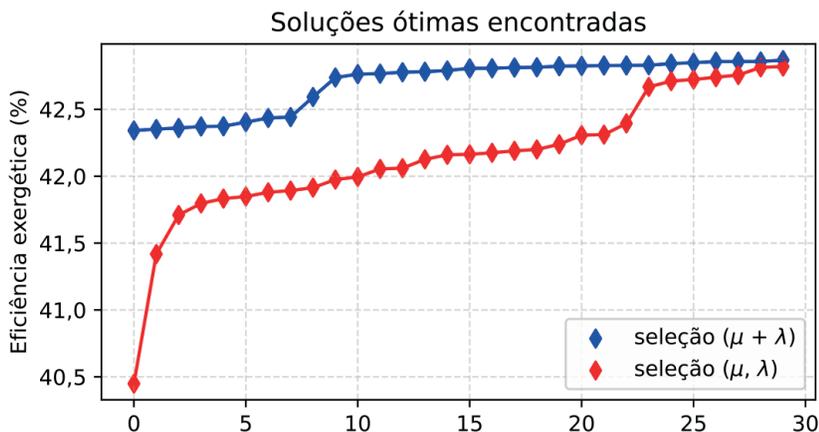


Figura 5: Melhores soluções encontradas, em ordem crescente.

Fonte: autoria própria.

A melhor solução encontrada em todas as execuções resultou em uma eficiência exergética de 42,87%, com os valores para as variáveis de otimização apresentados na Tabela 3.

PP_{HT}	5 K
p_{HT}	1473,4 kPa
p_{LT}	1874,4 kPa
$T_{cond,HT}$	40 K

Tabela 3: Valores ótimos para as variáveis de decisão.

Fonte: autoria própria.

Para os valores da Tabela 3, um diagrama Q-T do DS ORC é mostrado na Figura 6. Este diagrama apresenta a quantidade de calor da fonte quente que é absorvida pelos estágios HT e LT; a linha vermelha representa a temperatura da fonte quente, que diminui conforme fornece calor para o sistema; a linha azul apresenta a temperatura dos fluidos de trabalho dos estágios HT e LT. Neste diagrama também é possível observar como é feita a análise de *pinch point*: a partir de uma discretização da caldeira de recuperação, em que

o processo de fornecimento de calor para o sistema é dividido em diversas partes, o *pinch point* é considerado como a menor diferença de temperatura entre os fluidos quente e frio encontrada. Graficamente, o *pinch point* é a menor distância entre as linhas vermelha e azul, em cada estágio do DS ORC.

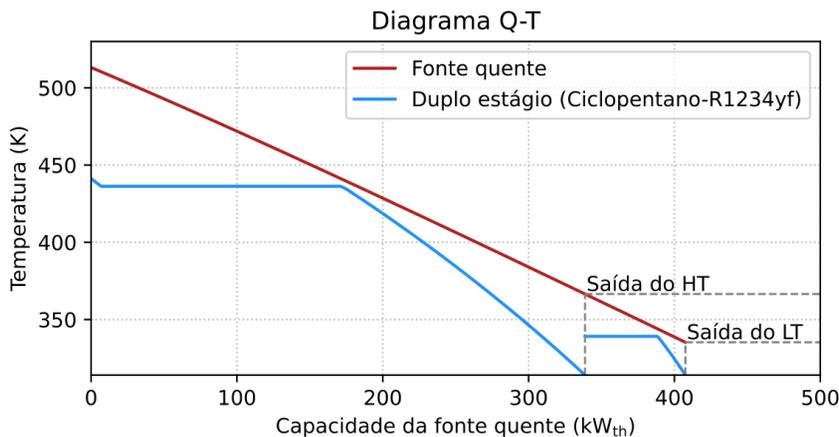


Figura 6: Diagrama Q-T do DS ORC.

Fonte: autoria própria.

4 | CONCLUSÃO

A utilização de um RCGA para a otimização do DS ORC abordado no presente trabalho já havia sido estudada por Prado e Galante (2020), que obtiveram resultados similares à otimização por força bruta realizada por Braimakis e Karellas (2018). Prado e Galante (2020), assim como Braimakis e Karellas (2018), observaram que a otimização do DS ORC pode recomendar a configuração de um SS ORC (ciclo Rankine de único estágio – do inglês *Single Stage Organic Rankine Cycle*), a depender principalmente da temperatura da fonte quente e da temperatura crítica dos fluidos de trabalho.

O presente trabalho apresentou a utilização de duas formas de seleção de substituição no RCGA, na otimização do mesmo DS ORC apresentado por Braimakis e Karellas (2018). Em um processo iterativo do RCGA, a seleção ($\mu + \lambda$) escolhe para a próxima geração uma quantidade μ de indivíduos com melhor aptidão entre os conjuntos da população atual e dos herdeiros gerados nesta iteração. A seleção (μ, λ) por sua vez, descarta o conjunto da população atual e escolhe uma quantidade μ de indivíduos, mas somente entre o conjunto dos herdeiros gerados nesta iteração, também com base na aptidão.

Segundo Stefanoiu (2014), os GAs devem apresentar um bom *trade-off* entre *exploration* e *exploitation*, duas propriedades ligadas à diversidade da população e à

convergência rápida, respectivamente. Ambas as formas de seleção foram analisadas conforme as propriedades citadas anteriormente. Para a análise, o RCGA foi executado trinta vezes para cada tipo de seleção, totalizando em sessenta execuções do algoritmo.

As execuções do RCGA possibilitaram a verificação de uma maior dispersão dos valores ótimos encontrados pela seleção (μ , λ), o que pôde ser observado pelo desvio padrão em cada geração, maior em praticamente todas as gerações, se comparada à seleção ($\mu + \lambda$), como mostrado na Figura 4. O desvio padrão, segundo Zhu (2003), é uma das formas de se medir a diversidade da população. A maior dispersão da aptidão da população na seleção (μ , λ) pode estar ligada à diversidade da população e exploração do domínio do problema, no entanto, no problema de otimização proposto, não foi possível verificar a capacidade de evitar ótimos locais, sendo recomendada em trabalhos futuros o estudo da seleção (μ , λ) na otimização de funções de comportamento conhecido e com grande quantidade de ótimos locais.

Os resultados referentes à seleção ($\mu + \lambda$) apontaram para uma menor dispersão dos valores ótimos encontrados, ou seja, menor valor do desvio padrão em praticamente todas as gerações, como mostrado na Figura 4. Segundo Zhu (2003), a diminuição do desvio padrão das aptidões da população é um precursor da convergência do algoritmo. A propriedade de convergência mais rápida foi observada pela seleção ($\mu + \lambda$), que ao mesmo tempo encontrou soluções ótimas melhores que a seleção (μ , λ) em todas as execuções. Além disso, esta seleção encontrou soluções ótimas mais próximas entre si, apresentando um desvio padrão de 0,19% contra 0,48% da solução (μ , λ).

Com os resultados apresentados, fica claro que, para o problema abordado, a seleção ($\mu + \lambda$) se mostrou mais vantajosa. Essa vantagem, no entanto, não deve ser estendida a todos os problemas de otimização, pois cada problema tem suas particularidades e, como afirmado anteriormente, o problema de otimização do DS ORC aparentou não possuir problemas com ótimos locais. Para determinados problemas de otimização, a maior dispersão apresentada pela seleção (μ , λ), relacionada à maior diversidade da população, pode auxiliar o algoritmo a evitar a convergência para ótimos locais. Torna-se interessante portanto, o estudo de ambas as seleções em trabalhos futuros, na otimização de funções conhecidas pela grande quantidade de máximos e mínimos locais, como o caso da função *eggholder*, cuja otimização é apresentada no estudo de Czerniak e Zarzycki (2017) e em muitos outros trabalhos.

REFERÊNCIAS

ANTONIOU, A.; LU, W.-S. **Practical Optimization: Algorithms and Engineering Applications**. [s.l.] Springer US, 2007.

BELL, I. H. et al. Pure and Pseudo-pure Fluid Thermophysical Property Evaluation and the Open-Source Thermophysical Property Library CoolProp. **Industrial & Engineering Chemistry Research**, v. 53, n. 6, p. 2498–2508, 12 fev. 2014.

BRAIMAKIS, K.; KARELLAS, S. Integrated thermoeconomic optimization of standard and regenerative ORC for different heat source types and capacities. **Energy**, v. 121, p. 570–598, 15 fev. 2017.

BRAIMAKIS, K.; KARELLAS, S. Exergetic optimization of double stage Organic Rankine Cycle (ORC). **Energy**, v. 149, p. 296–313, 15 abr. 2018.

CHAMBERS, L. D. (ED.). **The Practical Handbook of Genetic Algorithms: Applications, Second Edition**. 2ª edição ed. Boca Raton, Fla: CRC Press, 2000.

CZERNIAK, J. M.; ZARZYCKI, H. Artificial Acari Optimization as a new strategy for global optimization of multimodal functions. **Journal of Computational Science**, v. 22, p. 209–227, 1 set. 2017.

DE PAULA PRADO, G.; MANOZZO GALANTE, R. **Real-coded genetic algorithm for double-stage organic Rankine cycle exergy optimization**. Proceedings of the 18th Brazilian Congress of Thermal Sciences and Engineering. **Anais...** In: 18TH BRAZILIAN CONGRESS OF THERMAL SCIENCES AND ENGINEERING. ABCM, 2020Disponível em: <<http://abcm.org.br/anais-de-eventos/CIT20/0487>>. Acesso em: 3 maio. 2021

DEB, K.; AGRAWAL, R. Simulated Binary Crossover for Continuous Search Space. **Complex Syst.**, 1995.

DEB, K.; DEB, AYAN. Analysing mutation schemes for real-parameter genetic algorithms. **International Journal of Artificial Intelligence and Soft Computing**, v. 4, n. 1, p. 1, 2014.

EIBEN, A. E.; SMITH, J. E. **Introduction to Evolutionary Computing**. Softcover reprint of the original 2nd ed. 2015 edição ed. s.l: Springer, 2016.

HERRERA, F.; LOZANO, M.; VERDEGAY, J. L. Tackling Real-Coded Genetic Algorithms: Operators and Tools for Behavioural Analysis. **Artificial Intelligence Review**, v. 12, n. 4, p. 265–319, 1998.

KRAMER, O. **Genetic Algorithm Essentials**. [s.l.] Springer International Publishing, 2017.

LOPES, H. S.; TAKAHASHI, F. H. C. **Computação Evolucionária em Problemas de Engenharia**. [s.l.] Omnipax Editora Ltda, 2011.

MICHALEWICZ, Z. **Genetic Algorithms + Data Structures = Evolution Programs**. 3. ed. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 1996.

PATEL, V. K.; SAVSANI, V. J.; TAWHID, M. A. **Thermal System Optimization: A Population-Based Metaheuristic Approach**. [s.l.] Springer International Publishing, 2019.

SORSA, A.; PELTOKANGAS, R.; LEIVISKA, K. **Real-coded genetic algorithms and nonlinear parameter identification**. 2008 4th International IEEE Conference Intelligent Systems. **Anais...** In: 2008 4TH INTERNATIONAL IEEE CONFERENCE "INTELLIGENT SYSTEMS" (IS). Varna, Bulgaria: IEEE, set. 2008Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/4670495/>>. Acesso em: 4 maio. 2021

STEFANOIU, D. **Optimization in engineering sciences: metaheuristics, stochastic methods and decision support**. London, UK : Hoboken, NJ, USA: ISTE Ltd ; John Wiley and Sons Inc, 2014.

YANG, X.-S. **Engineering Optimization: An Introduction with Metaheuristic Applications**. 1ª edição ed. Hoboken, N.J: John Wiley & Sons, 2010.

ZHU, K. Population Diversity in Genetic Algorithm for Vehicle Routing Problem with Time Windows. 1 jan. 2003.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Aços 10, 38, 39, 40, 46

Algoritmo Genético 11, 109, 111, 112, 174

Arduino 11, 79, 80, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 172, 175, 190, 192

C

Campo de temperatura 92, 93

CitationID 112, 116

Citationitems 168

Confiabilidade 10, 20, 21, 22, 27, 28, 29, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 79

Controle Adaptativo 165

Convecção Forçada 92, 93

E

Elementos Finitos 10, 1, 2, 6, 21, 38, 39, 45, 46, 47, 48, 50, 55, 128, 129, 131, 137

Energia renovável 67

Energia Solar 67, 79, 90, 91

EPI's 193, 196, 198

Escoamento bifásico 12, 138, 139, 140, 148

Escoamento Turbulento 92, 93

Estacionamento Autônomo 181

F

Fadiga 10, 21, 38, 39, 40, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 125

Fluido-Estrutura 57, 124

Fração de vazio 12, 138, 139, 140, 142, 145, 146, 147, 148, 149

Frequência 6, 9, 10, 12, 14, 15, 16, 21, 26, 48, 49, 52, 116, 125, 133, 135, 140, 142, 143, 145, 146

Função de transferência 9, 12, 14, 15

G

Graus de liberdade 9, 11, 23

I

Impressão 3D 193, 196

Instrumentação 80, 91, 144, 190

L

Lógica Fuzzy 165

M

Manipulador Flexível 1, 2

Manipulador Paralelo 10, 1, 2, 3, 6

Matriz 128, 129, 130, 131, 135, 166, 170, 187, 199, 200, 201, 203, 205

Modelo Multicorpos 1, 2, 6

N

Nusselt 92, 93, 99, 100, 101, 102, 103, 106

O

Otimização 9, 10, 11, 20, 21, 22, 25, 26, 28, 29, 30, 31, 32, 35, 36, 48, 49, 55, 109, 110, 111, 112, 113, 114, 115, 116, 118, 119, 120, 121, 170, 175, 177, 192

P

PET 193, 194, 195, 198

Piranômetro 80, 81

Projeto mecatrônico 181

Protótipos 39, 165, 167, 172, 177

R

Radiação térmica 80, 82

Radiômetro 11, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 88, 89, 90, 91

Redes Neurais Artificiais 164, 165, 166, 168

S

Seleção 109, 111, 112, 116, 117, 118, 119, 120, 121, 170, 171, 176, 185

Sensor capacitivo 12, 138, 140, 145

Simulação 9, 2, 3, 6, 17, 20, 25, 28, 35, 38, 40, 43, 44, 45, 46, 135, 167, 169

Sistemas Computacionais Inteligentes 12, 164, 168

Sistemas Dinâmicos 12, 124, 164, 167

Sistemas Térmicos 109, 111

Stress 199

Suspensão 10, 9, 10, 11, 13, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 29, 30, 31, 32, 33, 35, 36, 184

T

Tensão 2, 3, 42, 43, 44, 45, 142, 144, 145, 146, 147, 148, 187, 199, 200, 201, 203, 204

Tumor 199, 200, 201, 202, 203, 204, 205

V

Vibração 1, 2, 5, 9, 10, 13, 16, 17, 20, 21, 26, 50, 133

Violão 10, 48, 49, 50, 51, 54

COLEÇÃO DESAFIOS DAS ENGENHARIAS:

ENGENHARIA MECÂNICA



www.atenaeditora.com.br



contato@atenaeditora.com.br



[@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)



[facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)

Atena
Editora

Ano 2021

COLEÇÃO DESAFIOS DAS ENGENHARIAS:

ENGENHARIA MECÂNICA

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