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 Cremo
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

Atena Editora
Ano 2021

Prof. Dr. Arnaldo Oliveira Souza Júnior – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Carlos Antonio de Souza Moraes – Universidade Federal Fluminense
Prof. Dr. Crisóstomo Lima do Nascimento – Universidade Federal Fluminense
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Daniel Richard Sant'Ana – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia
Profª Drª Dilma Antunes Silva – Universidade Federal de São Paulo
Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá
Prof. Dr. Elson Ferreira Costa – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima
Prof. Dr. Gustavo Henrique Cepolini Ferreira – Universidade Estadual de Montes Claros
Prof. Dr. Humberto Costa – Universidade Federal do Paraná
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Prof. Dr. Jadson Correia de Oliveira – Universidade Católica do Salvador
Prof. Dr. José Luis Montesillo-Cedillo – Universidad Autónoma del Estado de México
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Prof. Dr. Luis Ricardo Fernandes da Costa – Universidade Estadual de Montes Claros
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Pontifícia Universidade Católica de Campinas
Profª Drª Maria Luzia da Silva Santana – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Miguel Rodrigues Netto – Universidade do Estado de Mato Grosso
Prof. Dr.Pablo Ricardo de Lima Falcão – Universidade de Pernambuco
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador
Prof. Dr. Saulo Cerqueira de Aguiar Soares – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Vanessa Ribeiro Simon Cavalcanti – Universidade Católica do 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

Atena Editora
Ano 2021

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 Federacl 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

Atena Editora
Ano 2021

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 DrªFernanda 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

Atena Editora
Ano 2021

Coleção desafios das engenharias: engenharia mecânica

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

Atena Editora
Ano 2021

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

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.

Atena Editora
Ano 2021

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.

Atena Editora
Ano 2021

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 ANALITICA PARA EFEITOS MECANICOS 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

CAPÍTULO 14

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

Data de aceite: 01/07/2021
Data de submissão: 07/05/2021

Fábio Rodrigo Milanez
Faculdade da Indústria Senai Londrina
Londrina - PR
http://lattes.cnpq.br/3808981195212391

Márcio Mendonça
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica (PPGEM-CP)
Cornélio Procópio – PR
http://lattes.cnpq.br/5415046018018708

Lillyane Rodrigues Cintra
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica (PPGEM-CP)
Cornélio Procópio – PR
http://lattes.cnpq.br/9370472364579871

Marina Souza Gazotto
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica (PPGEM-CP)
Cornélio Procópio – PR
http://lattes.cnpq.br/0919399626765318

Francisco de Assis Scannavino Junior
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Departamento Acadêmico de Engenharia Elétrica
Cornélio Procópio – PR
http://lattes.cnpq.br/4513330681918118

Marina Sandrini
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica (PPGEM-CP)
Cornélio Procópio – PR
http://lattes.cnpq.br/9713381415675435

Wagner Fontes Godoy
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Departamento Acadêmico de Engenharia Elétrica
Cornélio Procópio – PR
http://lattes.cnpq.br/7337482631688459

Marta Rúbia Pereira dos Santos
ETEC- Jacinto Ferreira de Sá
Ourinhos - SP
http://lattes.cnpq.br/3003910168580444

Rodrigo Henrique Cunha Palácios
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica (PPGEM-CP)
Cornélio Procópio – PR
http://lattes.cnpq.br/0838678901162377

RESUMO: Essa pesquisa apresenta conceitos da lógica Fuzzy, a qual modela informações, que podem ser adquiridas a partir de conhecimento de especialistas e/ou, dados históricos funcionamento de um sistema ou ambos. Através de técnicas de identificação e modelagem. O FCM modela o conhecimento humano, por meio de termos linguísticos, inerentes aos sistemas Fuzzy, com uma estrutura em grafos similares com a Redes Neurais Artificiais (RNA). Assim facilitando a análise dos dados e a capacidade

adaptação. O objetivo geral dessa pesquisa é mostrar a evolução dos Mapas Cognitivos Fuzzy (FCM) utilizando diferentes aplicações dessa técnica, comparando com outras técnicas da área de controle, diagnóstico, robótica autônoma com um ou de grupo. Já o objetivo secundário será empregar a teoria geral dos FCM com trabalhos qualitativos e quantitativos, por meio de simulações e sistemas embarcados, e posteriormente na construção de protótipos da área de controle. Além disso, mostrar a dificuldade de se empregar ações temporais no FCM canônico. Sendo assim, espera-se dessa pesquisa o cumprimento dos objetivos propostos de cada projeto, mesmo que de forma resumida e citações dos trabalhos correlatos. Além disso, serão citados os projetos que envolvam diagnóstico, aplicações em controle e em especial em robótica deverão ser apresentadas nessa investigação científica.
PALAVRAS - CHAVE: *Fuzzy Cognitive Maps*. Lógica *Fuzzy*. Redes Neurais Artificiais, Protótipos. Sistemas Computacionais inteligentes, Controle Adaptativo.

SOFT COMPUTION AND ADVANCED CONTROL WITH EMPHASIS ON FUZZY COGNITIVE MAPS IN DYNAMIC SYSTEMS APPLIED TO DIFFERENT AREA, WITH EMPHASIS ON ROBOTICS

ABSTRACT: This research presents concepts of Fuzzy logic, which models information, that can be acquired from the knowledge of specialists and / or, historical data on the functioning of a system or both. Through identification and modeling techniques. The FCM models human knowledge, through linguistic terms, inherent to Fuzzy systems, with a structure in graphs similar to Artificial Neural Networks (ANN). Thus, facilitating data analysis and adaptability. The general objective of this research is to show the evolution of Fuzzy Cognitive Maps (FCM) using different applications of this technique, comparing it with other techniques in the area of control, diagnosis, autonomous robotics with one or group. The secondary objective will be to employ the general theory of FCM with qualitative and quantitative work, through simulations and embedded systems, and later in the construction of prototypes for the control area. Besides that, to show the difficulty of employing temporal actions in the canonical FCM. Therefore, this research is expected to fulfill the proposed objectives of each project, even if in a summarized form and citations of related works. In addition, projects involving diagnosis, control applications and especially in robotics will be mentioned in this scientific investigation.
KEYWORDS: Fuzzy Cognitive Maps. Fuzzy Logic. Artificial Neural Networks, Prototypes. Softcomputing, Adptive Control.

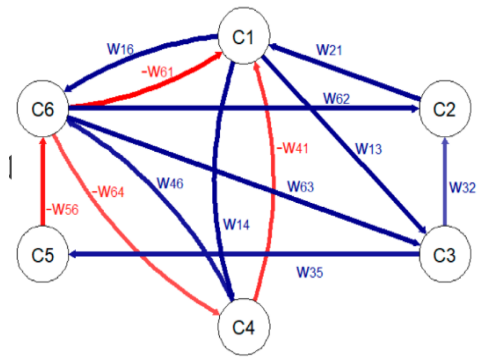
1 I INTRODUÇÃO

Esse trabalho é uma síntese de um projeto de pesquisa de acordo com o título supracitado. Seres humanos são capazes de lidar com processos complexos, baseados em informações imprecisas e/ou aproximadas. A estratégia adotada normalmente é de natureza imprecisa por meio de nenhum ou parcial conhecimento do problema; e geralmente possível de ser expressa em termos linguísticos. Deste modo, através de conceitos da lógica *Fuzzy*, é possível modelar esse tipo de informação

(ZADEH, 1965). Entretanto, informações também podem ser adquiridas a partir dos dados de operação e/ou, funcionamento de um sistema. Este tipo de manipulação pode

ser realizado através de técnicas de identificação e modelagem (PASSINO; YURKOVICH, 1997). Entre estas técnicas as redes neurais artificiais se destacam pela capacidade de processar dados massivos de uma maneira paralela (HAYKIN, 2009), mais recentemente, Máquinas Desorganizadas (BOCCATO, et al, 2011) e redes neurais profundas, como por exemplo o trabalho (KAMBLE et al., 2020) no qual cita a ferramenta como "A terceira onda de inteligência artificial", são inseparáveis com o aprendizado profundo.

Por outro lado, o mapa cognitivo *Fuzzy*, do inglês *Fuzzy Cognitive Maps* (FCM), é uma ferramenta para a modelagem do conhecimento humano, obtido através de termos linguísticos, inerentes aos sistemas *Fuzzy*, mas com uma estrutura em forma de grafos semelhante à das Redes Neurais Artificiais (RNA), a qual facilita o tratamento de dados e possui capacidade de treinamento e adaptação. FCM pode ser considerado um modelo híbrido com um forte grau de interação, no qual não se pode identificar e separar as estruturas das áreas de origens, somente a semântica de construção (D'ONOFRIO et al., 2018) (MENDONÇA et al., 2017). Recentemente um review sobre o sistema computacional inteligente, mostrou diferentes técnicas de aprendizado, bem como diferentes áreas de aplicação, como por exemplo o trabalho de (STACH ET AL, 2008), e fundamentação dos FCMs. As abordagens supracitadas no review não são escopo desse projeto de pesquisa. Entretanto, enfatiza áreas como Granular *Fuzzy*, Séries temporais, FCMs híbridos. *Softwares*; *Swarm Robotics* serão abordadas neste projeto, a Figura 1 mostra uma versão clássica em forma de grafo e sua respectiva matriz de pesos.



$$W = \begin{bmatrix} 0 & 0 & w_{13} & w_{14} & 0 & w_{16} \\ w_{21} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & w_{32} & 0 & 0 & w_{35} & 0 \\ -w_{41} & 0 & 0 & 0 & 0 & w_{46} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -w_{56} \\ -w_{61} & w_{62} & w_{63} & -w_{64} & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Figura 1 - Mapas cognitivos Fuzzy e sua representação matricial.

Fonte: Autoria Própria.

Diversos trabalhos em diferentes aplicações são pertinentes a esse projeto, variações da versão original, métodos de treinamento dos pesos, o qual será conferido na próxima sessão. Diferentes áreas de aplicação. Neste contexto podemos citar o trabalho Felix (FELIX et al., 2017) estado da arte em classificação. No qual Redes cognitivas difusas (FRCNs) são redes neurais recorrentes (RNNs) destinadas a fins de classificação

estruturada em que o problema é descrito por um conjunto explícito de recursos. A vantagem desse sistema neural granular está em sua transparência e simplicidade, ao mesmo tempo em que é competitivo em relação aos classificadores de última geração (CONCEPCION et al., 2020). O trabalho Mendonça que utiliza duas versões de FCM para otimizar a trajetória de um robô utilizando técnicas de *Swarm* para otimizar a trajetória de um robô autônomo em FCM (MENDONÇA et al., 2017). Já o trabalho de Dikopoulo (DIKOPOULOU; PAPAGEORGIOU; VANHOOF, 2020) e colaboradores objetiva aprender modelos de FCM a partir de dados sem qualquer conhecimento priori e intervenção de especialistas continuam a ser um considerável problema. Este estudo de pesquisa utiliza um aprendizado totalmente baseado em dados método para design automático de *Fuzzy Cognitive Maps* (FCM) usando um grande conjunto de dados ordinal com base na eficiência capacidades de modelos gráficos (DIKOPOULOU; PAPAGEORGIOU; VANHOOF, 2020). Outro trabalho da área de aprendizagem é o trabalho de Guoliang Feng e colaboradores, que considera numerosos métodos de aprendizagem para processos com *Fuzzy Cognitive Maps* (FCMs), como os métodos de aprendizagem baseados em Hebbian e baseados na população, foram desenvolvidos para modelagem e simulação de sistemas dinâmicos. No entanto, esses métodos são confrontados com várias limitações com número excessivo de conceitos. Em sistemas de médio e grande porte pode ser sim uma dificuldade. Uma área de vanguarda na robótica dois trabalhos do autor utilizam duas diferentes técnicas de *Swarm Robotics* para resgate de vítimas em uma catástrofe (MENDONÇA et al., 2019), {Formatting Citation} entre outras diversas aplicações. Os quais podem ser conferidores na base de IEEE <https://ieeexplore.ieee.org/Xplore/home.jsp>.

O objetivo geral dessa pesquisa consiste em disseminar uma evolução dos Mapas Cognitivos *Fuzzy*, do inglês *Fuzzy Cognitive Maps*, contextualizado na seção introdutória. Pretende-se diversas aplicações utilizando FCM comparando com outras técnicas consagradas como área de controle, diagnóstico, robótica autônoma com um ou de grupo. Outro objetivo secundário é devido à baixa complexidade computacional da ferramenta e portabilidade empregar a teoria geral dos FCM com trabalhos qualitativos e quantitativos ou ambos por meio de simulações e sistemas embarcados. E, finalmente na construção de protótipos da área de controle, e em especial de robótica por meio de iniciação científica, trabalhos de conclusão de curso, monografia de cursos de especialização, dissertações e teses. E, finalmente estágio pós-doutorado. A posteriori, publicação desses trabalhos em veículos científicos e possivelmente patentes ou registro de *softwares*.

Outro objetivo secundário, o qual também pode ser uma justificativa; de relevância no projeto está na dificuldade de se empregar ações temporais no FCM canônico, porque no projeto original todas as relações de causa e efeito ocorrem simultaneamente. Essa dificuldade praticamente inviabiliza em aplicações objetivadas nesse projeto (robótica e controle avançado). Devido a essa restrição a comunidade desenvolveu dezenas de versões de extensões baseadas nesta versão, como por exemplo de (MIAO et al., 1999),

Acampora, e Loia (ACAMPORA; LOIA, 2009), *Rough Cognitive Maps*, Napoles et al. (2015). Fortalecer o *Dynamic-Fuzzy Cognitive Maps*, *Rule Based Fuzzy Cognitive Maps and Fuzzy Cognitive Maps - A Comparative Study* (CARVALHO; TOMÉ, 2001), *Extended Fuzzy Cognitive Maps* (HAGIWARA, 1992), entre outros. Nesse contexto, está na consolidação de uma das possíveis extensões do FCM clássico também pode-se considerar como um objetivo secundário desse projeto. Para alcançar esse objetivo pretende-se publicar em conferências e periódicos de renome.

Esse objetivo está se consolidando, entretanto deve-se citar artigos publicados pelo autor (assim como outros relevantes) por estarem próximos ou no estado da arte, como o trabalho de Mendonça (MENDONÇA ET AL., 2019).

O qual pode ser conferido no link abaixo como o artigo mais relevante da IEEE até o presente momento. <https://ieeexplore.ieee.org/search/searchresult.jsp?newsearch=true&queryText=Fuzzy%20cognitive%20maps%20autonomous%20robotics>.

Esse trabalho está dividido da seguinte forma, na sessão 2 fundamentos e o formalismos dos Mapas Cognitivos *Fuzzy* Dinâmicos são apresentados. Já a sessão 3 apresenta resultados e produtos dessa investigação cientifica. A sessão 4 apresenta recursos, materiais e métodos. E, finalmente a sessão 5 apresentado conclusão e endereça futuras investigações.

2 | FUNDAMENTOS, FORMALISMO DOS MAPAS COGNITIVOS *FUZZY* DINÂMICOS

Fuzzy Cognitive Maps, como já citado combina aspectos de outros sistemas computacionais inteligentes como supracitado. Posto isso, pesquisas com outros sistemas computacionais como lógica *Fuzzy* do tipo *mandani,* redes neurais artificiais, ou até mesmo algoritmos evolutivos (os quais ajustam os pesos das relações causais dos FCMs *offline*), como algoritmos genéticos por exemplo serão investigadas. De forma análoga técnicas de controle clássico, moderno e robusto (OGATA, 2011), (NISE, 2012), (DORF; BISHOP, 2011) serão empregados nesse projeto seja para comparação ou até investigações cientificas de forma similar ao FCM ou outras técnicas computacionais inteligentes, devido ao escopo desse projeto abranger controle avançado.

O FCM foi desenvolvido, nessa pesquisa, deforma manual, porque a saída desejada é um diagnóstico quantitativo por meio da opinião qualitativa dos especialistas, de outro modo o FCM é baseado em conhecimento, e, principalmente, porque é um FCM relativamente pequeno e desenvolvido de forma qualitativa empregando termos linguísticos, como forte, fraco, muito fraco etc.

O Mapa Cognitivo foi formalizado utilizando um grafo orientado, interconectado e binário por (AXELROD, 1976). Entretanto, foi inspirado em trabalhos correlatos como, por exemplo, o trabalho de (TOLMAN, 1948) que descreveu o comportamento de memorização

de ratos, ressaltando o uso da ferramenta décadas antes Axelrod.

Na década de 80, o trabalho pioneiro de (KOSKO, 1986), que estendeu os mapas cognitivos de o qual foi baseado em um trabalho precursor de para a inclusão da lógica *Fuzzy,* várias aplicações de FCM foram surgiram na literatura em diversas áreas do conhecimento, observa-se que não é escopo dessa seção apresentar trabalhos recentes e próximos do estado da arte como as supracitadas na revisão de forma resumida. Em especial, para deixar mais completa revisão, com trabalhos mais clássicos, citam-se as aplicações em vida artificial (DICKERSON; KOSKO, 1993), e mais recentemente inspirado nessa aplicação clássico com animações (ARRUDA et al., 2018), , detecção de pontos em imagens geradas por sistema de câmeras estéreo (PAJARES; CRUZ, 2006) , Também pode-se citar o trabalho de (MENDONÇA et al., 2013) em navegação robótica autônoma, predição de séries temporais (PEDRYCZ; JASTRZEBSKA; HOMENDA, 2016), assistência médica (PAPAGEORGIOU, 2011). Em comparação com muitos modelos clássicos de conhecimento, *Fuzzy Cognitive Maps* têm inúmeras vantagens Além das áreas de conhecimento, surgiram evoluções, as quais as algumas foram supracitadas do FCM, como por exemplo: em robótica móvel autônoma e controle de processos, respectivamente ED-FCM (*Event Driven-Fuzzy Cognitive Maps*) (MENDONÇA; ARRUDA; NEVES-JR, 2011). Na construção dos mapas conceituais esta dificuldade se reflete principalmente na definição da semântica e do relacionamento entre os conceitos (PAPAGEORGIOU, 2014). Além desta dificuldade de construção, a aquisição de dados deve ser bastante criteriosa, e validado com dados reais ou sintéticos obtidos por meio de simulações.

Geralmente, os modelos FCM podem ser de forma automática ou manualmente desenvolvido (YESIL; OZTURK, 2013). No primeiro caso, os FCMs automatizados são produzidos por algoritmos de aprendizagem com base em dados históricos. No segundo caso, os especialistas usam seu conhecimento sobre o sujeito a construir os gráficos. Ou até a fusão de ambas as técnicas, como por exemplo (MAZZUTO et al., 2018).

Etapas	**Descrições**
Etapa 1	Identificação dos conceitos elementares, seus papéis (*input, output,* decisão e nível) e suas interconexões, determinando sua natureza causal (positivo, negativo, neutro).
Etapa 2	Configuração inicial de conceitos e relacionamentos. Os valores de estado inicial do mapa (nós / arestas) podem ser adquiridos de especialistas, análise de dados históricos e / ou simulação do sistema.
Etapa 3	Determinação da influência semântica entre os conceitos. Desenho das diferentes visões do sistema.
Etapa 4	Para cada visão do sistema, projeto de bases de regras difusas e funções variáveis no tempo, calculando os valores dos pesos das relações difusas e / ou variáveis no tempo D-FCM.

Etapa 5	Processamento da informação, adaptação e otimização do D-FCM. modelo, ajustando suas respostas à saída desejada. Se necessário, o método de treinamento (aprendizado reforçado, aprendizado de hebbian, aprendizado evolutivo etc.) pode ser usado para ajuste dinâmico do modelo.
Etapa 6	Desenho do nível de gestão correspondente ao desenvolvimento da base de regras que está associada aos conceitos de fatores e relações de seleção, bem como, implementação de algoritmo para aprendizagem online como regras de aprendizagem por reforço
Etapa 7	Teste final e validação dos modelos e variações do D-FCM.

Tabela 1 – Etapas do Processo de um D-FCM.

Fonte: Autoria Própria, 2021.

O formalismo clássico dos Mapas Cognitivos Dinâmicos, do inglês *Dynamic Cognitive Maps* (D-FCM) será apresentado a seguir, entretanto algumas variações como por exemplo, uma aplicação de diagnóstico, com diversos artigos na literatura como o clássico (STACH; KURGAN; PEDRYCZ, 2007), denominada sCD-FCM, do inglês *simplified Comportamental Dynamic-Fuzzy Cognitive Maps* aceito na conferência *Kes Covid Challenge* 2021 para cálculo de nível de risco CoVID-19, sD-FCM aplicado no gerenciamento de manutenção de motores elétricos (SOARES et al., 2017).

Como uma das evoluções do FCM clássico, o D-FCM se comporta de acordo com a complexidade do problema modelado. Para decisões onde ambiguidades estão envolvidas, mas sem precedência temporal entre eles, se comporta como um FCM em que os relacionamentos causais são conceitos confusos, mas ainda considerando que todos as causalidades ocorrem simultaneamente. Para dinâmicas complexas sistemas, o D-FCM pode alterar dinamicamente os valores das relações causais entre conceitos e / ou alterar sua estrutura.

Em outras palavras, a saída pode ser um estado (A, A, A, ...), um ciclo (A, B, C, A, B, C, ...) ou um atrator caótico (A, C, B, A, D, C, ...). A transição para o ciclo limite é evidente conforme a linha do cache se endireita e o sistema converge para o ciclo limite (DE SOUZA et al., 2018a).

Como resultado, a matriz W na definição original relatada em [24] é agora uma matriz de variação no tempo cujos valores são calculados de acordo com a importância (nível) do modelado característica e o tipo de relacionamento. Cada peso nesta matriz também pode ser modelado como uma tupla:(N, Ci, Co, r, U, Br).

Onde:

N identifica a camada ou nível onde os relacionamentos pertencem, ou seja, uma relação causal pura tem N = 0, uma vez que pertence ao nível de camada mais baixo.

C_i representa um conceito de entrada que compõe a inferência premissa.

C_o representa o conceito de saída do relacionamento.

r é o tipo de relação, que pode ser uma relação causal, uma relação causal variável no tempo, uma relação difusa ou um é o tipo de relação de seleção, a qual pode variar o valor do peso da relação causal de acordo regras

U conforme de descreve o universo do discurso da relação, que pode ser um valor numérico, um intervalo ou uma variável linguística.

B_r é um índice que representa a base de regra relevante para a relação, portanto, causal puro ou causal variável no tempo relação tem. Assim, é possível identificar a partir do D-FCM uma lista de atributos que indicam o papel de cada relacionamento do modelo, permitindo assim a construção formal do D-FCM. Para uma melhor compreensão da proposta, a seguir, uma possível ontologia para desenvolvimento de um D-FCM, na Tabela 1, a seguir.

As equações 1 e 2, a seguir, mostram como deve-se calcular o passo a passo descrito na Tabela 1.

$$A^{(t+1)} = f(\sum_{j=1}^{n} W_{ij}.A_j^t \quad (1)$$

$$f(x) = \frac{1}{1+e^{-\lambda x}} \quad (2)$$

3 | RESULTADOS E/ OU PRODUTOS ESPERADOS

Essa pesquisa sugerida baseia-se em uma investigação contínua do meio acadêmico para determinar novas técnicas computacionais inteligentes e ou tecnologias que correlatos a linha de pesquisa. De modo específico, alguns dos resultados esperados serão desenvolvimento de trabalhos de conclusões de curso, iniciação científica e apoio para as pesquisas de alunos de mestrado, supervisionados pós-doc. do PPGEM-CP (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica) de Cornélio Procópio. Além de publicações em conferências e periódicos nacionais e internacionais. Pretende-se também com essa pesquisa deverá investigar a aplicação e o formalismo dos D-FCM e ferramentas computacionais correlatas em diferentes ares de conhecimento, como por exemplo, na obtenção de diagnósticos, na área de controle de processos, sistemas autônomos.

Nesse contexto, em uma análise preliminar, alguns exemplos de periódicos e/ou conferências demonstram-se adequados para a divulgação destes resultados devido ao seu histórico de publicações de temas na mesma área, são eles:

- *Autonomous Robots, Springer*
- *Robotics and Autonomous Systems, Elsevier*
- *Applied Inteligence Elsiever*

- *Fuzzy on Systems* IEEE
- *Engineering Applications Of Artificial Intelligence, Elsevier*
- IEEE *on Mental Development.*
- IEEE América Latina.
- Entre outras.

4 I RECURSOS, MATERIAIS E MÉTODOS

Financiamentos para alunos bolsistas de Iniciação Cientifica, Mestrado e Doutorado (quando o programa oferecer essa modalidade) vindos da capes, fundação Araucária ou até mesmo internos. Formas de apoio tem sido por meio de editais, como 4k por exemplo, os quais foram contemplados nos últimos 4 anos. E, no ano de 2020 PROAP, editais internos e/ou parceria com a Fundação Araucária.

Como a maioria das pesquisas mencionadas, serão feitas por meio de simulações e protótipos desenvolvidos no AARLAB (Laboratório de Automação Avançada e Robótica), do inglês *Advanced Automation and Robotics Lab* chefiado pelo autor do projeto. Neste laboratório para experimentos simulados, os computadores disponíveis no mesmo; e nos laboratórios de graduação e mestrado das engenharias do campus de Cornélio Procópio, estes a princípio serão suficientes. No AARLAB já existem microcontroladores de baixo custo, como por exemplo Arduino e *Raspberry PI* 3 e 4, entre sensores, motores entre outros componentes circunscritos ao desenvolvimento de protótipos. Também existem no laboratório, estação de solda, osciloscópio, gerador de sinais, protoboards entre outros, além de recursos dos laboratórios da UTFPR-CP. Alguns dos protótipos e experimentos simulados podem ser conferidos após o formalismo do FCM.

Exemplo de experimento simulado e protótipo com emprego de D-FCM ou variações do mesmo na Figura 2.

Os resultados esperados são publicações citadas, patentes (como por exemplo depósito feito esse ano no ANEXO II). Orientações de alunos de graduação, especialização, iniciação cientifica, mestrado e pós-doutorado.

Esses resultados objetivam contribuir com o grupo de pesquisa da CAPES, chefiado pelo autor do projeto, conta com a participação de outros professores da UTFPR-CP e alunos e ex alunos de mestrado e supervisionado de estágio pós doutorado, o qual pode ser conferido no link <http://dgp.cnpq.br/dgp/espelhogrupo/8396867494583040>.

Inúmeras citações aparecem o autor projeto professor Márcio Mendonça como autor principal ou coautor, isso ocorre devido ao D-FCM ser desenvolvimento do mesmo. Essa ferramenta como supracitada, está entre melhores do mundo na base do IEEE, ganhou prêmio internacional e já obteve publicações em periódicos de renome. Espera-se que esses trabalhos tenham contribuído e já apresentaram potencial para novas publicações

em periódicos de excelência, posto isso, se espera contribuir com a marca UTFPR internacionalmente. A Figura 2 mostra um experimento simulado e um experimento prático com um protótipo do trabalho (MENDONÇA et al., 2020).

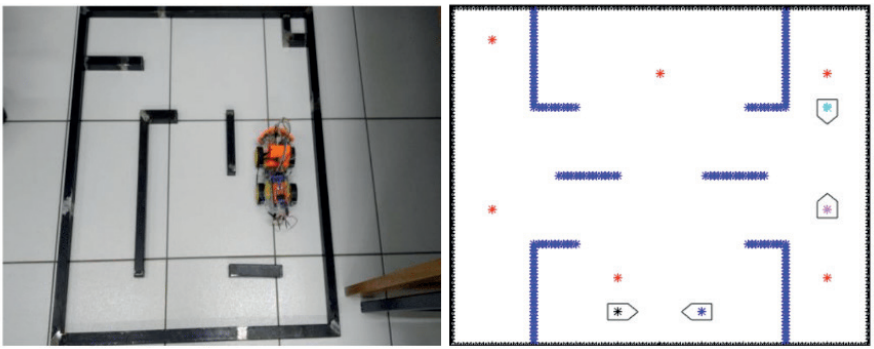


Figura 2 - Robô autônomo e ambiente simulado com modelos cinemáticos do mesmo.

Fonte: Autoria Própria.

Outro trabalho desenvolvido dentro do laboratório da UTFPR-CP consiste na aplicação de um FCM clássico com o objetivo de avaliar o nível de satisfação dos alunos do curso de Engenharia Elétrica do campus da UTFPR-CP em relação ao curso. Para o desenvolvimento do trabalho identificou-se as variáveis relevantes ao problema proposto como conceitos, e as relações causais foram obtidas por meio das opiniões dos alunos de um curso de engenharia elétrica.

Neste trabalho oito aspectos, como mostra a Tabela 2, foram escolhidos e as relações entre eles foram definidas por meio de questionários. Uma amostra de estudantes deu notas de zero a dez para cada um dos conceitos que podem interferir no nível de satisfação dos estudantes da UTFPR-CP.

C1	Nível de satisfação dos discentes
C2	Capacitação/ Desempenho dos discentes
C3	Estrutura
C4	Moradia
C5	Biblioteca
C6	Limpeza
C7	Atividades de lazer/ esportivas
C8	Acessibilidade

Tabela 2 – Relação de Conceitos do FCM.

Fonte: Autoria Própria.

Após a modelagem dos conceitos e as relações causais, em especial os valores numéricos das relações causais votadas pelos alunos. O modelo é então calculado e evolui para os valores finais, os quais são o objetivo do trabalho, avaliação quantitativa do tema central. A Figura 03 mostra os resultados e evolução de cada um dos conceitos modelados em uma escala de zero a 10, com destaque para o conceito central (nível de satisfação na UTFPR-CP.

Observou-se nesse FCM que o mesmo evoluiu de forma estável atingindo um ponto crítico (uma suave variação em torno do resultado final). Vemos também que houve alguns pontos críticos na pesquisa e construção do modelo, como por exemplo, as condições de estacionamento em lugares próximos a Universidade, devido ao rápido crescimento da mesma nos últimos dez anos aproximadamente, devendo ser analisado pelo corpo diretivo junto a autoridades do governo para futuras melhorias. A nota final dessa pesquisa foi relativamente boa, próxima de oito, com possibilidades de melhoras com tratamento dos pontos críticos identificados. Maiores detalhes desse trabalho podem ser conferidos no artigo (MENDONÇA et al., 2015). A Figura mostra os resultados obtidos pelo FCM desenvolvido, em especial o nível de satisfação do estudante com aproximadamente 80% de resultado, o que pode ser validado devido ao curso na época ter 4 de 5 estrelas. Resultado obtido pelo MEC, equivalente ao FCM e obtido por outro tipo de métrica.

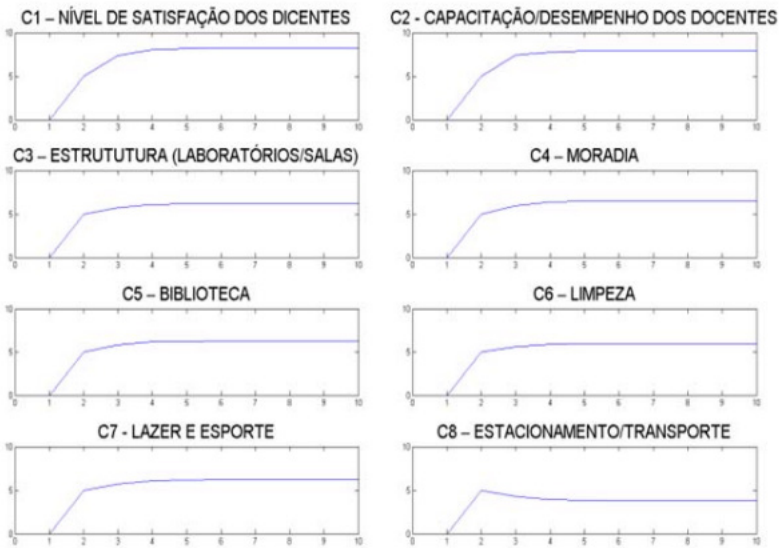


Figura 3 - Resultados obtidos for meio do FCM.

Fonte: IEEE Latin America Transactions, Vol 13, N° 12, Dez 2015

Outra aplicação do FCM, o qual empregou Algoritmo Genético para a evolução de um controlador baseado no FCM clássico (D-FCM) também foi foco de estudo dos alunos

do laboratório. O trabalho desenvolvido consistiu na otimização *off-line* de um FCM, de um misturador industrial. O controlador D-FCM é baseado no aprendizado de Hebb.

Os resultados comparam duas abordagens do AG proposto: a primeira com solução inicial aleatória definida pelos autores, enquanto a segunda contém conhecimento de especialista sobre o problema. A segunda abordagem apresentou os melhores resultados relativos.

O sistema a ser controlado consistia em um misturador industrial com duas válvulas de entrada (V1 e V2) de ar para diferentes líquidos, uma válvula de saída (V3) para a remoção de líquido produzido por mistura e medidor de densidade, que mede a qualidade do líquido produzido. O processo apresentava um controle de faixa para o volume e o peso do líquido e um seguidor de *setpoint* para V3.

As válvulas (V1) e (V2) são os atuadortes que inserem dois líquidos diferentes no tanque. Durante a reação dos dois líquidos, um novo líquido é caracterizado pelo seu valor de densidade que é produzido. Neste instante a válvula (V3) esvazia o reservatório de acordo com um fluxo de saída de campanha, mas a mistura líquida deve estar nos níveis especificados. Outro aspecto a ser ressaltado nessa pesquisa é que devido a baixa complexidade computacional dos FCMs e consequente os D-FCMs esse controlador foi em embarcado em um Arduino com baixo custo e baixo poder de processamento (DE SOUZA et al., 2017)

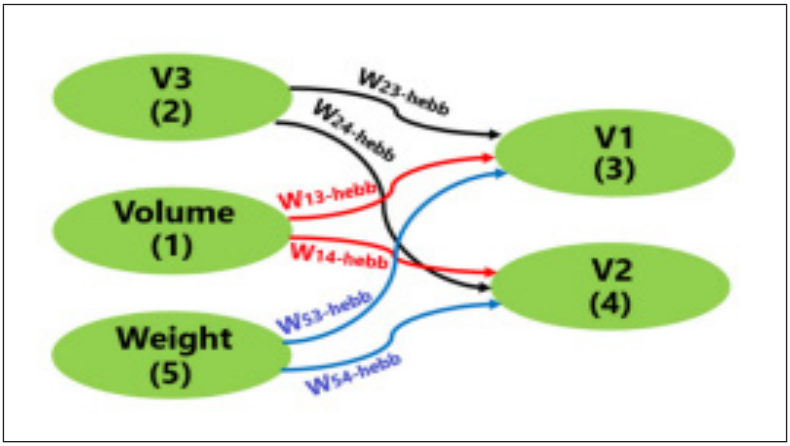


Figura 4 - Controlador D-FCM.

Fonte: Engenharias, ciência e tecnologia 4 (Atena Editora, 2019).

Para sua modelagem, utilizou-se uma população de 30 indivíduos, com cruzamento simples (torneio) e 1% de mutação. Nesse caso serão comparados dois casos, um que utiliza os valores encontrados no trabalho (SOUZA et al., 2017) (abordagem 1) e outro que utiliza metade desses valores, considerando o conhecimento prévio dos autores sobre o processo em análise (abordagem 2). A Tabela 3 apresenta de forma sucinta a configuração

do AG utilizado.

Número de indivíduos	30
TIPO DE CRUZAMENTO	Simples
método de seleção	Torneio
mutação	1%

Tabela 2 – Parâmetros do AG.

Fonte: Autoria Própria.

Para cada uma das abordagens foram realizadas 100 simulações. A comparação entre as abordagens é definida por meio do menor erro relativo ao decorrer de todas as simulações. As Figuras 5 e 6 apresenta o controlador D-FCM modelado para o sistema estudado. Na qual, W são os valores para as relações causais entre os conceitos, evoluídas de forma *off-line* com o AG e *on-line* por meio do algoritmo de Hebb. O A.G utilizado foi população eletiva, devido a isso a convergência foi relativamente rápida com poucas gerações. Maiores detalhes desse trabalho podem ser conferidos no trabalho (SOUZA et al., 2017).

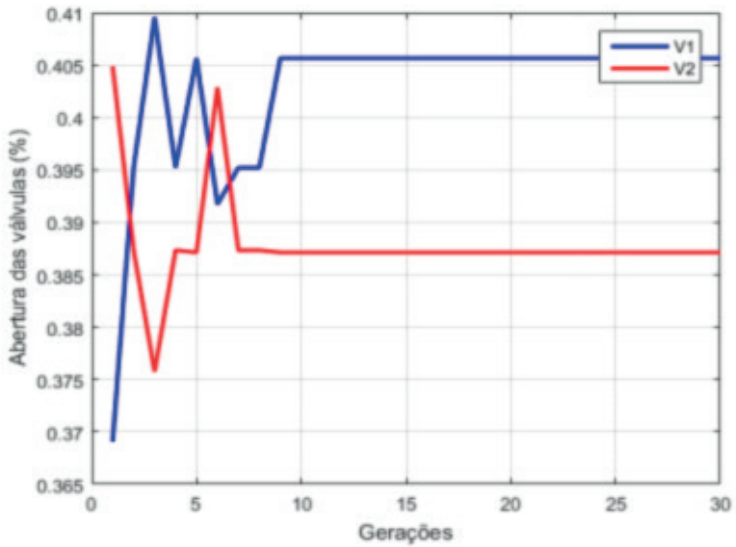


Figura 5 - Evolução do AG, V1 e V2 – para abordagem 1.

Fonte: Engenharias, ciência e tecnologia 4 (Atena Editora, 2019).

Um trabalho baseado em robótica, do inglês *Swarm Robotics*, desenvolvido no laboratório da UTFPR-CP. Teve como objetivo aplicar os conceitos de *Swarm Robotics* e

Fuzzy Logic Controller, utilizando alguns robôs móveis autônomos, para completar uma tarefa de forrageamento em ambientes semidesconhecidos ou desconhecidos. Embora, o ambiente fosse simulado, a autonomia dos robôs desse tipo de operação foi testada em diferentes cenários simulados. Uma arquitetura reativa foi usada para aumentar a robustez global dos robôs em lidar com situações imprevisíveis.

Nesse contexto, essa pesquisa apresenta um *Multiple Robot Systems* (MRS) inspirado nos conceitos da robótica por enxame, para resgatar vítimas em ambientes desconhecidos. No trabalho foi considerado que os robôs desconhecem os limites e obstáculos da área de busca, porém sabem o número de vítimas a serem resgatadas, e isso foi utilizado como critério de parada para as simulações feitas no *software* Matlab. Portanto, três abordagens que herdam os principais aspectos da lógica *Fuzzy* são: um controlador de lógica *Fuzzy* (FLC), um controlador de mapa cognitivo *Fuzzy* dinâmico (D-FCM), e um D-FCM inspirado na meta heurística de otimização de colônia de formigas (D-FCM-ACO).

A ideia proposta foi simular as operações de resgate em desastres da vida real, em três ambientes, para testar a robustez contra situações imprevisíveis, autonomia, área explorada e tempo de processamento, para ambas as abordagens usando uma arquitetura baseada em subsunção.

5 | CONCLUSÃO E FUTUROS TRABALHOS

Espera-se com possíveis melhorias no **AARLAB**, novas publicações e protótipos. Os riscos dos projetos circunscritos estão na validação das pesquisas, em especial utilizando FCM, em especial D-FCM é devido a fase inicial estar num estado de crença até a última etapa para se tornar conhecimento.

Já em aplicações como controle e robótica a observação dinâmica e o cumprimento dos objetivos de cada projeto. Já em projetos que envolvam diagnostico é sempre interessante comparar com resultados semelhantes obtidos por técnicas similares. Ressaltando que a comparação pode e deve ser usada em aplicações como robótica e controle, clássicas.

Futuros endereçam novas pesquisas com o D-FCM para consolidação da mesma como uma das extensões do FCM clássico na literatura específica.

REFERÊNCIAS

ACAMPORA, G.; LOIA, V. **A dynamical cognitive multi-agent system for enhancing ambient intelligence scenarios**. Fuzzy Systems, 2009. FUZZ-IEEE 2009. IEEE International Conference on. **Anais**...2009

ARRUDA, L. V. R. et al. Artificial Life Environment Modeled by Dynamic Fuzzy Cognitive Maps. **IEEE Transactions on Cognitive and Developmental Systems**, v. 10, n. 1, p. 88–101, 2018.

AXELROD, R. **Structure of decisions: the cognitive maps of political elites**. 1. ed. Princeton, NJ, USA: Princeton University Press, 1976.

CARVALHO, J. P.; TOMÉ, J. A. B. **Rule based fuzzy cognitive maps-expressing time in qualitative system dynamics**. 10th IEEE International Conference on Fuzzy Systems. **Anais**...Melbourne, Victoria, Australia: IEEE, 2001

CONCEPCION, L. et al. Fuzzy-Rough Cognitive Networks: Theoretical Analysis and Simpler Models. **IEEE Transactions on Cybernetics**, p. 1–12, 2020.

D'ONOFRIO, S. et al. **Fuzzy Reasoning in Cognitive Cities: An Exploratory Work on Fuzzy Analogical Reasoning Using Fuzzy Cognitive Maps**. 2018 IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE). **Anais**...Rio de Janeiro, BR: IEEE, 2018

DE SOUZA, L. B. et al. **Fuzzy Cognitive Maps and Fuzzy Logic applied in industrial processes control**. 2018 IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE). **Anais**...Rio de Janeiro, Brazil: IEEE, 2018a

DE SOUZA, L. B. et al. **Fuzzy Cognitive Maps and Fuzzy Logic applied in industrial processes control**. IEEE International Conference on Fuzzy Systems. **Anais**...Rio de Janeiro, Brazil: IEEE, 2018b

DICKERSON, J. A.; KOSKO, B. **Virtual Worlds as Fuzzy Cognitive Maps**. Virtual Reality Annual International Symposium, 1993., 1993 IEEE. **Anais**...1993

DIKOPOULOU, Z.; PAPAGEORGIOU, E. I.; VANHOOF, K. Retrieving sparser fuzzy cognitive maps directly from categorical ordinal dataset using the graphical lasso models and the MAX-threshold algorithm. **IEEE International Conference on Fuzzy Systems**, v. 2020- July, 2020.

DORF, R. C.; BISHOP, R. H. **Modern Control Systems**. 12. ed. Upper Saddle River: Pearson Prentice Hall, 2011.

FELIX, G. et al. A review on methods and software for fuzzy cognitive maps. **Artificial Intelligence Review**, n. March 2018, p. 1–31, 2017.

HAGIWARA, M. Extended fuzzy cognitive maps. p. 795–801, 1992.

HAYKIN, S. **Neural Networks and Learning Machines**. 3. ed. Upper Saddle River, NJ: Pearson Education, 2009.

KAMBLE, A. N. et al. New radiological classification of glioma and validation with the survival analysis. **bioRxiv**, 2020.

KOSKO, B. Fuzzy cognitive maps. **Int. J. Man-Machine Studies**, v. 24, n. 1, p. 65–75, 1986.

MAZZUTO, G. et al. **Fuzzy Cognitive Maps designing through large dataset and experts' knowledge balancing**. 2018 IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE). **Anais**... Rio de Janeiro, BR: IEEE, 2018

MENDONÇA, M. et al. A Subsumption Architecture to Develop Dynamic Cognitive Network-Based Models With Autonomous Navigation Application. **Journal of Control, Automation and Electrical Systems**, v. 24, n. 1, p. 117–128, 2013.

MENDONÇA, M. et al. Fuzzy Cognitive Maps Applied to Student Satisfaction Level in an University. **IEEE Latin America Transactions**, v. 13, n. 12, p. 3922–3927, 2015.

MENDONÇA, M. et al. A cooperative architecture for swarm robotic based on dynamic fuzzy cognitive maps. **Engineering Applications of Artificial Intelligence**, v. 59, n. May 2016, p. 122–132, 2017.

MENDONÇA, M. et al. **Semi-Unknown Environments Exploration Inspired by Swarm Robotics using Fuzzy Cognitive Maps**. 2019 IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE). **Anais**...New Orleans, USA: IEEE, 2019

MENDONÇA, M. et al. **Multi-robot exploration using Dynamic Fuzzy Cognitive Maps and Ant Colony Optimization**. IEEE International Conference on Fuzzy Systems. **Anais**...Glasgow, UK: IEEE, 2020

MENDONÇA, M.; ARRUDA, L. V. R.; NEVES-JR, F. Autonomous navigation system using Event Driven-Fuzzy Cognitive Maps. **Applied Intelligence**, v. 37, n. 2, p. 175–188, 2011.

MIAO, Y. et al. **Dynamical cognitive network-an extension of fuzzy cognitive map**. Tools with Artificial Intelligence, 1999. Proceedings. 11th IEEE International Conference on. **Anais**...1999

NISE, N. S. **Engenharia de sistemas de controle**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

OGATA, K. **Engenharia de controle moderno**. 5. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2011.

PAJARES, G.; CRUZ, J. M. DE LA. Fuzzy Cognitive Maps for stereovision matching. **Pattern Recognition**, v. 39, n. 11, p. 2101–2114, 2006.

PAPAGEORGIOU, E. I. A new methodology for Decisions in Medical Informatics using fuzzy cognitive maps based on fuzzy rule-extraction techniques. **Applied Soft Computing**, v. 11, n. 1, p. 500–513, 2011.

PAPAGEORGIOU, E. I. (ED.). **Fuzzy Cognitive Maps for Applied Sciences and Engineering**. Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2014.

PASSINO, K. M.; YURKOVICH, S. **Fuzzy Control**. [s.l.] Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc., 1997.

PEDRYCZ, W.; JASTRZEBSKA, A.; HOMENDA, W. Design of fuzzy cognitive maps for modeling time series. **IEEE Transactions on Fuzzy Systems**, v. 24, n. 1, p. 120–130, 2016.

SOARES, P. P. et al. **Simplified Fuzzy Dynamic Cognitive Maps Applied to the Maintenance Management of Electric Motors**. ICAS 2017 : The Thirteenth International Conference on Autonomic and Autonomous Systems. **Anais**...Barcelona, Spain: IARIA, 2017Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Carlos%7B%5C_%7DWestphall/publication/317039419%7B%5C_%7DICAS%7B%5C_%7D2017%7B%5C_%7D-%7B%5C_%7DThe%7B%5C_%7DThirteenth%7B%5C_%7DInternational%7B%5C_%7DConference%7B%5C_%7D-Don%7B%5C_%7DAutonomic%7B%5C_%7Dand%7B%5C_%7DAu>

SOUZA, L. B. DE et al. **Dynamic Fuzzy Cognitive Maps Embedded and Classical Fuzzy Controllers Applied in Industrial Process**. ICAS 2017 : The Thirteenth International Conference on Autonomic and Autonomous Systems. **Anais**...Barcelona, Spain: IARIA, 2017

STACH, W.; KURGAN, L.; PEDRYCZ, W. Parallel learning of large fuzzy cognitive maps. **IEEE International Conference on Neural Networks - Conference Proceedings**, n. 1, p. 1584–1589, 2007.

TOLMAN, E. C. Cognitive maps in rats and men. **Psychological Review**, v. 55, n. 4, p. 189–208, 1948.

YESIL, E.; OZTURK, C. Fuzzy cognitive maps learning using Artificial Bee Colony optimization. **Fuzzy Systems (FUZZ), …**, n. 1, 2013.

ZADEH, L. A. Fuzzy Sets. **Information and control**, v. 353, p. 338–353, 1965.

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
facebook.com/atenaeditora.com.br

Atena Editora

Ano 2021

COLEÇÃO

DESAFIOS DAS ENGENHARIAS:

ENGENHARIA MECÂNICA

www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br
@atenaeditora
facebook.com/atenaeditora.com.br

Atena Editora

Ano 2021