

TECNOLOGIAS, MÉTODOS E TEORIAS NA ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO 2



ERNANE ROSA MARTINS
(ORGANIZADOR)

 **Atena**
Editora

Ano 2020

TECNOLOGIAS, MÉTODOS E TEORIAS NA ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO 2



**ERNANE ROSA MARTINS
(ORGANIZADOR)**

Atena
Editora

Ano 2020

Editora Chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Assistentes Editoriais

Natalia Oliveira

Bruno Oliveira

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto Gráfico e Diagramação

Natália Sandrini de Azevedo

Camila Alves de Cremo

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

Imagens da Capa

Shutterstock

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.



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

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

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

Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Carlos Antonio de Souza Moraes – Universidade Federal Fluminense
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
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionale delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Prof. Dr. Jadson Correia de Oliveira – Universidade Católica do Salvador
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Prof. Dr. Luis Ricardo Fernandes da Costa – Universidade Estadual de Montes Claros
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Pontifícia Universidade Católica de Campinas
Profª Drª Maria Luzia da Silva Santana – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
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 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 Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Welma Emidio da Silva – Universidade Federal Rural de Pernambuco

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto
Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie
Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás
Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande

Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Sidney Gonçalves de Lima – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Linguística, Letras e Artes

Profª Drª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Angeli Rose do Nascimento – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro
Profª Drª Carolina Fernandes da Silva Mandaji – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Profª Drª Denise Rocha – Universidade Federal do Ceará
Profª Drª Edna Alencar da Silva Rivera – Instituto Federal de São Paulo
Profª Drª Fernanda Tonelli – Instituto Federal de São Paulo,
Prof. Dr. Fabiano Tadeu Grazioli – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Profª Drª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná
Profª Drª Miraniide Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará
Profª Drª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste
Profª Drª Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia

Conselho Técnico Científico

Prof. Me. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo
Prof. Me. Adalberto Zorzo – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza
Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba
Prof. Dr. Adilson Tadeu Basquerote Silva – Universidade para o Desenvolvimento do Alto Vale do Itajaí
Prof. Dr. Alex Luis dos Santos – Universidade Federal de Minas Gerais
Prof. Me. Alessandro Teixeira Ribeiro – Centro Universitário Internacional
Profª Ma. Aline Ferreira Antunes – Universidade Federal de Goiás
Profª Drª Amanda Vasconcelos Guimarães – Universidade Federal de Lavras
Prof. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão
Profª Ma. Andréa Cristina Marques de Araújo – Universidade Fernando Pessoa
Profª Drª Andrezza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Profª Drª Andrezza Miguel da Silva – Faculdade da Amazônia
Profª Ma. Anelisa Mota Gregoleti – Universidade Estadual de Maringá
Profª Ma. Anne Karynne da Silva Barbosa – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Antonio Hot Pereira de Faria – Polícia Militar de Minas Gerais
Prof. Me. Armando Dias Duarte – Universidade Federal de Pernambuco
Profª Ma. Bianca Camargo Martins – UniCesumar
Profª Ma. Carolina Shimomura Nanya – Universidade Federal de São Carlos
Prof. Me. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Me. Carlos Augusto Zilli – Instituto Federal de Santa Catarina
Prof. Me. Christopher Smith Bignardi Neves – Universidade Federal do Paraná
Profª Drª Cláudia de Araújo Marques – Faculdade de Música do Espírito Santo
Profª Drª Cláudia Taís Siqueira Cagliari – Centro Universitário Dinâmica das Cataratas
Prof. Me. Clécio Danilo Dias da Silva – Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Me. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará
Profª Ma. Daniela da Silva Rodrigues – Universidade de Brasília
Profª Ma. Daniela Remião de Macedo – Universidade de Lisboa
Profª Ma. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Me. Douglas Santos Mezacas – Universidade Estadual de Goiás
Prof. Me. Edevaldo de Castro Monteiro – Embrapa Agrobiologia
Prof. Me. Edson Ribeiro de Britto de Almeida Junior – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Me. Eduardo Gomes de Oliveira – Faculdades Unificadas Doctum de Cataguases
Prof. Me. Eduardo Henrique Ferreira – Faculdade Pitágoras de Londrina
Prof. Dr. Edwaldo Costa – Marinha do Brasil
Prof. Me. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita
Prof. Me. Ernane Rosa Martins – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Prof. Me. Euvaldo de Sousa Costa Junior – Prefeitura Municipal de São João do Piauí
Prof. Dr. Everaldo dos Santos Mendes – Instituto Edith Theresa Hedwing Stein
Prof. Me. Ezequiel Martins Ferreira – Universidade Federal de Goiás
Prof^a Ma. Fabiana Coelho Couto Rocha Corrêa – Centro Universitário Estácio Juiz de Fora
Prof. Me. Fabiano Eloy Atílio Batista – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Me. Felipe da Costa Negrão – Universidade Federal do Amazonas
Prof. Me. Francisco Odécio Sales – Instituto Federal do Ceará
Prof. Me. Francisco Sérgio Lopes Vasconcelos Filho – Universidade Federal do Cariri
Prof^a Dr^a Germana Ponce de Leon Ramírez – Centro Universitário Adventista de São Paulo
Prof. Me. Gevair Campos – Instituto Mineiro de Agropecuária
Prof. Me. Givanildo de Oliveira Santos – Secretaria da Educação de Goiás
Prof. Dr. Guilherme Renato Gomes – Universidade Norte do Paraná
Prof. Me. Gustavo Krahl – Universidade do Oeste de Santa Catarina
Prof. Me. Helton Rangel Coutinho Junior – Tribunal de Justiça do Estado do Rio de Janeiro
Prof^a Ma. Isabelle Cerqueira Sousa – Universidade de Fortaleza
Prof^a Ma. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia
Prof. Me. Javier Antonio Albornoz – University of Miami and Miami Dade College
Prof. Me. Jhonatan da Silva Lima – Universidade Federal do Pará
Prof. Dr. José Carlos da Silva Mendes – Instituto de Psicologia Cognitiva, Desenvolvimento Humano e Social
Prof. Me. Jose Elyton Batista dos Santos – Universidade Federal de Sergipe
Prof. Me. José Luiz Leonardo de Araujo Pimenta – Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria Uruguay
Prof. Me. José Messias Ribeiro Júnior – Instituto Federal de Educação Tecnológica de Pernambuco
Prof^a Dr^a Juliana Santana de Curcio – Universidade Federal de Goiás
Prof^a Ma. Juliana Thaisa Rodrigues Pacheco – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof^a Dr^a Kamilly Souza do Vale – Núcleo de Pesquisas Fenomenológicas/UFGA
Prof. Dr. Kárpio Márcio de Siqueira – Universidade do Estado da Bahia
Prof^a Dr^a Karina de Araújo Dias – Prefeitura Municipal de Florianópolis
Prof. Dr. Lázaro Castro Silva Nascimento – Laboratório de Fenomenologia & Subjetividade/UFRP
Prof. Me. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof^a Ma. Lillian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará
Prof^a Ma. Lilian de Souza – Faculdade de Tecnologia de Itu
Prof^a Ma. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ
Prof^a Dr^a Lívia do Carmo Silva – Universidade Federal de Goiás
Prof. Dr. Lucio Marques Vieira Souza – Secretaria de Estado da Educação, do Esporte e da Cultura de Sergipe
Prof. Dr. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual do Paraná
Prof^a Ma. Luana Ferreira dos Santos – Universidade Estadual de Santa Cruz
Prof^a Ma. Luana Vieira Toledo – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados
Prof. Me. Luiz Renato da Silva Rocha – Faculdade de Música do Espírito Santo
Prof^a Ma. Luma Sarai de Oliveira – Universidade Estadual de Campinas
Prof. Dr. Michel da Costa – Universidade Metropolitana de Santos
Prof. Me. Marcelo da Fonseca Ferreira da Silva – Governo do Estado do Espírito Santo
Prof. Dr. Marcelo Máximo Purificação – Fundação Integrada Municipal de Ensino Superior
Prof. Me. Marcos Aurelio Alves e Silva – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo

Profª Ma. Maria Elanny Damasceno Silva – Universidade Federal do Ceará
Profª Ma. Marileila Marques Toledo – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Prof. Dr. Pedro Henrique Abreu Moura – Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais
Prof. Me. Pedro Panhoca da Silva – Universidade Presbiteriana Mackenzie
Profª Drª Poliana Arruda Fajardo – Universidade Federal de São Carlos
Prof. Me. Rafael Cunha Ferro – Universidade Anhembi Morumbi
Prof. Me. Ricardo Sérgio da Silva – Universidade Federal de Pernambuco
Prof. Me. Renan Monteiro do Nascimento – Universidade de Brasília
Prof. Me. Renato Faria da Gama – Instituto Gama – Medicina Personalizada e Integrativa
Profª Ma. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal
Prof. Me. Robson Lucas Soares da Silva – Universidade Federal da Paraíba
Prof. Me. Sebastião André Barbosa Junior – Universidade Federal Rural de Pernambuco
Profª Ma. Silene Ribeiro Miranda Barbosa – Consultoria Brasileira de Ensino, Pesquisa e Extensão
Profª Ma. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo
Profª Ma. Taiane Aparecida Ribeiro Nepomoceno – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Faculdade Regional Jaguaribana
Profª Ma. Thatiany Jasmine Castro Martins de Carvalho – Universidade Federal do Piauí
Prof. Me. Tiago Silvío Dedoné – Colégio ECEL Positivo
Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

Tecnologias, métodos e teorias na engenharia de computação 2

Bibliotecária: Janaina Ramos
Diagramação: Maria Alice Pinheiro
Correção: Maiara Ferreira
Edição de Arte: Luiza Alves Batista
Revisão: Os Autores
Organizador: Ernane Rosa Martins

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

T255	Tecnologias, métodos e teorias na engenharia de computação 2 / Organizador Ernane Rosa Martins. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2021. Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia ISBN 978-65-5706-945-5 DOI 10.22533/at.ed.455211604 1. Engenharia de Computação. I. Martins, Ernane Rosa (Organizador). II. Título. CDD 621.39
Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166	

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

DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa.

APRESENTAÇÃO

A Engenharia de Computação é a área que estuda as técnicas, métodos e ferramentas matemáticas, físicas e computacionais para o desenvolvimento de circuitos, dispositivos e sistemas. Assim, este segundo volume busca apresentar a matemática e a computação com foco no desenvolvimento de soluções de software e na solução de problemas de Engenharia.

Dentro deste contexto, esta obra apresenta diversos aspectos tecnológicos computacionais, tais como: um software que reúna informações científicas sobre vacinas e doenças imunopreveníveis de forma lúdica; um modelo preditivo com objetivo de identificar a correlação entre o valor predito e o preço de fechamento das ações listadas na bolsa de valores brasileira; ensino de programação para crianças; o algoritmo genético e o método da evolução diferencial; uma modelagem matemática para o cenário de um ciclo de desenvolvimento do Scrum; simulações computacionais; um sistema háptico sonoro para auxiliar a navegação e locomoção de deficientes visuais em ambientes fechados; uma solução ótima de despacho de geração de energia elétrica para 4 usinas térmicas, através de simulação no software MATLAB; uma rede neural perceptron multicamadas para previsão de séries temporais de nível de água de uma bacia hidrográfica; uma rede neural artificial (Multilayer Perceptron) para a classificação de perfis de passageiros no setor aéreo brasileiro; um modelo de aprendizado de máquina que combina diferentes técnicas de regressão; a complexidade na inteligência artificial dos mascotes virtuais.

Sendo assim, esta obra é composta por trabalhos pertinentes da área, que permitem aos leitores, analisar e discutir assuntos importantes. Por fim, agradecemos aos autores pelas significativas contribuições, e desejamos aos nossos leitores uma excelente leitura, repleta de reflexões significativas.

Ernane Rosa Martins

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

VACINA.COM: A SOFTWARE FOR TEACHING AND PROFESSIONAL UPDATING ABOUT VACCINES AND IMMUNO-PREVENTABLE DISEASES

Paôla de Oliveira Souza
José Maria Parente de Oliveira
Letícia Helena Januário
Daniel Moraes dos Reis
Paula Luciana Gonçalves Pereira
André Almeida Gonçalves

DOI 10.22533/at.ed.4552116041

CAPÍTULO 2..... 13

UMA ANÁLISE DE VANTAJOSIDADE EM MODELOS DE PREVISÃO EM SÉRIES TEMPORAIS

Rafael Diniz Toscano de Lima
Sérgio Murilo Maciel Fernandes
Sidney Marlon Lopes de Lima
Ricardo Paranhos Pinheiro
Sthéfano Henrique Mendes Tavares Silva

DOI 10.22533/at.ed.4552116042

CAPÍTULO 3..... 24

SENTECH: UM COMBINADOR DE ANÁLISE TÉCNICA E DE SENTIMENTO PARA O MERCADO DE AÇÕES

Isabela Nunes Caetano
Érica Ferreira de Souza
Giovani Volnei Meinerz

DOI 10.22533/at.ed.4552116043

CAPÍTULO 4..... 34

PROGRAMAÇÃO DE JOGOS COM SCRATCH PARA AUXÍLIO À ALFABETIZAÇÃO DE CRIANÇAS

Rute Vitorino Oliveira
Jemima Vitorino de Oliveira
Luciene Cavalcanti Rodrigues
Ana Paula Garrido de Queiroga

DOI 10.22533/at.ed.4552116044

CAPÍTULO 5..... 46

OTIMIZAÇÃO GEOMÉTRICA DAS PÁS DE UMA TURBINA EÓLICA DE EIXO HORIZONTAL

Rafael Romão da Silva Melo

DOI 10.22533/at.ed.4552116045

CAPÍTULO 6..... 59

OTIMIZAÇÃO DO SPRINT BACKLOG COM O PROBLEMA DA MOCHILA 0/1

Michel Willian Alves
Elisa de Fátima Andrade Soares
Thalia Katiane Sampaio Gurgel
José Weliton de Vasconcelos Filho
Dario José Aloise

DOI 10.22533/at.ed.4552116046

CAPÍTULO 7..... 68

MODELOS EPIDÊMICOS: PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA NO CONTEXTO DA COVID-19

Vinícius R. da Silva
Felipe Y. Hatanaka
Olavo H. Menin

DOI 10.22533/at.ed.4552116047

CAPÍTULO 8..... 78

GUIDE2BLIND: SISTEMA HÁPTICO-SONORO DE ORIENTAÇÃO PARA DEFICIENTES VISUAIS EM AMBIENTES FECHADOS - FASE 2

Lucas Rafael da Silva Martins
Mikael Tolotti da Silva
Bernardo Moreira
Diego Afonso da Silva Lima
Carlos Francisco Soares de Souza
Luis Gustavo Fernandes dos Santos
Carlos Arthur Carvalho Sarmanho Junior

DOI 10.22533/at.ed.4552116048

CAPÍTULO 9..... 96

DESPACHO DE GERAÇÃO ÓTIMA ATRAVÉS DO MÉTODO DOS PONTOS INTERIORES VERSÃO PRIMAL-DUAL

Jean Ferguson Pimentel
João Vitor Gerevini Kasper
Juliana Almansa Malagoli
Thelma Solange Piazza Fernandes

DOI 10.22533/at.ed.4552116049

CAPÍTULO 10..... 105

COMBINING RAINFALL AND WATER LEVEL DATA FOR MULTISTEP HIGH TEMPORAL RESOLUTION EMPIRICAL HYDROLOGICAL FORECASTING

Cintia Pereira de Freitas
Michael Macedo Diniz
Glauston Roberto Teixeira de Lima
Marcos Gonçalves Quiles
Stephan Stephany
Leonardo Bacelar Lima Santos

DOI 10.22533/at.ed.45521160410

CAPÍTULO 11	118
CLASSIFICAÇÃO DE PASSAGEIROS DOMÉSTICOS DE LINHAS AÉREAS UTILIZANDO REDES NEURAIS ARTIFICIAIS DO TIPO MLP	
Sidnei Gouveia Junior	
Narciso Ferreira dos Santos Neto	
Nilton Alves Maia	
DOI 10.22533/at.ed.45521160411	
CAPÍTULO 12	129
APRENDIZADO CONJUNTO APLICADO NA PREDIÇÃO DO MERCADO DE AÇÕES BRASILEIRO	
Alvaro Pedroso Queiroz	
Giovani Volnei Meinerz	
Érica Ferreira de Souza	
DOI 10.22533/at.ed.45521160412	
CAPÍTULO 13	138
INFORMATIZAÇÃO DE PROCESSOS GERENCIAIS EM UM SETOR DE ASSISTÊNCIA ESTUDANTIL: ESTUDO DE CASO NO IFMG – CAMPUS BAMBUÍ	
Eduardo Cardoso Melo	
Gabriel da Silva	
DOI 10.22533/at.ed.45521160413	
CAPÍTULO 14	151
A SIMULAÇÃO DE EMOÇÕES EM JOGOS DIGITAIS	
Pedro Henrique Senkiio Cardoso	
DOI 10.22533/at.ed.45521160414	
SOBRE O ORGANIZADOR	158
ÍNDICE REMISSIVO	159

OTIMIZAÇÃO GEOMÉTRICA DAS PÁS DE UMA TURBINA EÓLICA DE EIXO HORIZONTAL

Data de aceite: 01/04/2021

Data de submissão: 05/01/2021

Rafael Romão da Silva Melo

Universidade Federal de São João del-Rei
Departamento de Ciências Térmicas e dos
Fluidos (DCTEF)
São João del-Rei – MG
<http://lattes.cnpq.br/3435986407796162>

RESUMO: Uma das etapas em busca da melhor eficiência energética da turbina é a análise do escoamento em torno de suas pás, onde a mínima variação na geometria das mesmas ocasiona uma mudança na potência gerada. Este trabalho apresenta a otimização de uma turbina eólica de eixo horizontal, utilizando modelo integral através da Teoria do Elemento de Pá e Teoria do Balanço da Quantidade de Movimento, abordando o problema em um volume de controle no qual a turbina eólica está imersa, fazendo sobre este volume um balanço global da energia, calculando a potência gerada a partir de dados como a velocidade do vento, velocidade angular e o perfil da pá do rotor. As técnicas de otimização utilizadas foram o Algoritmo Genético o método da Evolução Diferencial, ambos métodos heurísticos. Foi realizada a comparação dos resultados utilizando os dois métodos, e o método da Evolução diferencial apresentou melhor eficiência, atingindo uma melhor solução para a função objetivo, ou seja, uma turbina eólica com maior eficiência energética.

PALAVRAS - CHAVE: Otimização, Turbinas Eólicas, Evolução Diferencial, Algoritmo Genético, Formulação Integral.

GEOMETRIC OPTIMIZATION OF THE BLADES OF A HORIZONTAL AXIS WIND TURBINE

ABSTRACT: One of the steps in search of the turbine's best energy efficiency is the analysis of the flow around its blades, where the minimum variation in their geometry causes a change in the power generated. This work presents a horizontal axis wind turbine optimization, using an integral formulation through the Blade Element Theory and the Balance of Linear Momentum, solving mathematically the problem in a control volume in which the wind turbine is immersed, doing a global energy balance, calculating the power generated from data such as wind speed, angular speed, and the rotor blade profile. The optimization techniques used were the Genetic Algorithm and the Differential Evolution, both heuristic methods. The results were compared using the two methods, and the Differential Evolution method showed better efficiency, achieving a better solution for the objective function, that is, a wind turbine with greater energy efficiency.

KEYWORDS: Optimization, Wind Turbines, Differential Evolution, Genetic Algorithm, Integral Formulation.

1 | INTRODUÇÃO

Uma das etapas em busca da melhor eficiência energética da turbina é a análise do escoamento em torno de suas pás, onde a

mínima variação na geometria das mesmas ocasiona uma mudança na potência gerada. Para resolver este problema de mecânica dos fluidos pode-se decidir por dois caminhos, o modelo teórico e o modelo experimental.

A experimentação em laboratório tem a vantagem de tratar com a configuração aproximada do real ou um modelo idêntico ao real, porém, geralmente, um experimento possui altíssimo custo e apresenta grande dificuldade de reprodução das condições reais, como por exemplo, simulações a grandes altitudes e velocidades variadas. Este elevado custo existe pela necessidade de se investir em um laboratório adequado que atenda às necessidades mínimas para testes, e também a necessidade de se produzir um novo protótipo a cada modelo projetado. Na ausência de modelos matemáticos estabelecidos e em geometrias extremamente complexas, modelo experimental é, muitas vezes, a única alternativa disponível ao projetista (Maliska, 1995).

Para análise teórica de tal problema pode-se escolher entre dois métodos: o método integral e o método diferencial. O método integral aborda o problema em um volume de controle no qual a turbina eólica está imersa, fazendo sobre este volume um balanço global da energia, calculando a potência gerada a partir de dados como a velocidade do vento, velocidade angular e o perfil da pá do rotor (Melo e Silveira-Neto, 2012). A partir de não se conhecer com detalhe o escoamento em cada ponto espacial em torno do gerador, o modelo integral pode fornecer resultados satisfatórios de maneira rápida.

O método diferencial é uma ferramenta poderosa, a qual nos permite simular, visualizando de fato o que ocorre em torno de um corpo imerso em um meio fluido, neste caso uma turbina eólica em meio a uma corrente de ar. Para isto utiliza-se a dinâmica dos fluidos computacional, do inglês Computational Fluid Dynamics (CFD), a qual é a área da computação científica que estuda métodos computacionais para simulação de fenômenos que envolvem fluidos em movimento com ou sem troca de calor (Fortuna, 2000).

Na busca da otimização de uma turbina eólica o método diferencial pode ser desvantajoso, uma vez que a cada nova geometria é necessária uma nova simulação, onde dependendo do refinamento da malha pode acarretar em um elevado custo computacional. Neste ponto o método integral pode ser uma excelente alternativa, gerando resultados relativamente precisos de maneira rápida e sem muito custo.

Este trabalho apresenta a otimização de uma turbina eólica de eixo horizontal, utilizando modelo integral através da Teoria do Elemento de Pá e Teoria do Balanço da Quantidade de Movimento. As técnicas de otimização utilizadas foram o clássico método heurístico Algoritmo Genético, proposto por Holland (1975), e o método da Evolução Diferencial, outro método heurístico proposto por Storn e Price (1996).

2.1 FORMULAÇÃO INTEGRAL DE UMA HAWT

Nesta seção será apresentada uma formulação integral para uma HAWT. O objetivo final é determinar a potência gerada pelo rotor, e para isto é necessário determinar as forças que agem nas pás. Nesta formulação são utilizadas duas metodologias, a Teoria do Elemento de Pá (Blade Element Theory, ou BEM (Morcos, 1994; Kishinami et al., 2005; Lanzafame e Messina, 2010) e o Balanço da Quantidade de Movimento (Çengel e Cimbala, 2007). Para cada uma destas formulações é apresentado o modelo físico e o modelo matemático, e em seguida o acoplamento entre as duas teorias, fechando a formulação.

2.1 Teoria do elemento de pá (BEM)

A teoria do elemento de pá, BEM, é uma forma de determinar as forças que agem nas pás da turbina, sendo elas a força de sustentação F_l e de arrasto F_d . Para isto a pá é dividida em um número discreto de elementos, ou planos, nos quais as forças são determinadas. Nessa teoria admite-se que o escoamento seja bidimensional sobre cada elemento, ou seja, existe apenas as componentes de velocidade normal (direção do escoamento) e tangencial (direção de rotação da turbina), sendo a componente de velocidade na direção radial nula.

A Figura 1 apresenta a pá de uma HAWT de raio R , cujo elemento de pá genérico possui raio r . Ao se aproximar deste elemento de pá a velocidade do vento livre U_∞ reduz a uma velocidade menor, denominada U_n . Ao passar pela pá a velocidade da corrente passa a ser U_2 . Este elemento ainda é atingido por uma parcela de velocidade tangencial U_t devida a rotação da turbina, que gira com velocidade angular ω . Esta figura ainda mostra que cada elemento de pá possui comprimento de corda c e ângulo de passo λ diferentes, sendo ângulo de passo o ângulo formado pela corda do elemento e a direção tangencial.

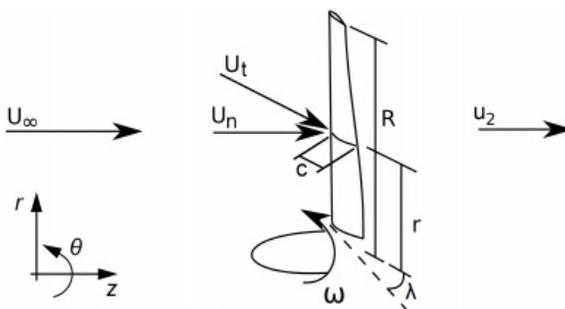


Figura 1: Características geométricas de uma pá de uma HAWT e um plano genérico para análise utilizando a BEM.

A **Figura 2** apresenta um diagrama representativo de um plano de um elemento de pá. Esta figura mostra que este elemento de comprimento de corda c e um ângulo de

passo λ é atingido por duas parcelas de velocidade, normal U_n e tangencial U_t . A velocidade resultante V sobre o elemento é a soma vetorial das duas velocidades. O ângulo de ataque α é formado entre o vetor da velocidade resultante V e a linha da corda c . Outra variável importante apresentada neste diagrama é o ângulo de fluxo ϕ , formado entre o vetor velocidade resultante V e a direção tangencial. Por fim esta figura mostra a força de arrasto dF_d na direção da velocidade V , e de sustentação dF_l perpendicular à força de arrasto.

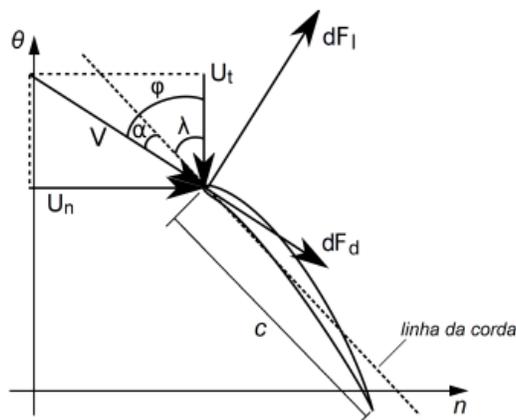


Figura 2: Diagrama de velocidades e forças que agem em um elemento de pá numa posição genérica.

Desconsiderando a presença da geometria pode-se considerar que a velocidade normal U_n é igual a velocidade de corrente livre U_∞ , e a velocidade tangencial U_t é igual a velocidade ωr proveniente da rotação da turbina. Porém a presença da turbina interfere nas velocidades, onde U_n diminui devido a desaceleração da corrente livre, e U_t aumenta devida a transferência de momento angular da turbina para o fluido. Define-se então dois fatores de interferência: fator de interferência axial a , proporcional a U_∞ ; e fator de interferência tangencial a_t , proporcional a ωr . Quanto maior for a , menor será U_n , e quanto maior a_t maior será U_t . Conhecendo as velocidades corretas, U_n e U_t , calcula-se então as forças dF_l e dF_d exatas. A formulação matemática para a BEM pode ser encontrada em Melo (2018).

Com a teoria do elemento de pá conseguimos calcular as forças em todos os elementos de pá, ou seja, todas as forças que agem na turbina. Porém os fatores de interferência não são conhecidos, então se faz necessário buscar uma nova alternativa, a qual será apresentada na próxima subseção.

2.2 Balanço da quantidade de movimento

Outra forma de calcular as forças normal e tangencial em cada ponto das pás, é através da teoria do balanço de quantidade de movimento em um volume de controle determinado. A Figura 3 apresenta um volume de controle no formato de um anel, onde o raio do rotor é dividido em um número finito de elementos de comprimento dr . Este comprimento percorre uma seção circular, como visto na Figura 3.a, englobando os elementos de pá da teoria BEM de todas pás no raio genérico r , onde o diferencial de força normal dF_n e tangencial dF_t que atua nesse volume de controle possui o mesmo valor dos diferenciais de força da teoria anterior (BEM). Este volume de controle na direção normal não é cilíndrico, mas segue uma curva delimitada por duas superfícies de corrente, fechando este volume de controle, como visto na Figura 3.b. A entrada de fluido neste volume de controle se inicia no plano 1, onde a velocidade do escoamento é a velocidade da corrente livre U_∞ , e a pressão é a pressão atmosférica. No plano 2 a velocidade do escoamento é uniforme e igual a u_2 , e a pressão também é igual a pressão atmosférica. Como a pressão na entrada e na saída são iguais, não existe uma força de pressão resultante sobre este volume. Para determinar os diferenciais de força normal dF_n e tangencial dF_t , aplica-se o balanço da quantidade de movimento nas duas direções. A formulação matemática para o balanço da quantidade de movimento linear e o acoplamento desta teoria com a Teoria do elemento de Pá também pode ser encontrada em Melo (2018).

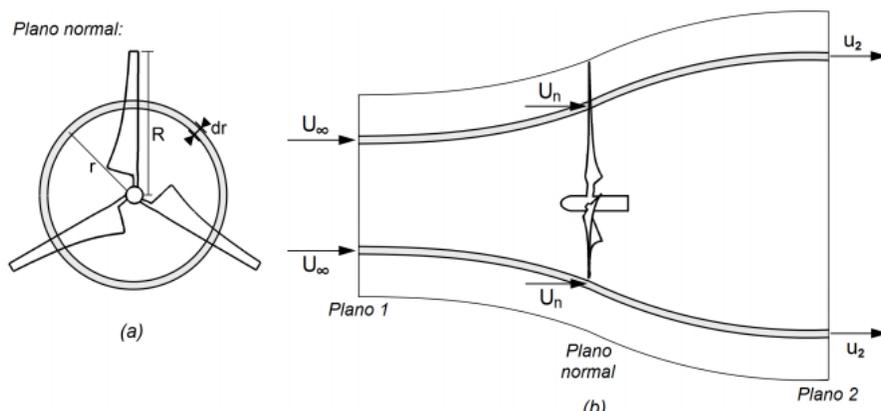


Figura 3: Volume de controle em um anel anular

Nas duas subseções seguintes são apresentados os métodos de otimização utilizados, Algoritmo Genético e Evolução Diferencial, respectivamente.

2.3 Algoritmo Genético

O método de otimização Algoritmo Genético, proposto por Hollan (1975), baseiam-se no mecanismo de evolução natural das espécies: sobrevivência do mais apto. Toda a informação sobre um indivíduo (todas suas características) está contida em seus genes. Em uma população, é mais provável que: o mais apto sobreviva, os mais fortes passam os seus genes para a próxima geração. Cada indivíduo corresponde a uma possível solução para o problema.

Os operadores genéticos básicos são:

- **Seleção:** Nesta etapa ocorre a escolha dos pais que vão gerar novos descendentes. Existem vários métodos, dentre eles os métodos do Truncamento, Ranking, Roleta, Amostragem Universal Estocástica, Torneio, entre outros.
- **Crossover:** Nesta etapa ocorre a mistura de dados genéticos dos dois pais selecionados na etapa de seleção. Estas informações dependem dos dados de cada indivíduo, sendo que pode haver a troca de vetores de binários, vetores de reais, vetor de inteiros (permutação) ou também árvores.
- **Mutação:** Nesta etapa ocorre a modificação de um dado gene de um indivíduo, dentro de uma certa probabilidade. Pode ser uma modificação aleatória, ou ainda a troca de informações entre dois genes de duas posições diferentes no mesmo indivíduo.

A seguir é apresentado a idéia básica de execução de um algoritmo genético:

- **ETAPA 1:** Gera-se a População Inicial com TP indivíduos;
- **ETAPA 2:** Avaliam-se todos os indivíduos da População;
- **ETAPA 3:** Selecionam-se os indivíduos que formarão os pares do crossover;
- **ETAPA 4:** Para cada par, sorteia-se um Ponto de Crossover e 2 novos indivíduos são gerados por crossover;
- **ETAPA 5:** Submetem-se os novos indivíduos a uma mutação com probabilidade de mutação;
- **ETAPA 6:** Avalia-se o desempenho dos novos indivíduos formados após Crossover e Mutação;
- **ETAPA 7:** Selecionam-se os TP melhores indivíduos dentre a população original e os novos indivíduos;
- **População atingiu Critério de Término?** Se SIM, FIM. Se NÃO, eetornar a ETAPA 3.

2.4 Evolução Diferencial

A Evolução Diferencial (Storn e Price, 1996) foi apresentada como uma versão melhorada do Algoritmo Genético, resolvendo de forma mais eficiente problemas de otimização. A ideia do método é simples, gera-se um novo através da adição da diferença ponderada entre dois indivíduos a um terceiro indivíduos. A ponderação previne a criação de indivíduos idênticos. A criação deste novo indivíduo é considerado como uma mutação. Este indivíduo mutado, *donor*, é combinado com um indivíduo da população, *target*, gerando um indivíduo teste, *trial*, através de um cruzamento (crossover). Este cruzamento aumenta a diversidade das soluções mutadas. Caso o indivíduo teste apresente melhor resultado que o indivíduo *target*, este é substituído pelo indivíduo recém criado. Um detalhe importante é que em cada iteração do método todos os indivíduos da população são indivíduos *target* uma única vez, obrigatoriamente. A Figura 4 apresenta esquematicamente a evolução diferencial aplicado a um indivíduo da população.

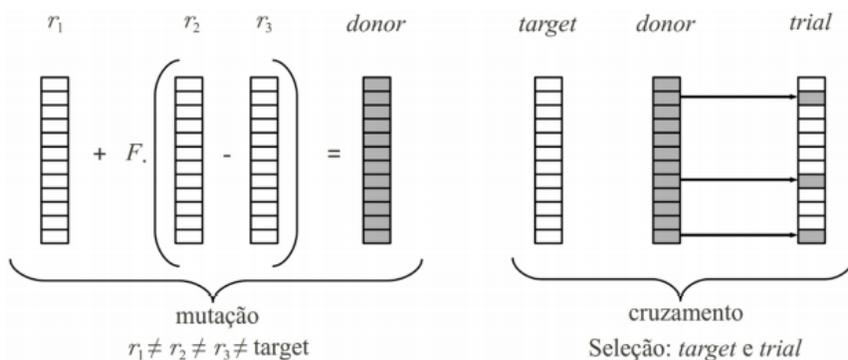


Figura 4: Mutação, cruzamento e seleção da evolução diferencial (Lopes et al., 2013).

Uma das vantagens da evolução diferencial é a necessidade de poucos parâmetros de controle para os operadores, os quais têm seus valores ajustados de maneira relativamente simples (Lopes et al., 2013).

A seção seguinte serão mostrados os resultados aplicando este método a formulação integral do escoamento em torno de uma turbina eólica.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Será considerado uma turbina com raio constante $R = 5\text{m}$, onde as pás serão divididos em N partes, N elementos de pá. Cada elemento de pá possui um comprimento de corda c e ângulo de passo λ . Busca-se o melhor valor para estas duas variáveis de cada elemento para gerar a maior potência possível. Assim as variáveis de projeto são um

vetor de tamanho N para comprimento de corda e outro valor de tamanho N para ângulo de passo de passo.

A Figura 5 apresenta um indivíduo inicial simples, onde o comprimento de corda e o ângulo de passo são funções lineares. Toda a população de tamanho Z foi criada a partir deste indivíduo, variando o comprimento de corda em $\pm 80\%$ e o ângulo de passo em $\pm 20\%$ aleatoriamente. Foram utilizados 16 elementos de pá, resultando em 32 variáveis de projeto.

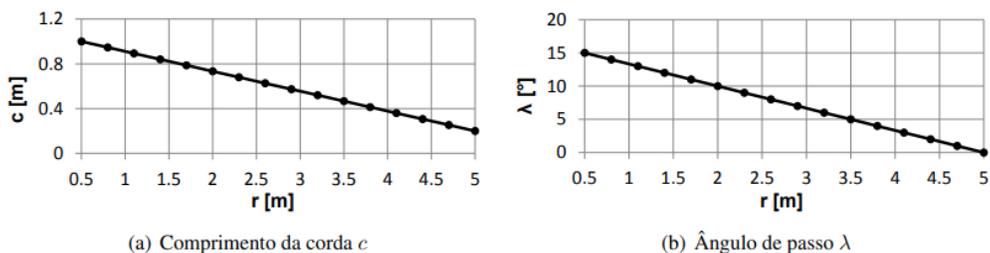


Figura 5: Dados geométrico do indivíduo inicial.

A Figura 6 apresenta a curva do coeficiente de potência em função da razão de velocidade t_{sr} para o indivíduo inicial. Esta figura auxiliara também a compreender como avaliar a função objetivo. Se uma dada turbina eólica possuir um controle ótimo de rotação a função objetivo poderia ser o ponto máximo da curva $C_p \times t_{sr}$, uma vez que o sistema de controle pode ajustar a rotação do rotor até a t_{sr} atingir este ponto máximo. Porém se uma turbina possuir um sistema de controle não eficaz, ou que possua certa tolerância, ou ainda nem possua sistema de controle pode-se trabalhar com uma faixa de operação de t_{sr} . Neste caso a função objetivo pode ser determinada pela área do gráfico abaixo da curva limitado lateralmente pela faixa de operação, como apresentado nesta figura.



Figura 6: Coeficiente de potência gerado pelo indivíduo inicial.

Neste trabalho foi definida uma faixa de operação de t_{sr} igual a 3, onde o ponto central desta faixa está justamente no ponto da curva de maior coeficiente de potência. Para encontrar este ponto de eficiência máxima, e então determinar de onde até onde varia a t_{sr} foi utilizado o método da seção áurea.

Os parâmetros de entrada dos dois métodos de otimização apresentados neste trabalho foram: população de diferentes tamanhos, sendo $Z = 5, 10, 15, 20, 30, 40, 50$ e 100 , sendo que a quantidade de filhos é a mesma quantidade de pais no algoritmo genético; probabilidade de cruzamento de 50% para ambos os métodos; a constante de ponderação aplicado na subtração de dois indivíduos na evolução diferencial de $F = 0.8$.

O perfil aerodinâmico utilizado foi o NACA 23018, e os coeficientes de arrasto e sustentação foram obtidos através do programa de domínio livre XFOIL, desenvolvido por Drela (1989).

Algumas restrições foram impostas: O comprimento de corda de cada elemento de pá deve ser maiores que 0 e menores que 2.0m, e o ângulo de passo deve ser inferior a 45° . Caso alguma variável ultrapasse estes limites ela é automaticamente atualizada com o valor limitante. Outra restrição é pela geometria, por exemplo, a corda na ponta da pá não pode ser maior que a corda da base, se assim fosse a turbina seria irrealista. Para contornar este problema o vetor de comprimentos de corda e o vetor de ângulo de passo são ordenados em ordem crescente após a criação da população inicial e após cada cruzamento.

A Tabela 1 apresenta os resultados aplicando os métodos de otimização para os vários números de população. O critério de parada utilizado foi o erro entre a média da função objetivo de toda a população entre uma iteração e outra, com um resíduo de 10^{-10} . Nota-se que a melhor solução encontrada com algoritmo genético foi utilizando o maior número de população, igual a 100. Observa-se também que apesar da evolução diferencial levar mais iterações até atingir o critério de parada, a função objetivo final é sempre superior à encontrada utilizando A. G. A explicação para o maior número de iterações da evolução diferencial é que a população no algoritmo genético se torna uniforme com mais rapidez, atingindo a função objetivo mais rápido, porém em um valor mais baixo. Já as combinações algébricas realizadas na evolução diferencial resultam em indivíduos novos, alcançando com mais facilidade uma melhor função objetivo.

População	Função Objetivo (melhor indivíduo)		Num. Iterações		Tempo Computacional (s)	
	A. G.	E. D.	A. G.	E. D.	A. G.	E. D.
5	1,4645	1,5133	3	15	0,1701	0,4081
10	1,5547	1,5789	25	69	1,3404	3,5664
15	1,5650	1,5785	27	73	2,3041	5,6930
20	1,5603	1,5798	35	99	3,7086	10,2893
30	1,5683	1,5809	31	85	5,4280	12,8516
40	1,5676	1,5816	36	128	7,3492	25,2577
50	1,5699	1,5815	42	128	10,7619	31,8600
100	1,5706	1,5821	49	222	24,4563	106,9315

Tabela 1: Comparação dos resultados obtidos pelos metodos de otimização utilizando critério de parada.

A Tabela 2 também apresenta o comparativo dos dois métodos de otimização, porém agora com um número fixo de iterações, $N = 150$. Para cada teste com diferentes números de população o tempo computacional para ambos os métodos foram próximos. Contudo o valor da função objetivo final encontrado utilizando evolução diferencial sempre foi superior ao encontrado utilizando algoritmo genético.

População	Função Objetivo (melhor indivíduo)		Tempo Computacional (s)	
	A. G.	E. D.	A. G.	E. D.
5	1,4645	1,5697	4,3455	3,8520
10	1,5547	1,5807	7,1076	7,7580
15	1,5650	1,5804	11,5730	11,7831
20	1,5603	1,5807	15,0398	15,5690
30	1,5683	1,5818	24,4366	22,3343
40	1,5676	1,5818	29,4074	29,3016
50	1,5699	1,5816	36,5354	37,2196
100	1,5706	1,5819	73,0528	73,5668

Tabela 2: Comparação dos resultados obtidos pelos métodos de otimização utilizando número de iterações $N = 150$

A Figura 7 apresenta a evolução da média função objetivo entre toda população utilizando os dois métodos de otimização, com população de tamanho $N = 20$. É possível notar que o método algoritmo genético atinge a função objetivo máxima mais rapidamente, constatando que sua população se torna uniforme também mais rápido, enquanto que utilizando evolução diferencial a evolução vai caminhando para uma melhor solução de uma maneira mais simples, somente com operações algébricas como mostrado em teoria, e com a população sempre diversificada.

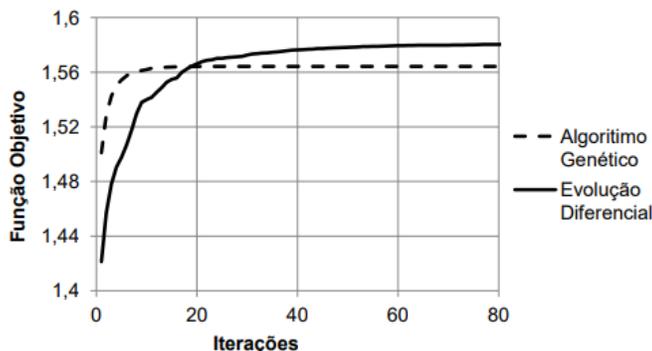


Figura 7: Evolução da média função objetivo entre toda população de tamanho $N = 20$

Por fim, a Figura 8 apresenta a comparação do comprimento de corda c e do ângulo de passo λ do indivíduo inicial e do indivíduo que gera a melhor solução, utilizando evolução diferencial. Nota-se que a solução otimizada respeita as restrições impostas ao problema, as características geométricas estão em conformidade com as das turbinas fabricadas até então, e que o método se mostrou eficiente, buscando o ponto ótimo de cada elemento de pá.

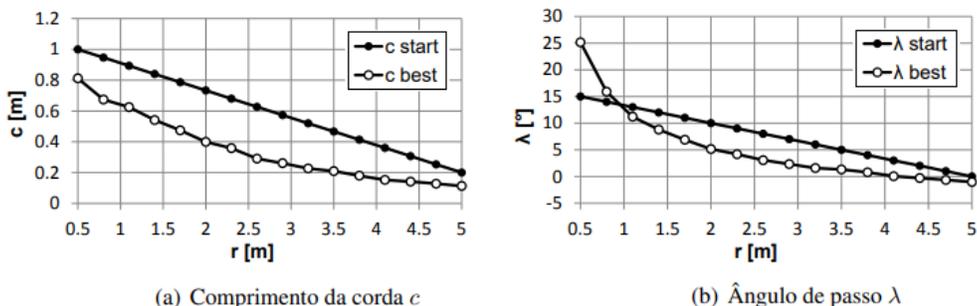


Figura 8: Dados geométrico do melhor indivíduo e do indivíduo inicial.

A seguir serão apresentados as conclusões e trabalhos futuros

4 | CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

A energia eólica é parte da solução para a demanda de energia do mundo. A análise computacional aplicada em turbinas eólicas é notavelmente versátil, uma vez que não existem gastos com laboratórios e protótipos como em análises experimentais, e ainda é possível facilmente alterar as variáveis de projeto em busca da melhor solução para um problema específico.

Com a formulação integral sobre rotores eólicos é possível determinar com facilidade a eficiência da turbina, uma vez que é possível calcular as forças que agem nas pás do rotor em função das variáveis de entrada do modelo, as quais são velocidade do vento, velocidade de rotação da turbina, comprimento da pá e tipo de perfil aerodinâmico.

O método da evolução diferencial, aplicado a modelagem integral utilizada neste trabalho, se mostrou mais eficiente que o método algoritmo genético na busca da melhor solução para condições preestabelecidas, respeitando as restrições de projeto encontrando o melhor indivíduo de maneira rápida e eficiente.

Como trabalhos futuros pode-se melhorar o modelo integral, incluído, por exemplo, efeitos de perda de ponta da pá, e ainda uma maneira eficiente de obter os coeficientes de arrasto e sustentação para um perfil genérico. Com relação ao método de otimização pode-se incluir mais objetivos, como projetar uma turbina com raio de tamanho variado, com restrições como tensão máxima permitida, e ainda minimizar a quantidade de material utilizado na fabricação.

REFERÊNCIAS

Betz, A., 1928. Windmills in the Light of Modern Research, Technical Report, National Advisory Committee for Aeronautics, Washington, EUA

Camporeale, S. M., Magi, V., 1999. Streamtube model for analysis of vertical axis variable pitch turbine for marine currents energy conversion. Energy Conversion and Management.

Degraire, P., 2010. Analytical Aerodynamic Simulation Tool for Vertical Axis Wind Turbines, Tese de Doutorado, Uppsala Universitet.

Drela, M., 1989. Xfoil: An analysis and design system for low reynolds number airfoils, Lecture Notes in Engineering: Low Reynolds Number Aerodynamics.

Fortuna, A. O., 2000. Técnicas Computacionais Para Dinâmica dos Flúidos: Conceitos Básicos e Aplicações, EDUSP.

Freitas, A. W., 2008. Controlo de Passo de Aero geradores de Baixa Potência, Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

- Holland, J. H., 1975. *Adaptation in natural and artificial systems*. The University of Michigan Press, Ann Arbor, MI.
- Janajreh, I., Qudaih, R., Talab, I., Ghenai, C., 2010. Aerodynamic flow simulation of wind turbine: Downwind versus upwind configuration, *Energy Conversion and Management*.
- Kishinami, K., Taniguchi, H., Suzuki, J., Ibano, H., Kazunou, T., Turuhami, M., 2005. Theoretical and experimental study on the aerodynamic characteristics of a horizontal axis wind turbine, *Energy*, v. 30 pp. 2089 - 2100.
- Kjellin, J., Bulow, F., Eriksson, S., Deglaire, P., Leijon, M., Bernhoff, H., 2010. Power coefficient measurement on a 12 kw straight bladed vertical axis wind turbine, *Renewable Energy*.
- Lanzafame, R., Messina, M., 2010. Horizontal axis wind turbine working at maximum power coefficient continuously, *Renewable Energy*, v. 35 pp. 301 - 306.
- Lopes, H. S., Rodrigues, L. C. A., Steiner, M. T. A., 2013. *Meta-Heurísticas em Pesquisa Operacional*, Omnipax, Curitiba, PR, 1 edition.
- Maliska, C., 1995. *Transferência de Calor e Mecânica dos Fluidos Computacional*, LTC.
- Melo, R. R. S., Silveira-Neto A., 2012. Integral analysis of rotors of a wind generator, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 16, n 7, pp. 4809-4817.
- Melo, R. R. S. 2018. *Determinação da eficiência de turbinas eólicas: teoria do elemento de pá e balanço de quantidade de movimento*. 1. ed. Uberlândia: Edibrás. v. 1. 62p .
- Morcos, V., 1994. Aerodynamic performance analysis of horizontal axis wind turbines, *Renewable Energy*, v. 4 pp. 505 - 518.
- Sharma, R. N. e Madawala, U. K., 2011. The concept of a smart wind turbine system, *Renewable Energy*.
- Sheldahl, R. E., Klimas, P. C., Feltz, L. V., 1980. *Aerodynamic Performance of a 5 Metre Diameter Darrieus Turbine With Extruded Aluminium NACA 0015 Blades*, Technical Report SAND 80 0179, EUA, Sandia National Laboratories, Albuquerque, NM, EUA.
- Storn, R., Price, K., 1996. Differential evolution - a simple and efficient heuristic for global optimization over continuous spaces, *Journal of Global Optimization*, v. 11 pp. 341 - 359.
- Çengel, Y. A., Cimbala, J. M., 2007. *Mecânica dos Fluidos Fundamentos e Aplicações*, Mc-Graw Hill Interamericana do Brasil Ltda.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Alfabetização 6, 34, 35, 36, 37, 38, 44, 45

Algoritmo Genético 5, 18, 46, 47, 50, 51, 52, 54, 55, 56, 57

Algoritmos 17, 19, 70, 130, 132, 151

Android 4, 79, 82, 87, 88, 89, 94

Aprendizado do computador 129

Aprendizagem 34, 35, 36, 38, 45, 69, 76, 124, 127

C

Classificação 5, 8, 18, 24, 118, 120, 125, 126, 127

Computador 24, 80, 129

Correlação 5, 24, 25, 30, 31, 32, 80

D

Dados 2, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 24, 25, 26, 27, 29, 30, 34, 46, 47, 51, 53, 56, 63, 71, 80, 81, 83, 87, 88, 91, 92, 93, 94, 105, 106, 118, 119, 120, 121, 122, 125, 127, 129, 130, 131, 132, 133, 136, 138, 140, 141, 143, 144, 145, 146, 147, 148, 158

E

Educação 1, 35, 36, 37, 45, 68, 81, 105, 158

Evolução Diferencial 5, 46, 47, 50, 52, 54, 55, 56, 57

F

Framework 1, 2, 5, 59, 60, 61, 76, 92, 143

G

Gamificação 36, 38

H

Hardware 19, 20

I

Inteligência Artificial 5, 24, 151

J

Jogo 34, 35, 38, 39, 40, 41, 42, 44, 45, 154

L

Linguagem de programação 35, 36, 89, 91, 131

M

Machine Learning 21, 25, 107, 108, 116, 129, 130, 132, 134, 137

Método dos Pontos Interiores 7, 96

Método Numéricos 96

Modelagem 5, 13, 15, 16, 18, 20, 21, 26, 27, 29, 30, 57, 59, 66, 68, 69, 76, 94, 118

Modelo 5, 16, 17, 18, 19, 20, 24, 25, 26, 27, 30, 31, 32, 33, 46, 47, 48, 57, 59, 60, 63, 64, 66, 70, 71, 72, 73, 75, 94, 120, 129, 130, 131, 132, 133, 134, 136, 143, 148, 152, 153, 154, 156

Modelos Compartimentais 68, 69

N

Network 23, 33, 68, 76, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 112, 115, 116, 117, 118, 128

O

Otimização 6, 7, 18, 19, 46, 47, 50, 51, 52, 54, 55, 56, 57, 59, 64, 96, 97, 98, 99, 101, 103, 140

P

Perceptron 5, 105, 107, 110, 118, 120, 127, 128

Previsão 5, 6, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 24, 33, 105, 106, 119, 129, 130, 131, 133, 134, 135, 136

Primal-Dual 7, 96, 97, 98, 101, 103

Programação 5, 6, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 45, 63, 84, 89, 91, 119, 123, 131, 158

R

Rede Neural Artificial 5, 106, 118, 120, 123, 124

Redes Randômicas 68, 72

Regressão Linear 16, 20, 130

S

Scratch 6, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45

Scrum 5, 59, 60, 61, 66, 67, 138, 141

Simulações Computacionais 5, 68, 70, 76

Sistemas Elétricos de Potência 96, 103

Softwares 38, 60, 63, 139, 148

Sprint 7, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 143, 144

Substituição Sensorial 79, 80, 81, 82, 83, 84, 95

T

Tecnologia 35, 59, 62, 68, 79, 80, 82, 95, 105, 127, 139, 141, 144, 149, 150, 158

Tecnologias Assistivas 80, 81

Twitter 21, 24, 25, 26, 27, 33

TECNOLOGIAS, MÉTODOS E TEORIAS NA ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO 2

www.atenaeditora.com.br 

contato@atenaeditora.com.br 

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

www.facebook.com/atenaeditora.com.br 

Atena
Editora

Ano 2020

TECNOLOGIAS, MÉTODOS E TEORIAS NA ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO 2

www.atenaeditora.com.br 

contato@atenaeditora.com.br 

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

www.facebook.com/atenaeditora.com.br 

 **Atena**
Editora

Ano 2020