

COLEÇÃO
DESAFIOS
DAS
ENGENHARIAS:

ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO 2



ERNANE ROSA MARTINS
(ORGANIZADOR)

 **Atena**
Editora
Ano 2021

COLEÇÃO
DESAFIOS
DAS
ENGENHARIAS:

ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO 2



ERNANE ROSA MARTINS
(ORGANIZADOR)

Atena
Editora
Ano 2021

Editora chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Assistentes editoriais

Natalia Oliveira

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto gráfico

Natália Sandrini de Azevedo

Camila Alves de Cremona

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

Imagens da capa

iStock

Edição de arte

Luiza Alves Batista

Revisão

Os autores

2021 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2021 Os autores

Copyright da Edição © 2021 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena Editora



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição-Não-Comercial-NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

Conselho Editorial

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná

Prof. Dr. Américo Junior Nunes da Silva – Universidade do Estado da Bahia

Profª Drª Andréa Cristina Marques de Araújo – Universidade Fernando Pessoa

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

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

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

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

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano
Prof. Dr. Arinaldo Pereira da Silva – Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás
Profª Drª Carla Cristina Bauermann Brasil – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – Universidade Federal da Grande Dourados
Profª Drª Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia
Prof. Dr. Écio Souza Diniz – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Fágner Cavalcante Patrocínio dos Santos – Universidade Federal do Ceará
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Jael Soares Batista – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Prof. Dr. Jayme Augusto Peres – Universidade Estadual do Centro-Oeste
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Profª Drª Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Profª Drª Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

Ciências Biológicas e da Saúde

Prof. Dr. André Ribeiro da Silva – Universidade de Brasília
Profª Drª Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás
Profª Drª Daniela Reis Joaquim de Freitas – Universidade Federal do Piauí
Profª Drª Débora Luana Ribeiro Pessoa – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Douglas Siqueira de Almeida Chaves – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Profª Drª Elizabeth Cordeiro Fernandes – Faculdade Integrada Medicina
Profª Drª Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília
Profª Drª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina
Profª Drª Eysler Gonçalves Maia Brasil – Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira
Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Profª Drª Fernanda Miguel de Andrade – Universidade Federal de Pernambuco
Prof. Dr. Fernando Mendes – Instituto Politécnico de Coimbra – Escola Superior de Saúde de Coimbra
Profª Drª Gabriela Vieira do Amaral – Universidade de Vassouras
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Helio Franklin Rodrigues de Almeida – Universidade Federal de Rondônia
Profª Drª Iara Lúcia Tescarollo – Universidade São Francisco
Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Jefferson Thiago Souza – Universidade Estadual do Ceará
Prof. Dr. Jesus Rodrigues Lemos – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Jônatas de França Barros – Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof. Dr. Luís Paulo Souza e Souza – Universidade Federal do Amazonas
Profª Drª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Marcus Fernando da Silva Praxedes – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Profª Drª Maria Tatiane Gonçalves Sá – Universidade do Estado do Pará
Profª Drª Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federaci do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Dr. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados
Profª Drª Regiane Luz Carvalho – Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino
Profª Drª Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora
Profª Drª Vanessa da Fontoura Custódio Monteiro – Universidade do Vale do Sapucaí
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Welma Emidio da Silva – Universidade Federal Rural de Pernambuco

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto
Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie
Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás
Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Sidney 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 Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará
Profª Drª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste
Profª Drª Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia

Diagramação: Maria Alice Pinheiro
Correção: Giovanna Sandrini de Azevedo
Indexação: Gabriel Motomu Teshima
Revisão: Os autores
Organizador: Ernane Rosa Martins

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

C691 Coleção desafios das engenharias: engenharia de computação 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 978-65-5983-384-9

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.849211808>

1. Engenharia da computação. I. Martins, Ernane Rosa (Organizador). II. Título.

CDD 621.39

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos - CRB-8/9166

Atena Editora

Ponta Grossa - Paraná - Brasil

Telefone: +55 (42) 3323-5493

www.atenaeditora.com.br

contato@atenaeditora.com.br

DECLARAÇÃO DOS AUTORES

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

DECLARAÇÃO DA EDITORA

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

APRESENTAÇÃO

A Engenharia de Computação é a área que estuda as técnicas, métodos e ferramentas matemáticas, físicas e computacionais para o desenvolvimento de circuitos, dispositivos e sistemas. Esta área tem a matemática e a computação como seus principais pilares. O foco está no desenvolvimento de soluções que envolvam tanto aspectos relacionados ao software, quanto à elétrica/eletrônica. Os profissionais desta área são capazes de atuar principalmente na integração entre software e hardware, tais como: automação industrial e residencial, sistemas embarcados, sistemas paralelos e distribuídos, arquitetura de computadores, robótica, comunicação de dados e processamento digital de sinais.

Dentro deste contexto, esta obra aborda diversos aspectos tecnológicos computacionais, tais como: implementação e modificações numéricas a serem feitas no algoritmo de Anderson (2010) para simular o escoamento sobre uma asa finita submetida a ângulos de ataque próximos ao estol; modelo distribuído para analisar a influência da formação e do adensamento de geadas sobre o desempenho de evaporadores do tipo tubo-aletado, comumente usados em refrigeradores frost-free; um algoritmo de Redes Neurais Convolucionais (CNN) que identifica se a pessoa está ou não utilizando a máscara; potencialidades do M-Learning e Virtual Reality no curso técnico em Agropecuária; avaliação da qualidade da energia elétrica em um sistema de geração de energia fotovoltaica; uma abordagem para a segmentação de imagens cerebrais, utilizando o método baseado em algoritmos genéticos pelo método de múltiplos limiares; estudo numérico de uma âncora torpedo sem aletas cravada em solo isotrópico puramente coesivo, utilizando um modelo axissimétrico não-linear em elementos finitos; estudo acerca da análise numérica de placas retangulares por meio do método das diferenças finitas, obtendo soluções aproximadas para o campo de deslocamentos transversais bem como os correspondentes momentos fletores, para problemas envolvendo uma série de condições de contorno, utilizando-se o software Matlab® para simulação; desenvolvimento e aplicação da Realidade Virtual (RV) como Tecnologia de Informação e Comunicação (TIC) para auxiliar no processo de ensino-aprendizado de disciplinas do Ensino Médio; avaliação dos resultados obtidos em campanhas de medição de qualidade da energia elétrica (QEE) na rede básica em 500 kV; examinar o comportamento mecânico-estático de uma longarina compósita projetada para uma aeronave esportiva leve através de investigações numéricas, empreendidas em software (ANSYS Release 19.2) comercial de elementos finitos; construção de um sistema para monitoramento de ativos públicos; a relação da Sociedade 5.0 envolvida no contexto da Indústria 4.0 e a Transformação Digital; algoritmos de seleção e de classificação de atributos, identificando as vinte principais características que contribuem para o desempenho alto ou baixo dos estudantes; a Mask R-CNN, utilizada para a segmentação de produtos automotivos (parabrisas, faróis, lanternas, para-choques e retrovisores) em uma empresa do ramo de reposição automotiva; o nível de usabilidade do aplicativo protótipo

para dispositivo móvel na área da saúde voltado ao auxílio do monitoramento móvel no uso de medicamentos em seres humanos.

Sendo assim, esta obra é significativa por ser composta por uma gama de trabalhos pertinentes, que permitem aos seus leitores, analisar e discutir diversos assuntos importantes desta área. Por fim, desejamos aos autores, nossos mais sinceros agradecimentos pelas significativas contribuições, e aos nossos leitores, desejamos uma proveitosa leitura, repleta de boas reflexões.

Ernane Rosa Martins


SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

NONLINEAR LIFTING LINE IMPLEMENTATION AND VALIDATION FOR AERODYNAMICS AND STABILITY ANALYSIS

André Rezende Dessimoni Carvalho

Pedro Paulo de Carvalho Brito


 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8492118081>

CAPÍTULO 2..... 11

INFLUÊNCIA DA FORMAÇÃO DE GEADA EM EVAPORADORES DE TUBO ALETADO USANDO UM MODELO DISTRIBUÍDO

Caio Cezar Neves Pimenta

André Luiz Seixlack

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8492118082>

CAPÍTULO 3..... 24


INFLUÊNCIA DO NÚMERO DE SEÇÕES DE CONECTORES NA EFICIÊNCIA DA RUPTURA POR SEÇÃO LÍQUIDA EM CANTONEIRA DE CHAPA DOBRADA

Jéssica Ferreira Borges

Luciano Mendes Bezerra

Francisco Evangelista Jr

Valdeir Francisco de Paula

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8492118083>


CAPÍTULO 4..... 37

INFORMATION THEORY BASED STOCHASTIC HETEROGENEOS MULSTISCALE

Ianyqui Falcão Costa

Liliane de Allan Fonseca

Ézio da Rocha Araújo

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8492118084>

CAPÍTULO 5..... 59

INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL PARA IDENTIFICAR O USO DE MÁSCARA NA PREVENÇÃO DA COVID-19

Roberson Carlos das Graças

Edyene Cely Amaro Oliveira

Guilherme Ribeiro Brandao


Igor Siqueira da Silva

Samara de Jesus Duarte

Samara Lana da Rocha

Hermes Francisco da Cruz Oliveira


Guilherme Henrique Chaves Batista

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8492118085>

CAPÍTULO 6..... 67

ANÁLISE DE DESEMPENHO MECÂNICO DE PLACAS A PARTIR DE MÉTODOS APROXIMADOS


Gabriel de Bessa Spínola
Edmilson Lira Madureira
Eduardo Morais de Medeiros

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8492118086>

CAPÍTULO 7..... 85

M-LEARNING E VIRTUAL REALITY NO ENSINO TÉCNICO DE AGROPECUÁRIA


Gabriel Pinheiro Compto
Jeconias Ferreira dos Santos

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8492118087>

CAPÍTULO 8..... 95

MODELLING AND ANALYSIS OF AEROBOAT JAHU


João B. de Aguiar
Júlio C.S. Sousa
José M. de Aguiar

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8492118088>

CAPÍTULO 9..... 113

MONITORAMENTO DA QUALIDADE DE ENERGIA EM SISTEMA DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICA - ANÁLISE DAS CAMPANHAS DE MEDIÇÃO DE TENSÃO E CORRENTE E CARACTERÍSTICAS DE INJEÇÃO DE HARMÔNICOS DOS SISTEMAS DE BAIXA, MÉDIA E ALTA TENSÃO


Nelson Clodoaldo de Jesus
João Roberto Cogo
Luiz Marlus Duarte
Jesus Daniel de Oliveira
Luis Fernando Ribeiro Ferreira
Éverson Júnior de Mendonça
Leandro Martins Fernandes

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8492118089>

CAPÍTULO 10..... 127

OTIMIZAÇÃO MULTI-LIMAR PARA SEGMENTAÇÃO DE MRI POR ALGORÍTIMO GENÉTICO

Tiago Santos Ferreira
Paulo Fernandes da Silva Júnior
Ewaldo Eder Carvalho Santana
Mauro Sérgio Silva Pinto
Jayne Muniz Fernandes
Ana Flávia Chaves Uchôa
Jarbas Pinto Monteiro Guedes

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.84921180810>

CAPÍTULO 11..... 138

ANÁLISE NUMÉRICA DA CAPACIDADE DE CARGA DE ÂNCORAS TORPEDO CONSIDERANDO EFEITOS DE SETUP

Guilherme Kronemberger Lopes

José Renato Mendes de Sousa

Gilberto Bruno Ellwanger


 <https://doi.org/10.22533/at.ed.84921180811>

CAPÍTULO 12..... 156

ANÁLISE NUMÉRICA DE PLACAS EM ESTRUTURAS AEROESPACIAIS POR DIFERENÇAS FINITAS

Júlio César Fiorin

Reyolando Manoel Lopes Rebello da Fonseca Brasil

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.84921180812>

CAPÍTULO 13..... 172


NUMERICAL SIMULATION OF LABYRINTH SEALS FOR PULSED COMPRESSION REACTORS (PCR)

Hermann Enrique Alcázar Rojas

Briam Rudy Velasquez Coila

Arioston Araújo de Moraes Júnior

Leopoldo Oswaldo Alcázar Rojas

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.84921180813>

CAPÍTULO 14..... 183

PRÁTICAS E CONTROLE DA CORRUPÇÃO NO MERCADO SEGURADOR: UMA PROPOSTA DE DADOS PARA SISTEMAS DE CONTROLE E COMPLIANCE

Lucas Cristiano Ferreira Alves

Melissa Mourão Amaral

Liza Dantas Noguchi

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.84921180814>


CAPÍTULO 15..... 198

PREDICTING EFFECTIVE CONSTITUTIVE CONSTANTS FOR WOVEN-FIBRE COMPOSITE MATERIALS

Jonas Tieppo da Rocha

Tales de Vargas Lisbôa

Rogério José Marczak

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.84921180815>


CAPÍTULO 16..... 210

PREVENTING SPURIOUS ARTIFACTS WITH CONSISTENT INTERPOLATION OF PROPERTIES BETWEEN CELL CENTERS AND VERTICES IN TWO-DIMENSIONAL RECTILINEAR GRIDS

Alexandre Antonio de Oliveira Lopes

Flávio Pereira Nascimento

Francisco Ismael Pinillos Nieto
Túlio Ligneul Santos
Alberto Barbosa Júnior
Luca Pallozzi Lavorante

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.84921180816>

CAPÍTULO 17..... 230

REALIDADE VIRTUAL APLICADA COMO FERRAMENTA DE AUXÍLIO AO ENSINO

Simone Silva Frutuoso de Souza
Everton Welter Correia
Gabrielly Chiquezi Falcão
Leonardo Plaster Silva
Érica Baleroni Pacheco
Fábio Roberto Chavarette
Fernando Parra dos Anjos Lima

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.84921180817>

CAPÍTULO 18..... 245

RESULTADOS DE CAMPANHAS DE MEDIÇÃO DE QUALIDADE DA ENERGIA EM SISTEMAS COM COMPENSADORES ESTÁTICOS DE REATIVOS - ANÁLISE DO IMPACTO DE OUTROS AGENTES NA AMPLIFICAÇÃO DE HARMÔNICOS EM SISTEMA DE 500 kV


Nelson Clodoaldo de Jesus
João Roberto Cogo
Luis Fernando Ribeiro Ferreira
Luiz Marlus Duarte
Éverson Júnior de Mendonça
Leandro Martins Fernandes
Jesus Daniel de Oliveira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.84921180818>

CAPÍTULO 19..... 258

SIMPLIFIED NUMERICAL MODEL FOR ANALYSIS OF STEEL-CONCRETE COMPOSITE BEAMS WITH PARTIAL INTERACTION

Samuel Louzada Simões
Tawany Aparecida de Carvalho
Ígor José Mendes Lemes
Rafael Cesário Barros
Ricardo Azoubel da Mota Silveira


 <https://doi.org/10.22533/at.ed.84921180819>

CAPÍTULO 20..... 266

SIMULAÇÃO DE UMA LONGARINA COMPÓSITA DE UMA AERONAVE ESPORTIVA LEVE

Felipe Silva Lima
Álvaro Barbosa da Rocha
Daniel Sarmento dos Santos

Wanderley Ferreira de Amorim Júnior

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.84921180820>

CAPÍTULO 21.....279

SISTEMA RFID PARA CONTROLE DE ATIVOS PÚBLICOS

João Felipe Fonseca Nascimento

Jislane Silva Santos de Menezes

Jean Louis Silva Santos

Jennysson D. dos Santos Júnior

Luccas Ribeiro Cruz

Jean Carlos Menezes Oliveira

João Marcos Andrade Santos

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.84921180821>

CAPÍTULO 22.....292

SISTEMAS ESTRUTURAIS CONVENCIONAIS E SISTEMAS DE LAJES LISAS EM EDIFÍCIOS DE CONCRETO ARMADO

Pablo Juan Lopes e Silva Santos


Carlos Henrique Leal Viana

Sávio Torres Melo

Rebeka Manuela Lobo Sousa

Tiago Monteiro de Carvalho

Thiago Rodrigues Piauilino Ribeiro

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.84921180822>

CAPÍTULO 23.....303

SOCIEDADE 5.0 CORRELACIONADA COM A INDÚSTRIA 4.0 E A TRANSFORMAÇÃO DIGITAL

Pablo Fernando Lopes

Thiago Silva Souza

Fernando Hadad Zaidan

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.84921180823>

CAPÍTULO 24.....313

TÉCNICA DE DIAGNÓSTICO DE BARRAS QUEBRADAS EM MOTOR DE INDUÇÃO TRIFÁSICO SEM CARGA POR MEIO DA TRANSFORMADA WAVELET

Carlos Eduardo Nascimento

Cesar da Costa

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.84921180824>





CAPÍTULO 25.....332

UNCERTAINTY QUANTIFICATION OF FRACTURE POTENTIAL AT CONCRETE-ROCK INTERFACE

Mariana de Alvarenga Silva

Francisco Evangelista Junior

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.84921180825>

CAPÍTULO 26	342
USANDO MINERAÇÃO DE DADOS PARA IDENTIFICAR FATORES MAIS IMPORTANTES DO ENEM DOS ÚLTIMOS 22 ANOS	
Jacinto José Franco	
Fernanda Luzia de Almeida Miranda	
Davi Stiegler	
Felipe Rodrigues Dantas	
Jacques Duílio Brancher	
Tiago do Carmo Nogueira	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.84921180826	
CAPÍTULO 27	355
ARTIFICIAL INTELLIGENCE USAGE FOR IDENTIFYING AUTOMOTIVE PRODUCTS	
Leandro Moreira Gonzaga	
Gustavo Maia de Almeida	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.84921180827	
CAPÍTULO 28	366
UTILIZAÇÃO DE APLICATIVO PARA DISPOSITIVO MÓVEL PARA ADMINISTRAÇÃO DE MEDICAMENTOS	
Luísa de Castro Guterres	
Allan Rafael da Silva Lima	
Wender Antônio da Silva	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.84921180828	
CAPÍTULO 29	399
VIBRATIONS ANALYSIS UNCOUPLED AND COUPLED FLUID-STRUCTURE BETWEEN SHELL AND ACOUSTIC CAVITY CYLINDRICAL FOR VARIOUS BOUNDARY CONDITIONS	
Davidson de Oliveira França Júnior	
Lineu José Pedroso	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.84921180829	
SOBRE O ORGANIZADOR	410
ÍNDICE REMISSIVO	411

TÉCNICA DE DIAGNÓSTICO DE BARRAS QUEBRADAS EM MOTOR DE INDUÇÃO TRIFÁSICO SEM CARGA POR MEIO DA TRANSFORMADA WAVELET

Data de aceite: 02/08/2021

Data de submissão: 13/04/2021

Carlos Eduardo Nascimento

Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de São Paulo (IFSP)
São Paulo – SP – Brasil

Cesar da Costa

Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de São Paulo (IFSP)
São Paulo – SP – Brasil

RESUMO: Este estudo de caso apresenta dois métodos de diagnóstico para monitoramento e predição de barras quebradas, em motor de indução trifásico com rotor de gaiola de esquilo: método da transformada rápida de Fourier (FFT) e método da transformada Wavelet. O método FFT permite o diagnóstico da barra do rotor quebrada, quando o motor opera sob carga, mas se a máquina for desacoplada da carga mecânica, os componentes da faixa lateral do espectro, associados às barras quebradas não aparecem. O método WT é uma ferramenta poderosa de processamento de sinais usada em sistemas de energia e outras áreas. Os métodos de predição baseados em transformada Wavelet com foco na análise da corrente de partida do motor têm sido propostos para a detecção de barras quebradas. Uma vez que o sinal transiente da corrente do estator não é periódico, não é possível analisar o sinal pelo método FFT. Além disso, é impossível estimar o tempo de ocorrência da falha usando

a transformada FFT. Neste artigo, o principal objetivo é descobrir as vantagens do método da transformada Wavelet em comparação com o método da transformada de Fourier, na detecção de falhas de barra quebradas em rotor de máquinas de indução.

PALAVRAS - CHAVE: Transformada Wavelet, Transformada FFT, Diagnóstico, Motor de Indução, Máquina Elétrica.

DIAGNOSIS TECHNIQUE OF BROKEN BAR IN THREE-PHASE INDUCTION MOTOR NO LOAD THROUGH WAVELET TRANSFORM

ABSTRACT: This case study presents two diagnostic methods for monitoring and predication of broken bars in three phase induction motor with squirrel-cage rotor: fast Fourier transform (FFT) method and Wavelet transform method. The FFT method allows diagnosis broken rotor bar when the motor operates under a load, but if the machine is decoupled from the mechanical load, the side band components associated with broken bars do not appear. The WT method is a powerful signal-processing tool used in power systems and other areas. Wavelet-based prediction methods that are focused on the analysis of the startup current have been proposed for the detection of broken bars. Since the transient stator current signal is not periodic, it is not amenable to analyze the signal by FFT method. In addition, it is impossible to estimate the time of the fault occurrence using the FFT transform. In this paper, our main goal is to find out the advantages of Wavelet transform method compared to Fourier transform method in rotor failure detection of induction machines.

KEYWORDS: Wavelet Transform, FFT Transform, Diagnostic, Induction Motor, Electrical Machine.

1 | INTRODUÇÃO

Os motores de indução com rotor de gaiola de esquilo são amplamente utilizados em muitos processos industriais e desempenham papéis importantes em várias indústrias de transformação (SAPENA-BAÑÓ et al, 2015; DA COSTA et al, 2015). Apesar do baixo custo, do ponto de vista da confiabilidade e robustez, os motores de indução são propensos a falhas devido à sua exposição a uma variedade de ambientes adversos e condições operacionais incorretas ou defeitos de fabricação. Se não forem identificadas a tempo, essas falhas e a deterioração gradual podem levar à interrupção do motor e aumentar o consumo de energia elétrica. Sabe-se que a detecção precoce de falhas em máquinas rotativas de indução pode não apenas minimizar os danos e reduzir o consumo de energia, mas também impedir a propagação de falhas ou limitar sua escalada em termos de gravidade. Portanto, os sistemas de diagnóstico ou monitoramento das condições do motor receberam considerável atenção nos últimos 10 anos (DEHINA et al, 2018; GEORGOULAS et al, 2014; PU et al, 2013). A falha de barras quebradas em rotores de gaiola de esquilo raramente causa danos imediato, especialmente em grandes motores multipolares (velocidade lenta).

A quebra de barras do rotor ocorre, frequentemente, em grandes motores de indução (Fig. 1), que possuem um tempo de partida bastante longo, e a falha deve ser detectada durante este tempo de inicialização. Isso é muito importante quando existem problemas como tração magnética desequilibrada intensa e até a formação de arco voltaico durante a partida do motor sob a falha. Um dos objetivos deste estudo de caso é apresentar um método de monitoração e predição de falhas de barras quebradas, durante o tempo de partida de um motor de indução trifásico, utilizando aquisição de dados e processamento de sinais baseado em ferramentas matemáticas e computacionais.



Fig. 1. Rotor tipo gaiola de esquilo com seis barras quebradas de um motor trifásico de indução.

Este artigo está organizado da seguinte forma: a Seção 1 apresenta uma introdução geral do tema estudado. A Seção 2 fornece uma breve comparação entre a transformada de Fourier e a transformada Wavelet. A Seção 3 apresenta o método de detecção de falhas por análise espectral (FFT). A Seção 4 apresenta o método de detecção de falhas por análise de Wavelet. A seção 5 apresenta a metodologia da pesquisa, os testes experimentais e os resultados com os métodos FFT e Wavelet. Finalmente, a seção VI apresenta a conclusão do trabalho.

2 | TRANSFORMADA DE FOURIER VERSUS TRANSFORMADA DE WAVELET

Os métodos de análise de processamento de sinal baseados em transformada FFT, não podem fornecer uma ferramenta para diagnosticar uma falha durante a partida do motor. A razão é que o processamento baseado em transformada FFT é aplicável em regime permanente do motor e não pode ser aplicado em regime transiente durante a partida do motor, no qual a amplitude e a frequência variam ao longo do tempo (DA COSTA et al, 2015).

Uma abordagem para detecção de falhas no estado transiente do motor, é mover uma janela de tempo curto ao longo do sinal para obter o espectro de Fourier em função da mudança de tempo. Esse método é conhecido como transformada STFT (*Short Time Fourier Transform*) (KAIKAA et al, 2014; KEHTARNAVAZ, 2008).

A transformada STFT, como ilustrado na Fig. 2, divide um sinal $x(t)$, não estacionário, em pequenas janelas de tempo iguais, sinal $g(t)$. A Transformada de Fourier é então aplicada ao segmento de tempo (janela) que está sendo examinada. À medida que a largura ou a função da janela diminui, uma porção menor do sinal é considerada, garantindo uma maior localização no tempo das componentes de frequência do sinal. À medida que a função da janela aumenta, informações mais precisas sobre as frequências dentro da janela aumentam, mas a capacidade de determinar o tempo em que esses transitórios ocorrem no sinal é perdida. A visualização da transformada STFT geralmente é realizada por meio de seu espectrograma, que é um gráfico de intensidade da STFT (KEHTARNAVAZ, 2008).

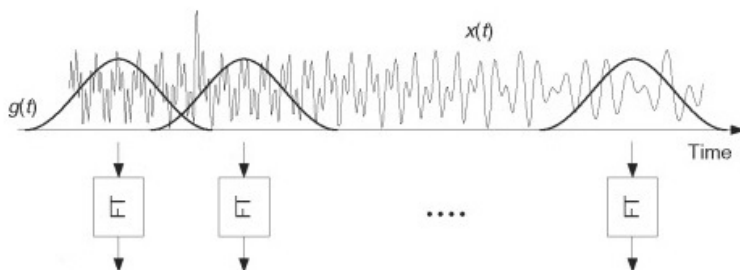


Fig. 2. Transformada de Fourier de curta duração.

O uso do processamento baseado em transformada Wavelet (WT) pode resolver os problemas de detecção de falhas em sinais transiente durante a partida do motor de indução trifásico, onde as amplitudes e frequências variam e, um comportamento mais preciso da análise do sinal pode ser obtido (GARVANOV et al, 2019; SHAO et al 2014). A transformada WT é uma poderosa ferramenta matemática de processamento de sinal usada em sistemas de energia e outras áreas. A transformada WT, como a transformada STFT, permitem a localização no tempo de diferentes componentes de frequência de um determinado sinal, no entanto, com uma diferença importante: a transformada STFT usa uma função de janelas de largura fixa. Como resultado, a resolução de frequência e tempo da transformação resultante será fixa, mas no caso da transformada WT, as funções de análise, chamadas *wavelets*, ajustarão suas larguras de tempo à frequência de maneira que, *wavelets* de frequências mais altas serão muito estreitas e as de menor frequência serão mais amplas. Portanto, em contraste com a transformada STFT, a transformada WT pode isolar no tempo as componentes do sinal transitório em altas e baixas frequências (KRUGLOVA, 2016; ATHULYA, 2018).

3 I ANÁLISE POR TRANSFORMADA RÁPIDA DE FOURIER

A transformada de Fourier (FT) define que uma forma de onda periódica no domínio do tempo pode ser representada por uma soma ponderada de senos e cossenos. A mesma forma de onda pode então ser representada no domínio da frequência como um par amplitude-fase para cada componente de frequência. O espectro de frequência de um sinal é basicamente os componentes de frequência (componentes espectrais) desse sinal. A análise espectral refere-se à representação dos sinais de corrente no domínio da frequência. A análise espectral da corrente do estator usando a transformada rápida de Fourier (FFT) é aplicada no diagnóstico de barras quebradas do rotor. De acordo com Sakhalkar et al (2017) e Thakur et al (2019), em um motor de indução trifásico com rotor de gaiola de esquilo, as barras do rotor quebram ou racham na terminação do anel do rotor, perturbando o fluxo magnético, a frequência do rotor e alterando o espectro de corrente do estator. Vários trabalhos como Da Costa (2015) e Dehina et al (2018) usaram a transformada rápida de Fourier (FFT) para análise espectral da corrente do estator para diagnosticar barras quebradas do rotor. A partir desses trabalhos, falhas de barras quebradas do rotor podem ser detectadas no espectro de corrente do estator.

3.1 Processamento do Sinal de Corrente do Motor

Na operação normal de um motor de indução, a frequência da corrente induzida no rotor é igual a sf_0 . Onde f_0 é a frequência da rede de alimentação do motor e s é o seu escorregamento descrito pela Eq. 1.

$$s = (n_s - n) / n_s \quad (1)$$

Onde:

n_s é a velocidade síncrona do motor;

n é a velocidade do rotor.

A corrente de indução gera um campo magnético girante a favor da velocidade em relação ao rotor. Se o rotor tem uma barra quebrada, a corrente induzida passa a ter duas componentes de frequência $\pm sf_0$, que geram um campo magnético a favor e outro contrário a velocidade em relação ao rotor.

Esta condição anormal de falha no rotor induz uma corrente no enrolamento do estator definida pela Eq. 2.

$$f_{bb} = (1 \pm 2s)f_0 \quad (2)$$

Onde:

$f_{lsb} = (1 - 2s)f_0$ é a frequência da banda lateral inferior causada pela falha de barra quebrada;

$f_{usb} = (1 + 2s)f_0$ é a frequência da banda lateral superior causada pela oscilação da velocidade.

Os métodos mais comuns de diagnóstico e predição de falhas de rotor são baseados no processamento do sinal de corrente do estator em estado estacionário. Esse método é chamado de análise da assinatura da corrente do motor (MCSA) (SAKHALKAR et al, 2017; GEORGOULAS et al 2014). Tradicionalmente, o método MCSA tem sido utilizado para detecção de falhas elétricas e mecânicas em motores de indução. Por muitos anos esta análise tem sido implementada utilizando ferramentas matemáticas e capacidade computacional limitada (KEHTARNAVAZ et al, 2008). Uma transformada rápida de Fourier (FFT) calcula o espectro do sinal para determinar as bandas laterais superior e inferior específica do tipo de falha. A Fig. 3 exemplifica o espectro da corrente do estator para um motor saudável com carga. Observa-se que a frequência correspondente a banda lateral inferior $f_{lsb} = (1 - 2s)f_0$, causada pela falha de barra quebrada, possui uma amplitude muito baixa de -80 dB, indicando um motor saudável.

A Fig. 4 apresenta o espectro da corrente do estator para o motor com carga, com uma falha de barra quebrada. Pode-se verificar que a frequência correspondente a banda lateral inferior, possui uma amplitude de -40 dB, muito mais elevada que o exemplo anterior de -80 dB, que caracteriza o início de uma falha de barras quebradas (DA COSTA et al, 2015).

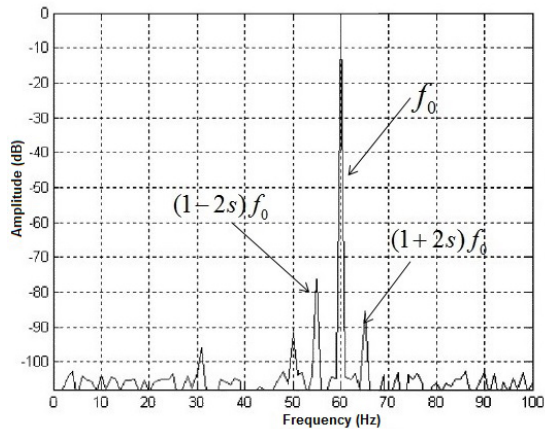


Fig. 3. Espectro de corrente de um motor saudável com carga.

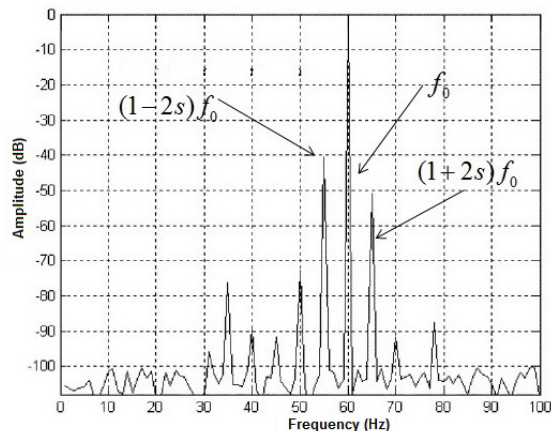


Fig. 4. Espectro de corrente de um motor com falha de barra quebrada, com carga.

Quando o motor de indução opera sem carga, o escorregamento s varia entre zero e valores muito baixos. Analisando-se a Equação 2 e observando-se as Figuras 1 e 2 pode-se concluir, que uma abordagem baseada em transformada rápida de Fourier (FFT), análise da assinatura da corrente do motor (MCSA), não deve ser aplicada em um motor sem carga, uma vez que as frequências de bandas laterais superior $f_{usb} = (1+2s)f_0$ e inferior $f_{lsb} = (1-2s)f_0$ tendem a ficar sobrepostas a frequência f_0 , fundamental da rede de alimentação do motor, que torna difícil o diagnóstico da falha.

4 | ANÁLISE POR TRANSFORMADA DE WAVELET

A Transformada Wavelet foi aplicada em vários ramos da ciência devido à sua característica peculiar de detalhar pontos específicos de um sinal (FUPING et al, 2014;

DAYA et al, 2015). Em aplicações em que é necessária uma análise de frequência de alta precisão como em corrente transitória, partida do motor de indução, o método tradicional de transformada rápida de Fourier não produz resultados satisfatórios e não possui a capacidade de detalhar regiões de interesse do sinal. Em termos de métodos para detectar barras quebradas em um rotor de gaiola de esquilo, as *wavelets* são muito eficazes. Exemplos mais recentes sobre a aplicação de *wavelets* na detecção da condição de um motor de indução podem ser encontrados em (DEHINA et al, 2018; GARVANOV et al, 2019; BELKHOU et al, 2019).

4.1 Processamento do Sinal por Wavelet

A transformada Wavelet contínua (CWT) foi desenvolvida como uma abordagem alternativa a transformada STFT, para superar seu problema de resolução. A análise da transformada Wavelet é feita de maneira semelhante à análise STFT, no sentido de que o sinal é multiplicado por uma função *wavelet*, semelhante à função janela no STFT, e a transformada é calculada separadamente para diferentes segmentos do sinal no domínio do tempo. A transformada Wavelet contínua é definida pela Eq. 3.

$$W(a, b) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \psi^* \left(\frac{t-b}{a} \right) dt \quad (3)$$

Onde:

$\psi(t)$ é a função de transformação, também chamada de wavelet mãe;

b é o parâmetro de translação;

a é o parâmetro de escala.

O parâmetro translação é usado no mesmo sentido em que foi utilizado na transformada STFT; está relacionado à localização da janela, pois a janela é deslocada através do sinal. O parâmetro escala na análise da *wavelet* é semelhante à escala usada nos mapas. Escalas altas correspondem a uma visão global não detalhada do sinal e escalas baixas correspondem a uma visão detalhada do sinal. Da mesma forma, em termos de frequência, as baixas frequências (altas escalas) correspondem a uma informação global de um sinal, enquanto as altas frequências (baixas escalas) correspondem a uma informação detalhada de um padrão oculto no sinal, que geralmente dura um tempo relativamente curto (BHONGADE et al, 2016).

Para a transformada Wavelet discreta (DWT), a ideia principal é a mesma do caso da transformada contínua (CWT). Entretanto, a DWT é mais simples de processar e mais rápida de implementar em processadores DSP. Uma representação em escala de tempo de um sinal digital pode ser obtida usando técnicas de filtragem digital. Filtros de diferentes frequências de corte são usados para analisar o sinal em diferentes escalas. O sinal é processado através de uma série de filtros passa-alta para analisar as altas frequências e, é processado através de uma série de filtros passa-baixa para analisar as baixas frequências (BOLSHUNOVA et al, 2016; BOSONIC et al, 2017; ABDELEMAM et

al, 2017; KECHIDA et al, 2015). A transformada DWT analisa um sinal S em diferentes bandas de frequência com diferentes resoluções, decompondo o sinal em informações aproximadas a_j e informações detalhadas d_j . A transformada DWT emprega dois conjuntos de funções, chamadas funções de escala e funções wavelet, que estão associadas aos filtros passa-baixa e passa-alta, respectivamente. Isso significa que a aproximação contém as informações de baixa frequência do sinal original e os detalhes contêm as informações de alta frequência. A decomposição do sinal em diferentes bandas de frequência (Fig. 5), também conhecida como análise multiresolução (MRA), é obtida por sucessivas filtrações passa alta e passa baixa do sinal no domínio do tempo.

4.2 Algoritmo Para Detecção De Banda Lateral Pelo Método Transformada Wavelet

De acordo com Da Costa et al (2015), a decomposição DWT em n níveis de um sinal $i_s = (i_1, i_2, i_3, \dots, i_q)$, consiste em um processo de filtragem digital com $n+1$ estágios. O sinal é processado através de n filtros passa-alta e passa-baixa. Como resultado desse processo de múltipla filtragem são obtidos n vetores de coeficientes de detalhe $\beta^j = \beta_i^j$ (onde j é o nível da decomposição), e vetores de coeficiente de aproximação $a^n = a^n_i$.

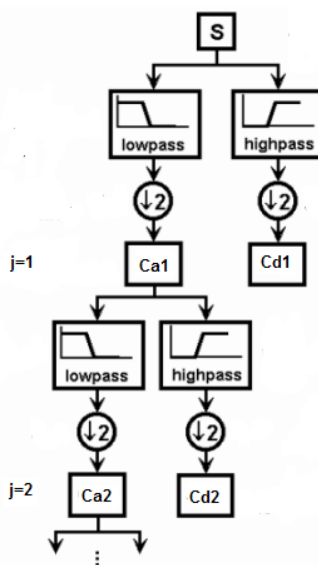


Fig. 5. Decomposição de um sinal pela transformada DWT.

O processo para obter a transformada DWT é realizado usando um algoritmo recursivo de alta eficiência computacional denominado como “algoritmo de *Mallat*” ou algoritmo piramidal. A partir desses coeficientes, o sinal pode ser reconstruído usando a transformada inversa. O sinal reconstruído consiste na soma de n sinais de detalhe (d) e

um sinal de aproximação (a), cada um contendo o mesmo número de amostras (q) como o sinal original (i_s), conforme a Eq. 4.

$$i_s(t) = d_1 + d_2 + \dots + d_n + a_n \quad (4)$$

Se houver uma barra quebrada a componente harmônica da banda lateral esquerda terá uma amplitude significativa, durante todo o processo de partida do motor de indução; porque sua frequência está sempre abaixo de f_0 , frequência da rede de alimentação do motor. Isso causa um aumento significativo na energia do sinal de aproximação (a_n), durante o processo de partida do motor (DA COSTA et al, 2015). Portanto, o nível de decomposição do sinal de aproximação, que inclui a componente harmônica da banda lateral esquerda é dado pela Eq. 5.

$$n_f = \text{integer}\left[\frac{\log(f_s / f_0)}{\log(2)}\right] \quad (5)$$

Onde:

f_s é a frequência de amostragem do sinal;

f_0 é a frequência da rede de alimentação do motor.

5 | METODOLOGIA DE PESQUISA

A pesquisa experimental foi conduzida por dois diferentes casos. Os materiais utilizados para validar os métodos discutidos na teoria foram: (i) motor de indução trifásico de 4 polos, 60 Hz, 0.5 CV, 220/380 V (tensão nominal) e 1750 rpm (velocidade nominal); (ii) sensor de corrente; (iii) dispositivo de aquisição de dados DAQ; (iv) tacogerador digital; (v) microcomputador PC e, (vi) software MATLAB. A Fig. 6 apresenta a bancada experimental. A carga (*load*) utilizada nos ensaios foi uma máquina DC de 1,8 kW com uma velocidade nominal de 1800 rpm.

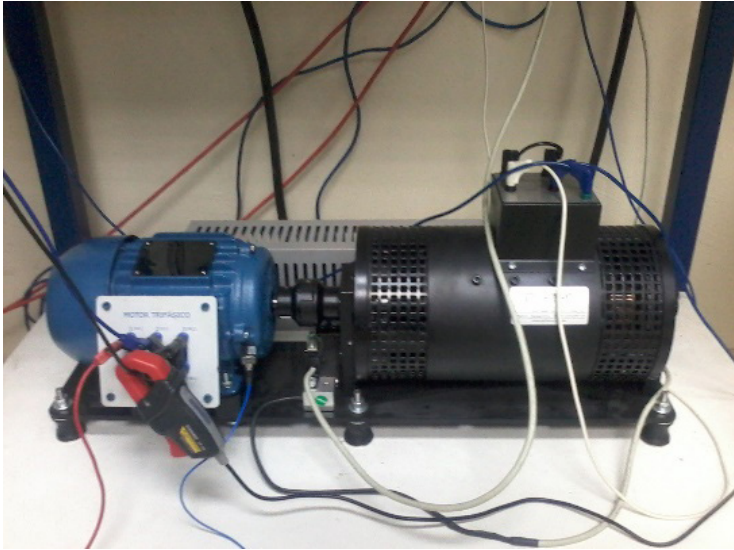


Fig. 6. Bancada experimental para teste de motor.

A falha de barras quebradas foi produzida artificialmente em laboratório, abrindo o motor e perfurando orifícios em diferentes partes das barras de seu rotor (Fig. 7).



Fig. 7. Rotor com falha de barra quebrada simulada.

5.1 Caso N.0 1 – Análise por Transformada de Fourier

Vários testes sob diferentes cargas para rotores saudáveis e rotores defeituosos com barras quebradas foram realizados em estado estacionário do motor. Em cada caso a corrente do estator foi adquirida por um sensor de corrente e um dispositivo DAQ (*Data Acquisition*). Um algoritmo foi desenvolvido no software MATLAB para processar o sinal de corrente do motor em teste, baseado na transformada rápida de Fourier (FFT). A taxa de amostragem definida foi de 2 kHz, 4000 amostras e resolução de frequência igual a 0,5 Hz.

5.1.1 Análise por Transformada de Fourier – Motor Saudavel com Carga

A Fig. 8 apresenta o espectro da corrente do estator obtida no teste com um motor saudável a 90% da carga nominal e a velocidade igual a 1745 rpm. As componentes de frequência de falha f'_{lsb} (banda lateral inferior) é igual a 56 Hz e a frequência f'_{usb} (banda lateral superior) é igual a 64 Hz. A amplitude de frequência f'_{lsb} é 55 dB mais baixa que a amplitude da frequência da rede (60 Hz) e a amplitude da frequência f'_{usb} é 70 dB mais baixa. Amplitudes que de acordo com a teoria indicam um motor saudável.

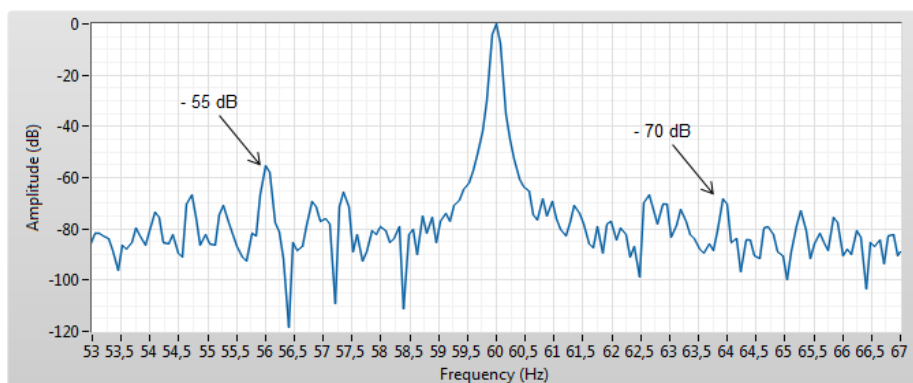


Fig. 8. Espectro da corrente do estator para o motor saudável com carga.

5.1.2 Análise por Transformada de Fourier – Motor com Barras Quebradas com Carga

A Fig. 9 apresenta o espectro da corrente do estator obtido no teste com um motor com falha de barras quebradas a 90% da carga nominal e a velocidade igual a 1745 rpm. A componente de frequência de falha f'_{lsb} é igual a 56,40 Hz e a frequência f'_{usb} é igual a 63,60 Hz. A amplitude de f'_{lsb} é 35 dB mais baixa que a amplitude da frequência da rede (60 Hz) e a amplitude de f'_{usb} é 40 dB mais baixa. Amplitudes que indicam a presença de barras quebradas no rotor.

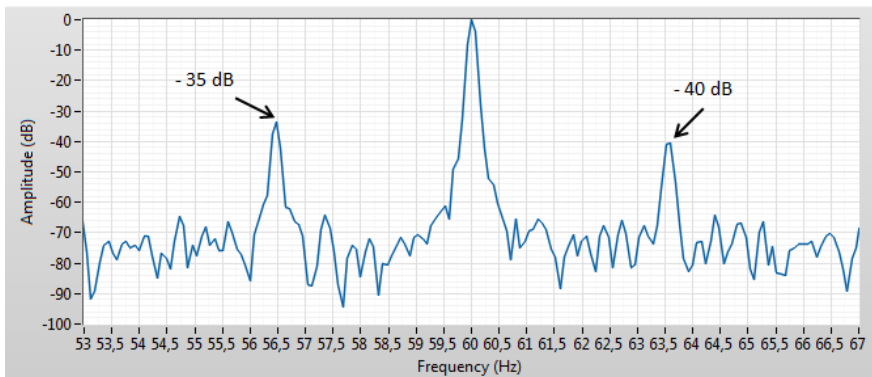


Fig. 9. Espectro da corrente do estator para o motor com falha de barras quebradas com carga

5.1.3 Análise por Transformada de Fourier – Motor com Barras Quebradas sem Carga

A Fig. 10 apresenta o espectro da corrente do estator, com diversas barras quebradas do rotor, motor sem carga, a 0% da carga nominal e a velocidade igual a 1745 rpm. Como o escorregamento s é muito baixo, as componentes harmônicas das bandas laterais superior $(1 + 2s) \cdot f_0$ e inferior $(1 - 2s) \cdot f_0$ no espectro de frequência, não são visíveis, pois se sobrepõem à frequência fundamental f_0 . Portanto, a análise do espectro resultante não permite a detecção da condição de falha de barras quebradas do rotor, no estado estacionário, sem carga.

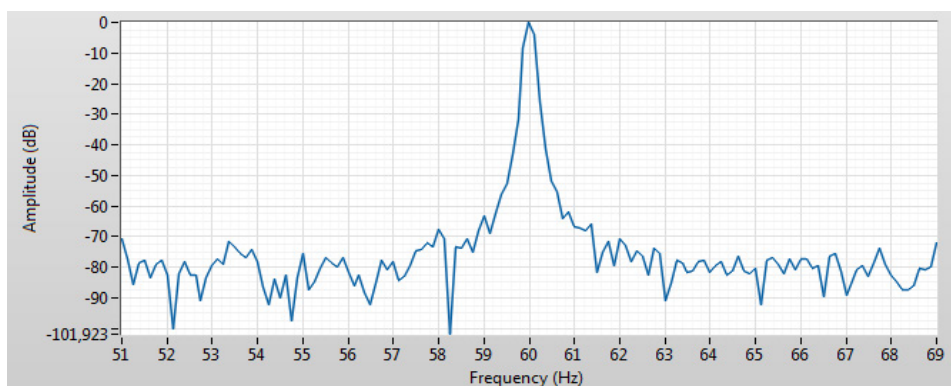


Fig. 10. Espectro da corrente do estator para o motor com falha de várias barras quebradas sem carga.

5.2 Caso N.0 2 – Análise por Transformada Wavelet

Um algoritmo foi desenvolvido no software MATLAB para implementar a decomposição do sinal de corrente do estator em diferentes bandas de frequência, algoritmo

também conhecido como análise multi-resolução (MRA) baseado na transformada Wavelet. A corrente do estator foi adquirida durante o tempo de partida do motor, estado transiente, operando inicialmente a 90% da carga nominal. A frequência de amostragem usada para capturar o sinal foi de 5000 amostras / segundo. O sinal de aproximação com 8 níveis de decomposição foi obtido para localizar a frequência de falha f'_{lb} (banda lateral inferior). A Tabela 1 mostra as bandas de frequência correspondentes aos sinais de *wavelets* de alta ordem resultantes da análise, de acordo com a taxa de amostragem (5000 amostras/seg) usada para os testes.

TABELA I

J0	Fs = 5000 Hz (0-2500 Hz)			
J1	0-1250 Hz			
J2	0-625 Hz	625-1250 Hz		
J3	0-312,50 Hz	312,5-625 Hz		
J4	0-156,25 Hz	156,25-312,5 Hz		
J5	0-78,12 Hz	78,12-156,25 Hz		
J6	0-39,06 Hz	39,06-78,12 Hz		
J7	0-19,53 Hz	19,53-39,06 Hz	39,06-58,59 Hz	58,59-78,12 Hz
J8	0-9,76 Hz	9,76-19,53 Hz	19,53-29,30 Hz	29,30-39,06 Hz
	A8	D8	D7	D6

5.2.1 Transformada Dwt – Motor Saudável com Carga

A Transformada discreta DWT do sinal da corrente do estator foi obtida usando-se a Toolbox Wavelet do software MATLAB, associada a Wavelet mãe Daubechies-44. A Fig. 11 apresenta os gráficos da corrente de partida do estator com a transformada DWT em 8 níveis, motor saudável com carga. Pode-se observar que os sinais de nível A8 (aproximação), D8 e D7 (detalhes) não apresentam variação significativas, além das oscilações iniciais que duram apenas alguns ciclos. A partir dos gráficos pode-se concluir que a frequência f'_{lb} (banda lateral inferior) de 56,4 Hz, associada a falha de barras quebradas, não apresenta alterações significativas.

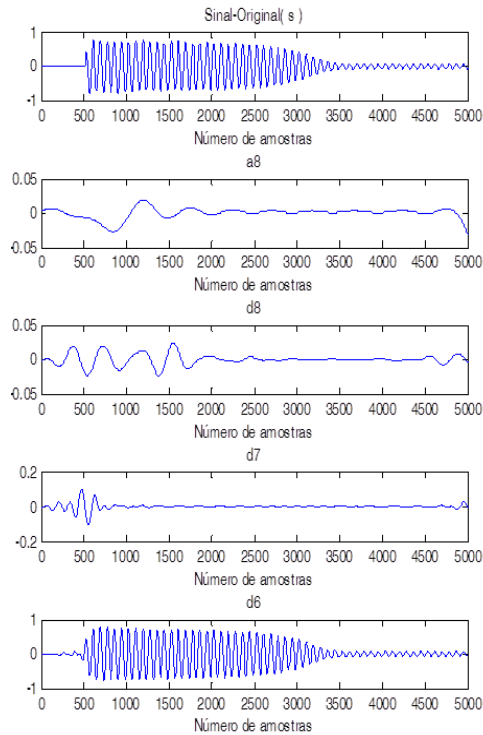


Fig. 11. Transformada DWT do sinal da corrente de partida, motor saudável com carga.

5.2.2 Transformada Dwt – Motor com Barras Quebradas com Carga

A Fig. 12 apresenta os gráficos da corrente de partida do motor com a transformada DWT em 8 níveis, motor com duas barras quebradas, com carga. Como mostrado na figura, um aumento significativo em relação ao caso do motor saudável, aparece na energia dos sinais de nível D8 e D7 (detalhes). As oscilações nesses sinais são devidas à evolução da componente de frequência de falha f_{lsb} (banda lateral inferior), durante a partida do motor. Essas oscilações seguem uma sequência que está de acordo com a evolução da componente da frequência f_{lsb} de 56,4 Hz, pelo método baseado na transformada FFT. A partir dessa análise pode-se concluir que os dois métodos estudados informam sobre a presença de barras quebradas do rotor na máquina com carga.

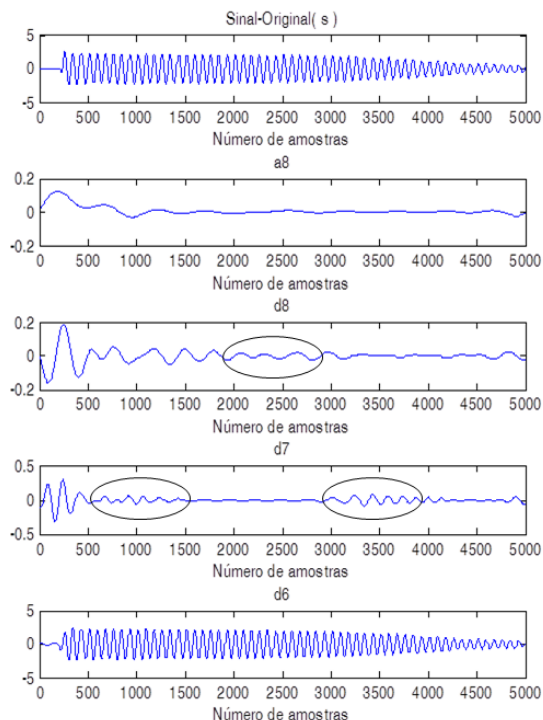


Fig. 12. Transformada DWT do sinal da corrente de partida, motor com barras quebradas com carga.

5.2.3 Transformada Dwt – Motor com Barras Quebradas sem Carga

A Fig. 13 apresenta os gráficos da corrente de partida do motor com a transformada DWT em 8 níveis, motor com duas barras quebradas, sem carga. Nesse caso, a aplicação do método clássico MCSA, com base na transformada FFT, não é válido como apresentado na Fig. 10, pois o escorregamento é muito baixo. No entanto, como pode-se observar na Fig. 13, a transformada DWT sinaliza nos níveis de detalhes D8 e D7 da corrente de partida, um claro aumento de energia, se comparado ao gráfico do motor saudável. Além disso, suas oscilações indicam a evolução da frequência de falha f'_{lb} (banda lateral inferior) de barras quebradas do rotor (56,4 Hz). Assim, neste caso, motor sem carga, as informações fornecidas pelo método da transformada DWT podem complementar as informações fornecidas pela abordagem clássica MCSA, para alcançar uma detecção mais precisa. Este caso é um exemplo da validade da abordagem em um caso em que o método da transformada FFT clássico não é adequado para ser aplicado.

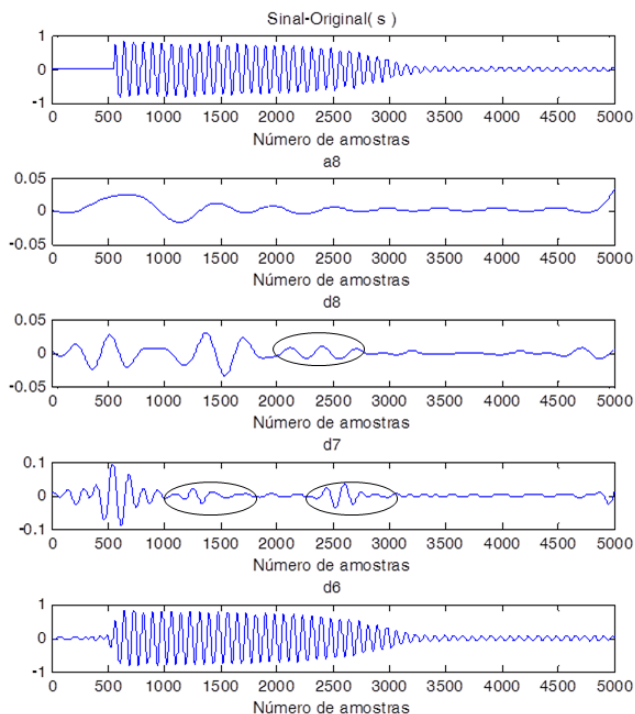


Fig. 13. Transformada DWT do sinal da corrente de partida, motor com barras quebradas sem carga.

6 | CONCLUSOES

Este estudo de caso apresenta uma abordagem teórica e experimental de duas ferramentas matemáticas: transformada FFT e transformada Wavelet, aplicadas no diagnóstico e previsão de falhas de barras quebradas, em rotor tipo gaiola de esquilo de motores trifásicos de indução.

O primeiro caso utiliza o método baseado na transformada FFT, que permite a detecção clássica de barras quebradas, por meio da análise do espectro de frequência do sinal da corrente de estator, no estado estacionário do motor. O monitoramento e a previsão de falhas são obtidos, por meio do estudo das duas componentes da banda lateral (inferior e superior), que aparecem no espectro da corrente ao redor da componente de frequência fundamental da rede elétrica, que alimenta o motor. Essa abordagem clássica apresenta vantagens importantes, como a simplicidade dos sistemas de aquisição de dados e o software necessário, além da robustez, que em alguns casos tem fornecido resultados satisfatórios. No entanto, em máquinas de indução sem carga, por exemplo, o escorregamento é muito baixo e as componentes da banda lateral do espectro de frequência, praticamente se sobrepõem à frequência fundamental de alimentação da máquina. Isso torna difícil detectar a falha.

O segundo caso é baseado no uso da transformada de Wavelet (DWT). Essa técnica permite a decomposição de um sinal de corrente do estator, em diferentes componentes de frequência, permitindo o estudo de cada componente separadamente em sua escala correspondente. Uma vantagem da transformada de Wavelet durante a decomposição do sinal é que ela permite ao usuário, analisar as informações contidas em um sinal transitório, ou seja durante a partida do motor, em diferentes resoluções de tempo-frequência.

O método baseado na transformada DWT pode ser considerado como uma complementação do método baseado na transformada FFT tradicional, em estados não estacionários da máquina de indução. Esse método de detecção pode ser considerado representativo de uma nova tendência, para chegar a um diagnóstico em alguns casos em que o método FFT convencional não funciona adequadamente, como em um motor sem carga, por exemplo.

REFERÊNCIAS

- ABDELEMAM, M. M.; EI-RIFAIE, A. M. and MOUSSA, S. M. **“Discrete wavelet transform based protection for a wind farm double fed induction generator,”** *2017 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2017 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC / I&CPS Europe)*, pp. 1-6, Milan, 2017.
- ATHULYA, K. **“Inter Turn Fault Diagnosis in Wound Rotor Induction Machine Using Wavelet Transform,”** *2018 International CET Conference on Control, Communication, and Computing (IC4)*, pp. 22-27, Índia, 2018.
- BELKHOUB, A.; ACHMAMAD, A. and JBARI, A. **“Classification and Diagnosis of Myopathy EMG Signals Using the Continuous Wavelet Transform,”** *2019 Scientific Meeting on Electrical-Electronics & Biomedical Engineering and Computer Science (EBBT)*, pp. 1-4, Istanbul, Turkey, 2019.
- BHONGADE, S. and S. GOLHANI, S. **“HIF detection using wavelet transform, travelling wave and support vector machine,”** *2016 International Conference on Electrical Power and Energy Systems (ICEPES)*, pp. 151-156, Bhopal, 2016.
- BOLSHUNOVA, O.; KAMYSHIAN, A.; and BOLSHUNOV, A. **“Diagnostics of electric motors technical condition using wavelet analysis,”** *2016 2nd International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM)*, pp. 1-4, Chelyabinsk, 2016.
- BOSONIC, J. A.; PETROVIC, G.; PUTNIK, A. and MOSTARAC, P. **“Power quality disturbance classification based on wavelet transform and support vector machine,”** *2017 11th International Conference on Measurement*, pp. 9-13, Smolenice, 2017.
- DA COSTA, C.; KASHIWAGI, M.; MATHIAS, M. H. **“Rotor failure detection of induction motors by wavelet transform and Fourier transform in non-stationary condition,”** *Case Studies in Mechanical Systems and Signal Processing*, vol. 1, pp. 15-26, July 2015.
- DAYA, J. L. F.; SANJEEVIKUMAR, P.; BLAABJERG, F.; WHEELER, P. W. and OJO, J. O., **“Implementation of Wavelet-Based Robust Differential Control for Electric Vehicle Application,”** *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 30, no. 12, pp. 6510-6513, Dec. 2015.

DEHINA, W.; BOUMEHRAZ, M.; and KRATZ, F. **“Diagnosis of Rotor and Stator Faults by Fast Fourier Transform and Discrete Wavelet in Induction Machine,”** *2018 International Conference on Electrical Sciences and Technologies in Maghreb (CISTEM)*, pp. 1-6, Algiers, Algeria, 2018.

FUPING, Z.; RONGMEI, L.; BEI, H. and YAN, H. **“An electrical energy meter for electric vehicle charging machines based on FFT and wavelet analysis,”** *2014 International Symposium on Fundamentals of Electrical Engineering (ISFEE)*, pp. 1-5, Bucharest, 2014.

GARVANOV, I.; IYINBOR, R.; GARVANOVA, M.; and GESHEV, N. **“Denoising of Pulsar Signal Using Wavelet Transform,”** *2019 16th Conference on Electrical Machines, Drives and Power Systems (ELMA)*, pp. 1-4, Varna, Bulgaria, 2019.

GEORGOULAS, G.; TSOUMAS, I. P.; DAVIU, J. A. A.; ALARCON, V. C. **“Automatic pattern identification based on the complex empirical mode decomposition of the startup current for detection of rotor asymmetries in asynchronous machines”**, *Industrial Electronics, IEEE Transactions on*, Vol. 61, No 9, pp. 4937-4946, 2014.

KAIKAA, M. Y.; HADIAMI, M. **“Effects of the simultaneous of static eccentricity and broken rotor bars on the stator current of induction machine”**, *Industrial Electronics, IEEE Transactions on*, Vol. 61, No 5, pp. 2452-2463, 2014.

KECHIDA, R.; MENACER, A. TALHAOU, H. and CHERIF, H. **“Discrete wavelet transform for stator fault detection in induction motors,”** *2015 IEEE 10th International Symposium on Diagnostics for Electrical Machines, Power Electronics and Drives (SDEMPED)*, pp. 104-109, Guarda, Portugal, 2015.

KEHTARNAVAZ, N. **“Digital Signal Processing System Design - LabVIEW-Based Hybrid Programming”**, 2nd Edition, Elsevier, 2008. ISBN: 978-0-12-374490-6.

KRUGLOVA, T. N. **“Wavelet analysis for fault diagnosis of electrical machines using current signals,”** *2016 2nd International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM)*, pp. 1-5, Chelyabinsk, 2016.

PU, S.; ZHENG, C.; YURIY, V.; ZOUBIR, Z. **“A new detection of broken rotor bar fault extent in three phase squirrel cage induction motor,”** *Mechanical Systems and Signal Processing*, Vol. 42, pp. 388–403, 2013.

SAKHALKAR, N. P., and KORDE, P. **“Fault detection in induction motors based on motor current signature analysis and accelerometer,”** *2017 International Conference on Energy, Communication, Data Analytics and Soft Computing (ICECDS)*, pp. 363-367, Chennai, 2017.

SAPENA-BANO, A.; PINEDO-SANCHEZ, M.; PUCHE-PANADERO, R.; MARTINEZ-ROMAN, J.; and MATIC, D. **“Fault Diagnosis of Rotating Electrical Machines in Transient Regime Using a Single Stator Current’s FFT,”** *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, vol. 64, no. 11, pp. 3137-3146, Nov. 2015.

SHAO, R.; HU, W.; WANG, Y.; and QI, X. **“The fault feature extraction and classification of gear using principal component analysis and kernel principal component analysis based on the wavelet packet transform”**, *Measurement*, Vol. 54, pp. 118-132, 2014.

THAKUR, A.; WADHWANI, S.; WADHWANI, A. K. "**Motor current signature analysis as a tool for induction machine fault diagnosis**". International Journal of Computer Science and Information Technology. Research: 2015. Disponível em: <www.researchpublish.com>. Acesso em: 11 abr. 2019.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Algoritmo 9, 59, 60, 62, 63, 64, 65, 66, 127, 172, 211, 320, 323, 324, 343, 350, 355, 370

Algoritmos de seleção 9, 342, 343, 347, 348, 353

ANSYS 9, 172, 173, 176, 177, 178, 180, 181, 204, 208, 266, 267, 272, 273, 399, 401

Aplicativo 9, 16, 65, 88, 89, 90, 92, 93, 273, 366, 368, 369, 370, 371, 372, 373, 374, 375, 376, 377, 381, 384, 385, 386, 387, 388, 389, 390, 391, 392, 393, 394, 395

Aprendizado 9, 59, 60, 63, 64, 65, 66, 87, 230, 232, 233, 235, 240, 242, 244, 281, 290

Artificial Intelligence 16, 60, 354, 355

B

Blender 231, 236, 237

C

Classificação 9, 342, 343, 344, 345, 346, 347, 348, 349, 350, 351, 352, 353, 384

Computational Vision 355, 356

Comunicação 9, 85, 94, 95, 194, 230, 231, 232, 242, 243, 281, 283, 286, 304, 306, 307, 367, 384, 395

Coronavírus 59, 60, 65

Covid-19 11, 59, 60, 62, 65

D

Desempenho 9, 12, 11, 12, 13, 14, 19, 23, 62, 67, 113, 114, 173, 186, 257, 267, 310, 342, 343, 345, 346, 350, 352, 353, 354, 367, 370, 373, 374, 389

Diagnóstico 15, 127, 313, 314, 316, 317, 318, 328, 329, 371

Diagramas 115, 283, 284, 371, 372

Dispositivo Móvel 10, 16, 366, 368, 370, 371

E

Educação 24, 85, 86, 87, 88, 93, 94, 230, 232, 233, 235, 240, 241, 242, 243, 244, 279, 292, 303, 313, 342, 351, 353, 354, 369, 410

Enem 16, 342, 343, 344, 345, 347, 348, 350, 351, 353, 354

Energia Elétrica 9, 113, 114, 116, 126, 245, 257, 314

Ensino 9, 12, 14, 85, 86, 87, 89, 90, 92, 93, 95, 230, 231, 232, 233, 235, 236, 239, 240, 241, 242, 243, 244, 281, 292, 342, 343, 351, 352, 353, 354

Equações 11, 13, 14, 15, 17, 18, 19, 22, 24, 25, 26, 27, 29, 33, 34, 37, 95, 399

Estruturação de dados 194

F

Finite Differences 38, 156, 157, 158, 159, 160, 162, 163, 165, 169, 170, 171

Fracture Mechanics 332, 334, 341

G

Genetic Algorithm 128, 129, 130, 132, 133, 136, 137, 172, 180

Geração Fotovoltaica 12, 113, 115, 124, 125

I

Image Processing 128, 130, 136, 356, 364

Indústria 4.0 9, 15, 303, 304, 305, 306, 308, 309, 310, 312

Informação 9, 37, 85, 86, 92, 94, 188, 195, 196, 230, 231, 232, 233, 242, 243, 280, 281, 282, 283, 304, 308, 319, 351, 366, 367, 368, 371, 395, 396, 410

Inteligência Artificial 11, 59, 304, 307, 308, 355, 356

Interface 51, 144, 146, 150, 152, 232, 235, 236, 239, 283, 284, 286, 332, 333, 334, 341, 369, 372, 376, 384, 385, 386, 397

Interpolation 13, 1, 4, 101, 102, 103, 178, 210, 215, 216, 217, 218, 221, 227

L

Labyrinth Seals 13, 172, 174, 176, 179, 181, 182

M

Máscara 9, 11, 59, 61, 62, 63, 64, 65, 66

MASK R-CNN 9, 355, 356, 359, 360, 361, 362, 364, 365

Method 1, 2, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 38, 44, 55, 57, 67, 68, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 82, 83, 107, 112, 128, 129, 130, 131, 136, 141, 145, 156, 157, 158, 163, 169, 170, 171, 174, 175, 177, 178, 180, 181, 198, 199, 208, 210, 211, 215, 216, 217, 226, 227, 228, 229, 258, 259, 260, 264, 313, 336, 357, 399, 401, 409

Metodologias Ativas 231, 232, 244

Mineração de dados 343, 344, 345, 354

M-Learning 9, 12, 85, 86, 87, 88, 89, 92, 93, 94

Modelagem 17, 18, 211, 236, 237, 271, 284, 312, 371, 372, 374, 375

Modelo distribuído 9, 11, 11, 14, 22

Modelo Numérico 259, 271

Monitoramento 9, 10, 12, 60, 66, 113, 114, 115, 116, 118, 120, 122, 124, 125, 246, 248, 253, 279, 280, 283, 285, 290, 313, 314, 328, 366, 367, 368, 395

Motor de Indução 15, 313, 314, 316, 318, 319, 321

P

Probabilidade 24, 31, 32, 34, 185, 332, 375

Protótipo 9, 234, 240, 241, 242, 283, 285, 286, 289, 366, 368, 371, 372, 374, 394

Pulsed compression reactor 172, 173, 175, 181, 182

R

Realidade Virtual 9, 14, 94, 230, 231, 232, 233, 234, 235, 239, 240, 241, 242, 243, 244

Rectilinear grids 13, 210, 212, 218, 227

Redes Neurais Artificiais 60, 62, 355, 364

RFID 15, 279, 280, 282, 283, 285, 286, 287, 288, 290, 291

S

Setup 13, 138, 139, 140, 146, 147, 148, 149, 150, 152, 153, 154, 155

Sistema 9, 12, 14, 15, 11, 15, 18, 64, 88, 90, 91, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 120, 123, 124, 125, 126, 172, 184, 185, 186, 194, 195, 196, 231, 233, 234, 245, 246, 247, 248, 250, 251, 252, 253, 254, 255, 256, 257, 272, 279, 280, 283, 284, 285, 286, 287, 289, 290, 291, 292, 293, 297, 299, 300, 306, 307, 312, 356, 366, 367, 368, 369, 370, 371, 374, 375, 376, 381, 382, 384, 385, 386

Sistema de controle 194, 290

Sistema Estrutural 272, 292, 293, 297, 299, 300

Smartphone 90, 91, 94, 376

Sociedade 5.0 9, 15, 303, 304, 305, 306, 308, 309, 310

Sociedade Criativa 303, 304, 306, 308, 309

Software 9, 28, 67, 74, 137, 138, 139, 156, 157, 163, 176, 177, 200, 209, 231, 236, 266, 267, 282, 284, 287, 291, 292, 293, 298, 321, 323, 324, 325, 328, 344, 347, 371, 372, 375, 376, 386, 396, 397, 398, 399, 401

T

Tecnologia 9, 24, 85, 86, 87, 91, 93, 94, 114, 230, 231, 232, 239, 240, 241, 242, 244, 267, 279, 280, 281, 282, 283, 290, 292, 301, 302, 304, 306, 307, 308, 309, 310, 311, 313, 332, 342, 366, 367, 368, 396, 410

TICs na Educação 85, 93

Torpedo anchors 138, 139, 140, 148, 150, 152, 155

Transformação Digital 9, 15, 303, 304, 305, 307, 308, 309, 310, 311

U

Uncertainty Quantification 15, 332, 336, 341

Usabilidade 9, 234, 366, 368, 372, 374, 384, 385, 386, 387, 388, 389, 390, 391, 392, 393,

394, 395, 396, 397, 398

V

Virtual 9, 12, 14, 85, 86, 87, 88, 89, 93, 94, 100, 101, 209, 230, 231, 232, 233, 234, 235, 239, 240, 241, 242, 243, 244, 309, 402


Virtual Reality 9, 12, 85, 86, 87, 88, 231, 243, 244

W

Web 10, 35, 279, 280, 283, 286, 287, 290, 304, 344, 386, 396

COLEÇÃO
DESAFIOS
DAS
ENGENHARIAS:






ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO 2

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

COLEÇÃO

DESAFIOS DAS ENGENHARIAS:

ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO 2

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