



As Engenharias agregando Conhecimento em Setores Emergentes de Pesquisa e Desenvolvimento

Franciele Braga Machado Tullio
Lucio Mauro Braga Machado
(Organizadores)

**Atena**
Editora
Ano 2021



As Engenharias agregando Conhecimento em Setores Emergentes de Pesquisa e Desenvolvimento

Franciele Braga Machado Tullio
Lucio Mauro Braga Machado
(Organizadores)


Ano 2021

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
Prof^ª Dr^ª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Daniel Richard Sant’Ana – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia
Prof^ª Dr^ª 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^ª Dr^ª Ivone Goulart Lopes – Instituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Prof. Dr. Jadson Correia de Oliveira – Universidade Católica do Salvador
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Prof^ª Dr^ª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Prof. Dr. Luis Ricardo Fernandes da Costa – Universidade Estadual de Montes Claros
Prof^ª Dr^ª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Pontifícia Universidade Católica de Campinas
Prof^ª Dr^ª Maria Luzia da Silva Santana – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof^ª Dr^ª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof^ª Dr^ª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof^ª Dr^ª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. William Cleber Domingues Silva – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano
Prof^ª Dr^ª Carla Cristina Bauermann Brasil – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – Universidade Federal da Grande Dourados
Prof^ª Dr^ª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof^ª Dr^ª 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
Prof^ª Dr^ª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Jael Soares Batista – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof^ª Dr^ª Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa
Prof^ª Dr^ª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof^ª Dr^ª 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 Alfnas

Ciências Biológicas e da Saúde

Prof. Dr. André Ribeiro da Silva – Universidade de Brasília

Prof^ª Dr^ª Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas

Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás

Prof^ª Dr^ª Débora Luana Ribeiro Pessoa – Universidade Federal do Maranhão

Prof. Dr. Douglas Siqueira de Almeida Chaves – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri

Prof^ª Dr^ª Elizabeth Cordeiro Fernandes – Faculdade Integrada Medicina

Prof^ª Dr^ª Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília

Prof^ª Dr^ª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina

Prof^ª Dr^ª Eysler Gonçalves Maia Brasil – Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira

Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia

Prof. Dr. Fernando Mendes – Instituto Politécnico de Coimbra – Escola Superior de Saúde de Coimbra

Prof^ª Dr^ª Gabriela Vieira do Amaral – Universidade de Vassouras

Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria

Prof. Dr. Helio Franklin Rodrigues de Almeida – Universidade Federal de Rondônia

Prof^ª Dr^ª Iara Lúcia Tescarollo – Universidade São Francisco

Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande

Prof. Dr. Jefferson Thiago Souza – Universidade Estadual do Ceará

Prof. Dr. Jesus Rodrigues Lemos – Universidade Federal do Piauí

Prof. Dr. Jônatas de França Barros – Universidade Federal do Rio Grande do Norte

Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará

Prof. Dr. Luís Paulo Souza e Souza – Universidade Federal do Amazonas

Prof^ª Dr^ª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande

Prof. Dr. Marcus Fernando da Silva Praxedes – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia

Prof^ª Dr^ª Maria Tatiane Gonçalves Sá – Universidade do Estado do Pará

Prof^ª Dr^ª Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma

Prof^ª Dr^ª Natiéli Piovesan – Instituto Federaci do Rio Grande do Norte

Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá

Prof. Dr. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados

Prof^ª Dr^ª Regiane Luz Carvalho – Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino

Prof^ª Dr^ª Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof^ª Dr^ª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Prof^ª Dr^ª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto

Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás

Prof^ª Dr^ª 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
Prof^ª Dr^ª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Prof^ª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Prof^ª Dr^ª 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
Prof^ª Dr^ª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Prof^ª Dr^ª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof^ª Dr^ª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Linguística, Letras e Artes

Prof^ª Dr^ª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins
Prof^ª Dr^ª Angeli Rose do Nascimento – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro
Prof^ª Dr^ª Carolina Fernandes da Silva Mandaji – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof^ª Dr^ª Denise Rocha – Universidade Federal do Ceará
Prof. Dr. Fabiano Tadeu Grazioli – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Prof^ª Dr^ª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná
Prof^ª Dr^ª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará
Prof^ª Dr^ª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste
Prof^ª Dr^ª 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. Alexandro Teixeira Ribeiro – Centro Universitário Internacional
Prof^ª Ma. Aline Ferreira Antunes – Universidade Federal de Goiás
Prof. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão
Prof^ª Ma. Andréa Cristina Marques de Araújo – Universidade Fernando Pessoa
Prof^ª Dr^ª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Prof^ª Dr^ª Andrezza Miguel da Silva – Faculdade da Amazônia
Prof^ª Ma. Anelisa Mota Gregoleti – Universidade Estadual de Maringá
Prof^ª 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
Prof^ª 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. Christopher Smith Bignardi Neves – Universidade Federal do Paraná
Prof. Ma. Cláudia de Araújo Marques – Faculdade de Música do Espírito Santo
Profª Drª Cláudia Taís Siqueira Cagliari – Centro Universitário Dinâmica das Cataratas
Prof. Me. Clécio Danilo Dias da Silva – Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Me. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará
Profª Ma. Daniela da Silva Rodrigues – Universidade de Brasília
Profª Ma. Daniela Remião de Macedo – Universidade de Lisboa
Profª Ma. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco
Prof. Me. Douglas Santos Mezacas – Universidade Estadual de Goiás
Prof. Me. Edevaldo de Castro Monteiro – Embrapa Agrobiologia
Prof. Me. Eduardo Gomes de Oliveira – Faculdades Unificadas Doctum de Cataguases
Prof. Me. Eduardo Henrique Ferreira – Faculdade Pitágoras de Londrina
Prof. Dr. Edwaldo Costa – Marinha do Brasil
Prof. Me. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita
Prof. Me. Ernane Rosa Martins – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Prof. Me. Euvaldo de Sousa Costa Junior – Prefeitura Municipal de São João do Piauí
Prof. Dr. Everaldo dos Santos Mendes – Instituto Edith Theresa Hedwing Stein
Prof. Me. Ezequiel Martins Ferreira – Universidade Federal de Goiás
Profª Ma. Fabiana Coelho Couto Rocha Corrêa – Centro Universitário Estácio Juiz de Fora
Prof. Me. Fabiano Eloy Atilio Batista – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Me. Felipe da Costa Negrão – Universidade Federal do Amazonas
Prof. Me. Francisco Odécio Sales – Instituto Federal do Ceará
Profª Drª 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
Profª Ma. Isabelle Cerqueira Sousa – Universidade de Fortaleza
Profª Ma. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia
Prof. Me. Javier Antonio Albornoz – University of Miami and Miami Dade College
Prof. Me. Jhonatan da Silva Lima – Universidade Federal do Pará
Prof. Dr. José Carlos da Silva Mendes – Instituto de Psicologia Cognitiva, Desenvolvimento Humano e Social
Prof. Me. Jose Elyton Batista dos Santos – Universidade Federal de Sergipe
Prof. Me. José Luiz Leonardo de Araujo Pimenta – Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria Uruguay
Prof. Me. José Messias Ribeiro Júnior – Instituto Federal de Educação Tecnológica de Pernambuco
Profª Drª Juliana Santana de Curcio – Universidade Federal de Goiás
Profª Ma. Juliana Thaisa Rodrigues Pacheco – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Kamilly Souza do Vale – Núcleo de Pesquisas Fenomenológicas/UFPA
Prof. Dr. Kárpio Márcio de Siqueira – Universidade do Estado da Bahia
Profª Drª Karina de Araújo Dias – Prefeitura Municipal de Florianópolis
Prof. Dr. Lázaro Castro Silva Nascimento – Laboratório de Fenomenologia & Subjetividade/UFPR

Prof. Me. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof^ª Ma. Lillian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará
Prof^ª Ma. Liliansi 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^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
Prof^ª Ma. Maria Elanny Damasceno Silva – Universidade Federal do Ceará
Prof^ª Ma. Marileila Marques Toledo – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Prof. Me. Pedro Panhoca da Silva – Universidade Presbiteriana Mackenzie
Prof^ª Dr^ª Poliana Arruda Fajardo – Universidade Federal de São Carlos
Prof. Me. Ricardo Sérgio da Silva – Universidade Federal de Pernambuco
Prof. Me. Renato Faria da Gama – Instituto Gama – Medicina Personalizada e Integrativa
Prof^ª 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
Prof^ª Ma. Silene Ribeiro Miranda Barbosa – Consultoria Brasileira de Ensino, Pesquisa e Extensão
Prof^ª Ma. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo
Prof^ª Ma. Taiane Aparecida Ribeiro Nepomoceno – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Faculdade Regional Jaguaribana
Prof^ª Ma. Thatianny Jasmine Castro Martins de Carvalho – Universidade Federal do Piauí
Prof. Me. Tiago Silvio Dedoné – Colégio ECEL Positivo
Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

As engenharias agregando conhecimento em setores emergentes de pesquisa e desenvolvimento

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira
Bibliotecária: Janaina Ramos
Diagramação: Camila Alves de Cremona
Correção: Vanessa Mottin de Oliveira Batista
Edição de Arte: Luiza Alves Batista
Revisão: Os Autores
Organizadores: Franciele Braga Machado Tullio
Lucio Mauro Braga Machado

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

E57 As engenharias agregando conhecimento em setores emergentes de pesquisa e desenvolvimento / Organizadores Franciele Braga Machado Tullio, Lucio Mauro Braga Machado. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2021.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5706-769-7

DOI 10.22533/at.ed.697211102

1. Engenharia. I. Tullio, Franciele Braga Machado (Organizador). II. Machado, Lucio Mauro Braga (Organizador). III. Título.

CDD 620

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 obra “As Engenharias Agregando Conhecimento em Setores Emergentes de Pesquisa e Desenvolvimento” contempla vinte capítulos em que os autores abordam suas pesquisas aplicadas nos mais diversos setores da engenharia.

Pesquisas relacionadas a propriedades físico-químicas de materiais e desenvolvimento de novos produtos com a finalidade de aplicar na indústria.

Desenvolvimento de novos materiais e aplicação de inteligência artificial para utilização na medicina também são abordados.

Geração de energia, desenvolvimento de projetos sustentáveis e tratamento de efluentes são assuntos em evidência no meio acadêmico.

Por fim, estudo sobre a gestão de projetos de obras de arte especiais com a finalidade de auxiliar os gestores na tomada de decisões e intervenções nas mesmas.

Esperamos que esta obra promova ao leitor o desejo de desenvolver ainda mais estudos, agregando mais conhecimento em setores de pesquisa e desenvolvimento. Boa leitura!

Franciele Braga Machado Tullio
Lucio Mauro Braga Machado

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

CONSTRUÇÃO DE IMPELIDORES POR MANUFATURA ADITIVA: UMA METODOLOGIA PARA O ENSINO DE OPERAÇÕES UNITÁRIAS

Tadeu Henrique Aparecido da Silva

Monica Taís Siqueira D'Amelio

DOI 10.22533/at.ed.6972111021

CAPÍTULO 2..... 17

DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE ACIDEZ E PERÓXIDO NO ÓLEO DE FRITURA UTILIZADO NO REFEITÓRIO DO IFMT – CAMPUS CONFRESA

Fábio Gonçalves Marinho

Felipe Gimenes Rodrigues Silva

Ulisses Alberto Rodrigues da Silva

Milton Fantinell Junior

Carlos Bonfim Gonçalves Marinho

Geovana Rodrigues Soares

DOI 10.22533/at.ed.6972111022

CAPÍTULO 3..... 22

ESTUDO DA SEDIMENTAÇÃO DESCONTÍNUA DE CaCO_3 E Ca(OH)_2 EM DIFERENTES CONCENTRAÇÕES VISANDO A SEPARAÇÃO DE PARTICULADO

Dinalva Schein

Carolina Smaniotto Fronza

Gabriela Aline Kroetz Bremm

Isaac dos Santos Nunes

Andréia Monique Lermen

Naiara Jacinta Clerici

Paula Gabriela Dalla Porta

Suelyly Ribeiro Hollas

DOI 10.22533/at.ed.6972111023

CAPÍTULO 4..... 33

FUNCIONALIZAÇÃO DO TERPOLÍMERO ACRILONITRILA-BUTADIENO-ESTIRENO COM ANIDRIDO MALEICO – UMA REVISÃO DA LITERATURA

Carlos Bruno Barreto Luna

Danilo Diniz Siqueira

Eduardo da Silva Barbosa Ferreira

Edson Antonio dos Santos Filho

Edcleide Maria Araújo

DOI 10.22533/at.ed.6972111024

CAPÍTULO 5..... 54

ANÁLISE DE DESGASTE NAS LASTRINAS DA CAIXA MATRIZ NA INDÚSTRIA DE REVESTIMENTOS CERÂMICOS

Tiago da Silva Fernandes

Anderson Daleffe

DOI 10.22533/at.ed.6972111025

CAPÍTULO 6..... 68

ANÁLISE QUÍMICA E ÂNGULO DE CONTATO DE FILMES FORMADOS POR BLENDA DE POLIESTIRENO/POLI(CAPROLACTONA) FOTODEGRADADAS POR LUZ ULTRAVIOLETA

Catarina Barbosa Levy

Maria Oneide Silva de Moraes

Walter Ricardo Brito

João de Deus Pereira de Moraes Segundo

DOI 10.22533/at.ed.6972111026

CAPÍTULO 7..... 75

APLICAÇÃO DE NANOBIMATERIAIS NO TRATAMENTO DE FERIDAS

Rayanne Cornelio Silva Carvalho

Deuzuita dos Santos Freitas Viana

Vicente Galber Freitas Viana

DOI 10.22533/at.ed.6972111027

CAPÍTULO 8..... 87

INFLUÊNCIA DA CONCENTRAÇÃO DE FERROCARBONILA EM MATERIAIS ABSORVEDORES DE RADIAÇÃO ELETROMAGNÉTICA

Cecília Maia Corsato

Nicholas Eras Fonseca

Bruno Ferraz Donati

Gustavo Freitas de Souza

Rademaks Bento de Oliveira

Valdirene Aparecida da Silva

DOI 10.22533/at.ed.6972111028

CAPÍTULO 9..... 96

INCORPORAÇÃO DE FIBRAS DE POLIPROPILENO RECICLADAS EM COMPÓSITO CONCRETO

Gabriela T. Santiago

Matheus Vosgnach

Vinicio Ceconello

Edson Francisquetti

Mara Andrade Zeni

DOI 10.22533/at.ed.6972111029

CAPÍTULO 10..... 105

ANÁLISE DO ÂNGULO DE INCLINAÇÃO SOLAR DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS PARA LOCALIDADES NO BAIXO TOCANTINS – PA

Marinaldo de Jesus dos Santos Rodrigues

Silvio Bispo do Vale

Tatiane Perna Rodrigues

DOI 10.22533/at.ed.69721110210

CAPÍTULO 11	117
SIMULAÇÃO ENERGÉTICA PARA RECUPERAÇÃO DE CALOR DO AR EM AGÊNCIAS BANCÁRIAS	
Alexandre Fernandes Santos	
Jeová Alves Diniz Junior	
Heraldo José Lopes de Souza	
DOI 10.22533/at.ed.69721110211	
CAPÍTULO 12	131
USO DO SISTEMA DX (EXPANSÃO DIRETA) PARA SISTEMAS GEOTÉRMICOS EM CURITIBA	
Alexandre Fernandes Santos	
Paulo Henrique Colombo	
Heraldo José Lopes de Souza	
Fabio Francisco Ferreira	
DOI 10.22533/at.ed.69721110212	
CAPÍTULO 13	143
MÉTODOS DE APRENDIZAGEM DE MÁQUINA APLICADOS NA CLASSIFICAÇÃO DE NÍVEIS DE APNEIA UTILIZANDO SINAIS DE ELETROCARDIOGRAMA	
João Pedro dos Santos Silva	
Pedro Henrique dos Santos Almeida	
Letícia Chaves Lima Cananéa	
Helder Alves Pereira	
DOI 10.22533/at.ed.69721110213	
CAPÍTULO 14	153
ANÁLISE E SIMULAÇÃO DE CONTROLE VOLUMÉTRICOS E DINÂMICOS EM SISTEMAS DE PERFURAÇÃO DE POÇOS PETROLÍFEROS	
Juliana Gomes da Silva	
Savio Raider Matos Sarkis	
DOI 10.22533/at.ed.69721110214	
CAPÍTULO 15	173
UTILIZAÇÃO DO MÉTODO DE ANÁLISE HIERÁRQUICA (AHP) COMO FERRAMENTA DE AUXÍLIO MULTICRITÉRIO NO PROCESSO DE DECISÃO DE PRIORIZAÇÃO DE PROJETOS DE CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO NA AMAZÔNIA AZUL	
Andrezza de Oliveira Agápito	
Dalessandro Soares Vianna	
Marcilene de Fátima Dianin Vianna	
Edwin Benito Mitacc Meza	
DOI 10.22533/at.ed.69721110215	
CAPÍTULO 16	185
IMPLANTAÇÃO DE PRODUÇÃO MAIS LIMPA EM COMPLEXO ALIMENTÍCIO INDUSTRIAL	
Yuri de Oliveira Godoy	

Aldo Muro Júnior

DOI 10.22533/at.ed.69721110216

CAPÍTULO 17..... 196

AVANÇOS PARA MELHORIA DA RESISTÊNCIA À INCRUSTAÇÃO EM MEMBRANAS DE ULTRAFILTRAÇÃO COM POTENCIAL PARA APLICAÇÃO NO TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUAIS OLEOSAS: uma revisão

Victor José Romão dos Santos

Suellen Cristine Meira

DOI 10.22533/at.ed.69721110217

CAPÍTULO 18..... 211

ANÁLISE PROBABILÍSTICA E DETERMINÍSTICA DA ESTABILIDADE DE TALUDES EM BARRAGEM DE TERRA DO ESTADO DO CEARÁ

Fernando Feitosa Monteiro

Andressa de Araujo Carneiro

Yago Machado Pereira de Matos

Giovanna Monique Alelvan

DOI 10.22533/at.ed.69721110218

CAPÍTULO 19..... 222

A GESTÃO DE OBRAS DE ARTE ESPECIAIS MUNICIPAIS: CONCEPÇÃO DE UM MODELO CONCEITUAL DE BANCO DE DADOS APLICADO ÀS PONTES, VIADUTOS E PASSARELAS

André Felipe Bozio

Vivian da Silva Celestino Reginato

DOI 10.22533/at.ed.69721110219

CAPÍTULO 20..... 240

ALTERAÇÕES MORFOLÓGICAS DO PORTO MARAVILHA, RIO DE JANEIRO: TRANSFORMAÇÕES URBANAS

Amanda Martins Marques da Silva

Gisele Silva Barbosa

Patricia Regina Chaves Drach

Eduardo Praun Machado

Victor Marques Zamith

DOI 10.22533/at.ed.69721110220

SOBRE OS ORGANIZADORES 255

ÍNDICE REMISSIVO..... 256

MÉTODOS DE APRENDIZAGEM DE MÁQUINA APLICADOS NA CLASSIFICAÇÃO DE NÍVEIS DE APNEIA UTILIZANDO SINAIS DE ELETROCARDIOGRAMA

Data de aceite: 01/02/2021

Data de submissão: 30/10/2020

João Pedro dos Santos Silva

Universidade Federal de Campina Grande
Centro de Engenharia Elétrica e Informática
Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica
Campina Grande - Paraíba
<http://lattes.cnpq.br/2226095790984425>

Pedro Henrique dos Santos Almeida

Universidade Federal de Campina Grande
Centro de Engenharia Elétrica e Informática
Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica
Campina Grande - Paraíba
<http://lattes.cnpq.br/1349637105111367>

Letícia Chaves Lima Cananéa

Universidade Federal de Campina Grande
Centro de Engenharia Elétrica e Informática
Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica
Campina Grande – Paraíba
<http://lattes.cnpq.br/5988503332928058>

Helder Alves Pereira

Universidade Federal de Campina Grande
Centro de Engenharia Elétrica e Informática
Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica
Campina Grande – Paraíba
<http://lattes.cnpq.br/7393937425520096>

RESUMO: Na medicina existe um vasto número de exames que tem o diagnóstico obtido por meio da interpretação de imagens, dentre eles o eletrocardiograma (ECG). As informações extraídas não se limitam à atividade do músculo

cardíaco, colocando em perspectiva a facilidade para realizar o diagnóstico de diversos problemas de saúde. A síndrome da apneia obstrutiva do sono (SAOS), caracterizada pela obstrução parcial ou total das vias respiratórias, passa a ter uma possibilidade de identificação ao se isolar o sinal proveniente da respiração no ECG. Verifica-se, na literatura, que a utilização do ECG para identificação da SAOS pode impactar diretamente na redução do número de casos não diagnosticados dessa síndrome. A contribuição deste capítulo é de descrever a classificação de níveis de SAOS utilizando sinais de ECG, bem como apresentar técnicas de inteligência artificial e, conseqüentemente, evidenciar um comparativo das técnicas de aprendizagem de máquina (*machine learning*) mais eficientes utilizadas na literatura.

PALAVRAS-CHAVE: Apneia do Sono, Aprendizado de Máquina, Complexo QRS, Eletrocardiograma.

MACHINE LEARNING METHODS APPLIED TO CLASSIFICATION OF APNEA LEVELS USING ELECTROCARDIOGRAM SIGNALS

ABSTRACT: In the medical field there is a wide number of exams that have their diagnosis obtained by interpretation of images, including the electrocardiogram (ECG). The health information extracted is not limited to cardiac activity, suggesting a simpler way to diagnose several health problems. The obstructive sleep apnea (OSA), typified by partial or total airway obstruction, becomes possible to identify by isolating the signal from ECG breathing. It is

verified in the literature that the use of ECG for OSA identification can directly impact the reduction on the number of the syndrome's undiagnosed cases. The contribution of this chapter is to describe the classification of OSA levels using ECG signals, as well as to present artificial intelligence techniques and, consequently, to show a comparison of the most efficient machine learning techniques used in the literature.

KEYWORDS: Electrocardiogram, Machine Learning, Obstructive Sleep Apnea, QRS Complex.

1 | INTRODUÇÃO

Segundo Moeynoi et al. (2016), distúrbios do sono podem levar à avaria das funções do corpo. Dessa forma, a falta de sono pode influenciar diretamente na deterioração do bem estar físico, emocional e psicológico de uma pessoa (SISODIA et al., 2017). Nesse contexto, um dos mais comuns distúrbios do sono ganha destaque: a síndrome da apneia obstrutiva do sono (SAOS) (KHANDOKER et al., 2008). A SAOS é definida pela interrupção frequente da respiração, ocasionada por obstrução parcial, ou completa, das vias aéreas superiores, em geral, em curtos períodos de tempo durante o sono (KAO et al., 2012). Tipicamente, também é acompanhada de redução da saturação de oxigênio no sangue e leva o indivíduo a acordar diversas vezes para desobstruir as vias aéreas (KAO et al., 2012).

A fragmentação do sono pode resultar em redução da performance cognitiva, aumento do risco de acidentes automobilísticos, ou de trabalho, desencadeamento de quadros depressivos, desempenho sexual reduzido e perda de memória (KHANDOKER et al., 2008). Entretanto, casos não diagnosticados da SAOS estão sendo classificados como importantes fatores de risco no desenvolvimento de doenças cardiovasculares - como hipertensão, derrame, insuficiência cardíaca, hipertrofia ventricular esquerda ou síndrome coronária aguda (KHANDOKER et al., 2008).

Segundo dados coletados da população dos Estados Unidos, aproximadamente 14% dos homens e 5% das mulheres sofrem da síndrome, tendo-se, dentre os fatores que levam à falta de identificação da apneia, o alto custo e a pouca praticidade do exame padrão, a polissonografia (CHEN et al., 2015). Esse exame consiste em medir a atividade respiratória, muscular e cerebral durante uma noite completa de sono, com o auxílio de sensores e eletrodos espalhados por todo o corpo. As informações são analisadas com o auxílio de computadores que traduzem os dados por meio de padrões. No entanto, ainda assim, é necessário um especialista para interpretar os registros obtidos (MOEYNOI et al., 2016).

Dentre os sinais analisados na polissonografia, o eletrocardiograma (ECG) é o mais significativo no diagnóstico da apneia, visto que é captado facilmente e causa mínima perturbação no sono (SADR et al., 2014). O formato de onda do ECG é influenciado pelo movimento da atividade respiratória do coração e dos pulmões (SADR et al., 2015). É

importante destacar que técnicas de processamento de sinais podem ser usadas para isolar o sinal da respiração oriundo do ECG (EDR - *ECG-Derived Respiration*). Dessa forma, a informação respiratória se torna disponível por meio do monitoramento cardíaco (SISODIA et al., 2017). Nesse contexto, a utilização de técnicas de inteligência artificial, dentre elas a aprendizagem de máquina (*machine learning*), tem se mostrado interessante para classificar episódios de apneia, representando assim uma possibilidade viável para o diagnóstico da SAOS, agilizando os devidos processos de tratamento (SISODIA et al., 2017).

A contribuição deste capítulo é de descrever a classificação de níveis de SAOS utilizando sinais de ECG, bem como apresentar técnicas de inteligência artificial e, conseqüentemente, evidenciar um comparativo das técnicas de *machine learning* utilizadas na literatura. Está organizado da seguinte forma: na Seção 2, apresenta-se uma breve descrição dos sinais de ECG e de como são utilizados no diagnóstico da SAOS. Na Seção 3, descreve-se os métodos de *machine learning* presentes na literatura para diagnóstico da SAOS por meio de sinais de ECG. Por fim, na Seção 4, apresentam-se as devidas conclusões e perspectivas de trabalhos futuros.

2 | SINAIS DE ECG E DIAGNÓSTICO DA SAOS

O ECG é um procedimento simples, rápido e indolor, no qual são mensuradas e amplificadas as atividades elétricas associadas ao coração, a partir de eletrodos distribuídos pelo corpo do paciente (SADR et al., 2016a). Os sinais fisiológicos desse procedimento representam instrumentos importantes para identificação de distúrbios biológicos, como, por exemplo, a SAOS, pois os padrões respiratórios podem ser extraídos pelos sinais processados (SADR et al., 2016a). O registro do ECG acontece por meio da variação do potencial elétrico (eixo y) com relação ao período de tempo analisado (eixo x), conforme pode ser observado na Figura 1.

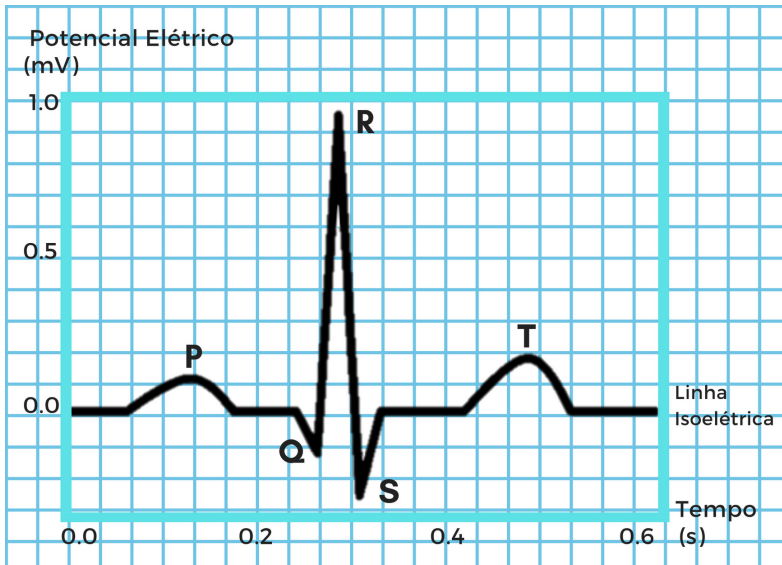


Figura 1 – Registro de um ECG normal.

Fonte: Baseado em Manzan (2006).

De acordo com Manzan (2006), o sinal do ECG representa o registro dos movimentos cardíacos em cinco etapas distintas, representadas pelos formatos de onda: P, Q, R, S e T. A forma de onda denominada P, primeira onda do ciclo, representa a despolarização dos átrios, ou seja, a ativação da musculatura atrial. A primeira parte da onda é referente ao átrio direito e a segunda ao átrio esquerdo, a qual tem duração de 0,10 s e potencial elétrico máximo de 0,25 mV. Com relação à despolarização dos ventrículos, o processo se associa às ondas denominadas Q, R e S, designado como complexo QRS, com duração de 0,06 s a 0,10 s.

A onda Q representa a primeira deflexão negativa do complexo. Já a onda R, a primeira deflexão positiva, podendo, ou não, ser precedida por uma onda Q. Porém, se houver uma segunda deflexão para cima, ela é chamada R' (R linha). A onda S é a que aparece após a onda R. Vale destacar também que a onda T, representante da repolarização dos ventrículos, é normalmente de menor amplitude do que o complexo QRS, assimétrica e positiva em todas as derivações. Essa onda apresenta amplitude máxima inferior a 0,5 mV nas derivações periféricas e menor que 1,5 mV nas derivações precordiais. Além disso, existe a forma de onda U, que é positiva e de baixo valor de potencial elétrico com relação às outras formas de onda, aparecendo após a onda T e sendo normalmente desconsiderada nos exames de ECG (MANZAN, 2006; MY EKG, 2019).

Dentre os sinais extraídos a partir do ECG, Ma et al. (2015) destacaram alguns parâmetros importantes, tais como: 1) a média do intervalo entre duas ondas R (intervalo

RR); 2) o desvio padrão do intervalo RR; 3) a média do inter-quartil; 4) os valores médios do desvio absoluto; 5) a média da amplitude RR; 6) o desvio padrão da amplitude RR; 7) a média do batimento cardíaco em tempo real; 8) o desvio padrão da frequência cardíaca em tempo real; 9) a média do ângulo QRS; 10) o desvio padrão do ângulo QRS; 11) a média do intervalo entre duas ondas T (intervalo TT); 12) o desvio padrão do intervalo TT; 13) a média da amplitude TT e 14) o desvio padrão da amplitude do intervalo TT. De acordo com Chen et al. (2015), uma das características do sinal de ECG, que apresenta forte relação com a SAOS, é o intervalo RR. Segundo eles, durante o sono normal, o intervalo RR mostra uma oscilação cíclica. Entretanto, quando ocorrem eventos de apneia, os padrões de oscilação são interrompidos pelo aumento do controle do sistema cardiovascular. Conforme Ma et al. (2015), a média do intervalo RR, do inter-quartil e da frequência cardíaca em tempo real representam importantes características para serem usadas como sinais para distinguir conjuntamente o distúrbio do sono e a respiração normal.

De acordo com Sadr et al. (2015), existem vários métodos de extração do sinal respiratório oriundo do ECG. Dentre os métodos, Sadr et al. (2015) destacaram três algoritmos diferentes, são eles: 1) amplitude QRS; 2) análise do componente principal (PCA - *Principal Component Analysis*); e 3) *kernel* PCA. Com relação à amplitude QRS, o algoritmo se propõe a calcular a área sob cada complexo QRS entre o ponto inicial e 100 ms depois. O método PCA permite reduzir as dimensões do sinal, encontrando a direção em que seja mais provável que os dados se espalhem e os novos valores de direção para os dados chamados componentes principais (PCs - *Principals Components*). Já o *Kernel* PCA é aplicado no caso de padrões não lineares existentes no conjunto de dados. Com os resultados obtidos, constatou-se que o desempenho, com relação à eficiência do algoritmo PCA, foi igual, ou superior, aos outros dois algoritmos.

Com relação aos estudos realizados por Sadr et al. (2016a), observou-se que, inicialmente, foram utilizados métodos como a amplitude da onda R, a amplitude RS, a área do complexo QRS e a área da onda R. Porém, posteriormente, foram implementadas novas técnicas, como transformada discreta de *wavelet* (DWT - *Discrete Wavelet Transform*), modo empírico de decomposição (EMD - *Empirical Mode Decomposition*) e PCA. Outro método bastante importante, proposto por Sadr et al. (2016a), foi o PCA aproximado. Esse algoritmo é considerado simples para medição da respiração oriunda do ECG, sendo computacionalmente rápido e com baixos requisitos de memória. Os pesquisadores revelaram que, comparando os resultados obtidos entre esse método e o PCA original, que segmenta as gravações completas do procedimento, o método de PCA aproximado apresentou um desempenho melhor com relação ao original (aproximadamente 13 vezes mais rápido). Vale ressaltar que esse método simplificava suas aplicações para sinais longos e facilitava outros monitoramentos de sinais biológicos para implementação em tempo real.

Assim, diante das contribuições supracitadas, infere-se que um método

computacional deve ser utilizado para classificar e discriminar indivíduos entre saudáveis e com diferentes níveis de SAOS. Uma abordagem de pesquisa que se mostra interessante para esse objetivo é a utilização de algoritmos baseados nos fundamentos de inteligência artificial, dentre eles o *machine learning*, pois permite a otimização de tarefas dependentes da análise sistemática dos dados.

3 | CLASSIFICAÇÃO DE SINAIS DE ECG UTILIZANDO *MACHINE LEARNING* PARA DIAGNÓSTICO DA SAOS

Machine learning é uma subárea da inteligência artificial baseada na premissa de que sistemas podem aprender com os dados e, com a experiência obtida, tomar decisões por meio da identificação de padrões (FACELI et al., 2011). Essa subárea envolve três categorias, que são utilizadas de acordo com a natureza do aprendizado disponível, são elas: aprendizado supervisionado, não supervisionado e por reforço (FACELI et al., 2011).

Em relação à SAOS, geralmente, os métodos praticados para obtenção de dados se concentram na extração de características no domínio do tempo, da frequência e em outras características não-lineares de vários sinais baseados em ECG (SONG et al., 2015). Com essas características do sinal de ECG devidamente extraídas, é possível a construção de modelos de classificação utilizando como base algoritmos de *machine learning* (SONG et al., 2015). Com um banco de dados que contenha amostras de pessoas que possuem, ou não, a apneia obstrutiva do sono, é possível utilizar diversos modelos de classificação para esses sinais pré-processados. Dentre eles, cabe citar redes neurais, aprendizado de máquina extremo (ELM - *Extreme Learning Machine*), máquina de vetor de suporte (SVM - *Support Vector Machine*), dentre outros (PEITEADO-BREA et al., 2014).

A eficácia da utilização de algoritmos de *machine learning* na classificação de sinais de ECG, não apenas para a SAOS, mas para diversas arritmias cardíacas, já foi comprovada no meio científico devido à sua precisão na classificação de novas amostras de dados (CHEN et al., 2015). Para a SAOS, por exemplo, Shouldice et al. (2004) propuseram um método de classificação integrando sinais de ECG, segmentados minuto a minuto, com uma análise discriminatória quadrática (QDA - *Quadratic Discriminant Analysis*), alcançando assim uma precisão de 72,1% por segmento. Khandoker et al. (2008) propuseram um método de classificação conhecido como SVM para identificação da SAOS com base em vários recursos extraídos de intervalos RR e do sinal de EDR por decomposição de *wavelets*. Em seu trabalho, mais de 90% dos indivíduos foram classificados corretamente. Mendez et al. (2009) estudaram mais de 70 características e distinguiram segmentos de apneia de segmentos normais com uma precisão de 88%, por meio do algoritmo conhecido como *K* vizinhos mais próximos (KNN - *K Nearest Neighbors*) e com redes neurais.

Bsoul et al. (2010) desenvolveram um sistema de monitoramento de apneia, baseado em dispositivos móveis (*smartphones*) e com o uso de um ECG de uma única

leitura (*single-lead ECG*), no qual foram analisadas 63 características de intervalos RR e 48 de sinais EDR extraídos minuto a minuto, utilizando o método de SVM para detecção de apneia nesses segmentos. Kao et al. (2012) propuseram o uso do método *bootstrap adaBoost*, juntamente com KNN, para detecção da SAOS e obtiveram uma eficácia de 91,95%. Morillo et al. (2013) adotaram uma rede neural probabilística (PNN - *Probabilistic Neural Network*) para identificação de anomalias nas amostras de ECG e obtiveram uma eficácia de 93,9%. Sadr et al. (2014) propuseram a identificação da SAOS com *single-lead ECG* através do algoritmo ELM e obtiveram uma eficácia de 87,7%.

Song et al. (2015) utilizaram o modelo discriminatório escondido de Markov (DHMM - *Discriminative Hidden Markov Model*), juntamente com o algoritmo SVM, para detectar a SAOS em segmentos de gravações de ECG e obtiveram uma eficácia de 97,1%. Chen et al. (2015) propuseram o uso da densidade de classificação de núcleo (KDC - *Kernel Density Classification*), baseado no *single-lead ECG*, e obtiveram uma eficácia de 82,07%.

Sadr et al. (2016a) utilizaram dois métodos de classificação do sinal de ECG, sendo eles: ELM e análise linear discriminante (LDA - *Linear Discriminant Analysis*). Já para realizar a extração do sinal de EDR, foram usados dois algoritmos: o PCA aproximado e o PCA segmentado. Foi verificado uma eficiência de 78,4% para o algoritmo de LDA, utilizando o PCA aproximado. Sadr et al. (2016b) analisaram a extração do sinal de EDR com o algoritmo referente à área do complexo QRS, adicionando também o método SVM. Foi verificado uma eficiência de 81% para o algoritmo de LDA, utilizando a área QRS.

Gopal et al. (2017) propuseram um método que reduziu o tempo de resposta computacional, baseado em um classificador neuro-fuzzy, considerando a dependência temporal do segmento de sinal, conseguindo eficácia de 87%. Sisodia et al. (2017), após uma análise comparativa entre diversos classificadores - sendo esses SVM, KNN, *naive bayes*, vetor quantização de aprendizagem (LVQ - *Learning Vector Quantization*), classificador quadrático e floresta aleatória (RF - *Random Forest*) - constataram que o método de maior eficácia foi o SVM de *kernel* linear, com 94,32% de eficácia para intervalos de separação de dados de 15 s. Fahrzuri et al. (2019) utilizaram a técnica de aprendizado em conjunto (EL - *Ensemble Learning*) para mesclar múltiplos métodos de classificação e encontrar modelos com poucos erros e maior eficácia, obtendo um que possuía em sua base o *boosted tree learning*, cuja eficácia foi de 94,7%. A tabela 1 apresenta um resumo dos principais métodos de utilização de *machine learning* para classificação da SAOS, considerando sinais de ECG, disponíveis na literatura.

Referência	Método	Eficácia	Sensibilidade	Especificidade
Shouldice et al. (2004)	QDA	72,1%	X	X
Khandoker et al. (2008)	SVM	92,9%	92,4%	93,8%
Mendez et al. (2009)	KNN+RN	88,0%	X	X
Bsoul et al. (2010)	SVM	X	X	X
Kao et al. (2012)	<i>The bootstrap adaBoost + KNN</i>	91,95%	99,36%	89,02%
Morillo et al. (2013)	PNN	93,9%	92,4%	95,9%
Sadr et al. (2014)	ELM	87,7%	91,7%	81,3%
Chen et al. (2015)	KDC	82,07%	83,23%	80,24%
Song et al. (2015)	DHMM + SVM	97,1%	95,8%	100%
Sadr et al. (2016a)	<i>Approximated PCA + LDA</i>	78,4%	84,6%	68,3%
Sadr et al. (2016b)	<i>LDA classifier</i>	81%	84%	77%
Gopal et al. (2017)	Neuro-fuzzy	87%	X	X
Sisodia et al. (2017)	SVM	94,32%	91,89%	78,16%
Fahruzi et al. (2019)	<i>Ensemble learning</i>	94,7%	X	X

Tabela 1. Resumo dos principais métodos de utilização de *machine learning* para classificação da SAOS, considerando sinais de ECG, disponíveis na literatura.

Fonte: Do próprio autor.

4 | CONCLUSÕES

A contribuição deste capítulo foi de descrever a classificação de níveis de SAOS, por meio de sinais de ECG, e de apresentar técnicas de inteligência artificial baseadas em *machine learning*, descrevendo resultados da literatura em termos de eficácia, sensibilidade e especificidade.

Também, evidenciou-se o formato dos sinais analisados e a partir de quais aspectos pode-se diagnosticar a SAOS. Dentre os trabalhos descritos neste capítulo, o método SVM, juntamente com DHMM, obteve o melhor resultado com uma eficácia de 97,1%.

Por fim, em busca de um aprimoramento do que foi verificado na literatura, alguns aspectos podem ser considerados, tais como: buscar melhores métodos de pré-processamento e um maior número de características relevantes do sinal e priorizar métodos de *machine learning* que utilizem pouco processamento, a fim de possibilitar a produção de tecnologias mais simples e menos incômodas para o paciente na realização do exame de diagnóstico da SAOS.

REFERÊNCIAS

BSOUL, M. et al. Apnea MedAssist: real-time sleep apnea monitor using single-lead ECG. *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine*, v. 15, n. 3, p. 416-427, 2010.

CHEN, L. et al. An obstructive sleep apnea detection approach using kernel density classification based on single-lead electrocardiogram. *Journal of medical systems*, v. 39, n. 5, p. 47, 2015.

FACELI, K. et al. Inteligência Artificial: Uma abordagem de aprendizado de máquina. **Rio de Janeiro: LTC**, 2011.

FAHRUZI, I. et al. Classification of Sleep Disorder from Single Lead Non-overlapping of ECG-apnea based Non-Linear Analysis using Ensemble Approach. In: **International Conference on Awareness Science and Technology (ICAST)**. IEEE, 2019. p. 1-6.

GOPAL, S. et al. Obstructive sleep apnea detection from ECG signal using neuro-fuzzy classifier. In: **International Conference on Intelligent Computing, Instrumentation and Control Technologies (ICICT)**. IEEE, 2017. p. 910-915.

KHANDOKER, A. H. et al. Support vector machines for automated recognition of obstructive sleep apnea syndrome from ECG recordings. *IEEE transactions on information technology in biomedicine*, v. 13, n. 1, p. 37-48, 2008.

KAO, T. et al. Using Bootstrap AdaBoost with KNN for ECG-based automated obstructive sleep apnea detection. In: **The International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN)**. IEEE, 2012. p. 1-5.

MA, H. T. et al. Real-time automatic monitoring system for sleep apnea using single-lead electrocardiogram. In: **TENCON 2015-2015 IEEE Region 10 Conference**. 2015. p.1-4.

MANZAN, W. A. **Utilização das transformadas wavelets na extração de características e no reconhecimento de padrão em um sinal de ECG**. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia. 2006.

MENDEZ, M. O. et al. Sleep apnea screening by autoregressive models from a single ECG lead. *IEEE transactions on biomedical engineering*, v. 56, n. 12, p. 2838-2850, 2009.

MOEYNOI, P. et al. Canonical correlation analysis for dimensionality reduction of sleep apnea features based on ECG single lead. In: Biomedical Engineering International Conference (BMEiCON). IEEE, 2016. p. 1-5.

MORILLO, D. S. et al. Probabilistic neural network approach for the detection of SAHS from overnight pulse oximetry. **Medical & biological engineering & computing**, v. 51, n. 3, p. 305-315, 2013.

My EKG. Ondas do Eletrocardiograma. Disponível em: < <https://pt.my-ekg.com/generalidades-ecg/ondas-eletrocardiograma.html>> . Acesso em: 22 de novembro de 2019.

PEITEADO-BREA, V. et al. A study of heart rate variability as sleep apnoea predictor over two different databases. In: **IEEE-EMBS International Conference on Biomedical and Health Informatics (BHI)**. 2014. p. 359-362.

SADR, N. et al. Automated detection of obstructive sleep apnoea by single-lead ECG through ELM classification. In: Computing in Cardiology. IEEE, 2014. p. 909-912.

SADR, N. et al. A Comparison of obstructive sleep apnoea detection using three different ECG derived respiration algorithms. In: **Computing in Cardiology Conference (CinC)**. 2015. p. 301-304.

SADR, N. et al. A fast approximation method for principal component analysis applied to ECG derived respiration for OSA detection. In: **International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC)**. 2016. p. 6198-6201.

SADR, N. et al. Comparing ECG derived respiratory signals and chest respiratory signal for the detection of obstructive sleep apnoea. In: *Computing in Cardiology Conference (CinC)*. IEEE, 2016. p. 1029-1032

SHOULDICE, R. B. et al. Detection of obstructive sleep apnea in pediatric subjects using surface lead electrocardiogram features. **Sleep**, v. 27, n. 4, p. 784-792, 2004.

SISODIA, D. et al. Sleep order detection model using support vector machines and features extracted from brain ECG signals. In: International Conference on Inventive Computing and Informatics (ICICI). IEEE, 2017. p. 1011-1015.

SONG, C. et al. An obstructive sleep apnea detection approach using a discriminative hidden Markov model from ECG signals. IEEE Transactions on Biomedical Engineering, v. 63, n. 7, p. 1532-1542, 2015.

ÍNDICE REMISSIVO

A

ABS 7, 12, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53

Agitação 1, 2, 4, 6, 7, 8, 12, 14, 15, 20, 69, 203, 204, 207

Ângulo de inclinação 105, 106, 107, 111, 114

Anidrido maleico 33, 34, 35, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46

Aspersão térmica 54, 58, 59, 61, 62, 64, 65, 66

B

Banda larga 87, 94, 95

Blenda PS/PCL 68

C

Cicatrização 75, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84

Concreto 96, 97, 98, 100, 103, 104, 136, 226, 229, 230, 232, 233, 234, 235, 237, 238, 239

Construção civil 96, 97, 103

D

Desgaste abrasivo 54, 58, 59, 60, 63, 65, 66

E

Ensino 1, 6, 8, 10, 21, 255

F

Feridas 75, 77, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85

Ferrocarbonila 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95

Filme fino 68

Fotodegradação UV 68

I

Impressão 3D 1, 15

Índice de acidez 17, 18, 19, 20, 21

Índice de peróxido 17, 19, 20, 21

M

Materiais absorvedores de radiação eletromagnética 87, 88, 95

Matlab 105, 106, 107

Mecanismo de reação 33, 35, 39

Medicina regenerativa 75, 76, 77, 78, 79, 80, 83, 84

Mistura 1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 12, 15, 34, 37, 39, 41, 43, 44, 45, 46, 51, 69, 97, 99, 203, 204

Modificação química 33, 38, 39, 40, 41, 46

N

Nanobiomateriais 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84

O

Óleo de soja 17, 19, 21

Operação unitária 2, 23

P

Painéis solares fixos 105

Polipropileno 96, 97, 99, 104

R

Reciclagem 96, 97, 186, 189, 192, 194

Refletividade 87, 90, 91, 92, 93, 94, 95

Reutilização 17, 18, 19, 96, 186, 189, 191, 194

Revestimentos cerâmicos 54, 55, 56, 60, 67

S

Sedimentação 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32

Separação de partículas 22, 23

Sistemas fotovoltaicos 105, 106

Suspensão 4, 22, 23, 24, 25, 27, 28, 30, 32, 203, 204

T

Teste de proveta 22, 23, 24

As Engenharias agregando Conhecimento em Setores Emergentes de Pesquisa e Desenvolvimento

www.atenaeditora.com.br 

contato@atenaeditora.com.br 

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

www.facebook.com/atenaeditora.com.br 

Atena
Editora

Ano 2021

As Engenharias agregando Conhecimento em Setores Emergentes de Pesquisa e Desenvolvimento

www.atenaeditora.com.br 

contato@atenaeditora.com.br 

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

www.facebook.com/atenaeditora.com.br 

Atena
Editora

Ano 2021