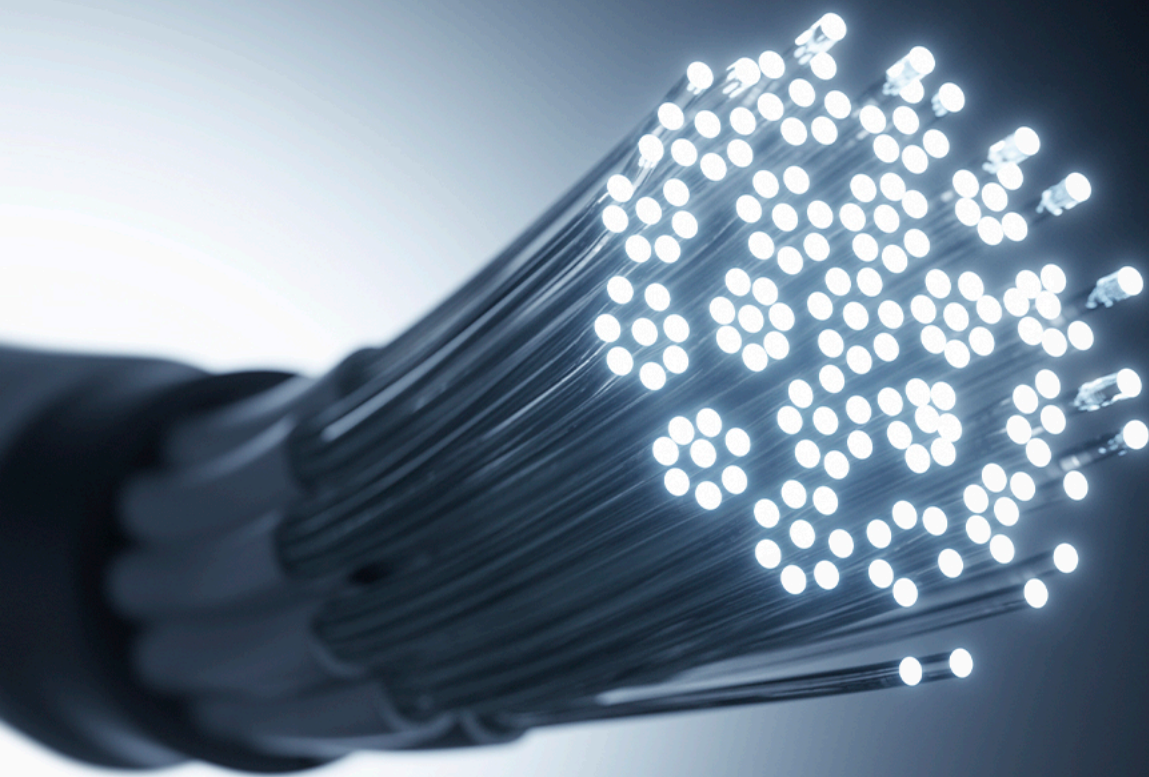


COLEÇÃO
DESAFIOS
DAS
ENGENHARIAS:

ENGENHARIA ELÉTRICA

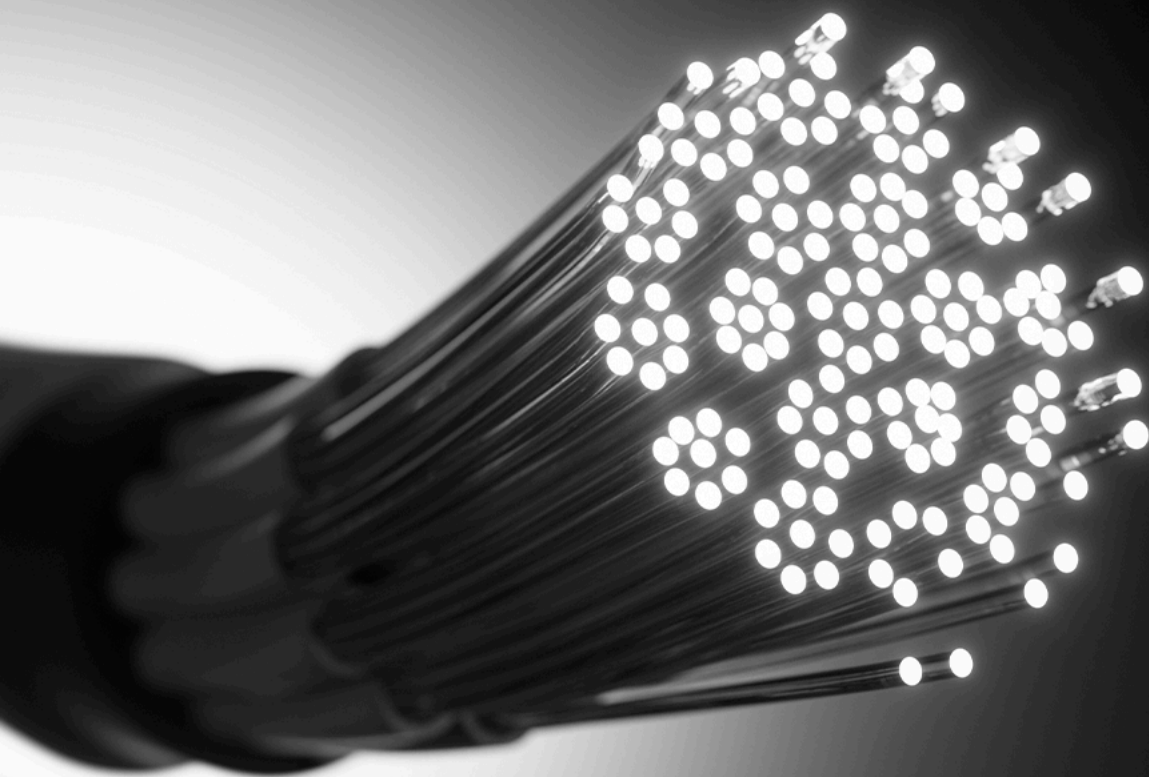


LILIAN COELHO DE FREITAS
(ORGANIZADORA)

Atena
Editora
Ano 2021

COLEÇÃO
DESAFIOS
DAS
ENGENHARIAS:

ENGENHARIA ELÉTRICA



LILIAN COELHO DE FREITAS
(ORGANIZADORA)

Atena
Editora
Ano 2021

Editora chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Assistentes editoriais

Natalia Oliveira

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto gráfico

Natália Sandrini de Azevedo

Camila Alves de Cremo

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

Imagens da capa

iStock

Edição de arte

Luiza Alves Batista

Revisão

Os autores

2021 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2021 Os autores

Copyright da Edição © 2021 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena Editora



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

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

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

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

Conselho Editorial**Ciências Humanas e Sociais Aplicadas**

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

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

Profª Drª Andréa Cristina Marques de Araújo – Universidade Fernando Pessoa

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

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

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

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
 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. Dr. Humberto Costa – Universidade Federal do Paraná
 Prof^a Dr^a 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
 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. Dr. Miguel Rodrigues Netto – Universidade do Estado de Mato Grosso
 Prof. Dr. Pablo Ricardo de Lima Falcão – Universidade de Pernambuco
 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. Saulo Cerqueira de Aguiar Soares – Universidade Federal do Piauí
 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^a Dr^a Vanessa Ribeiro Simon Cavalcanti – Universidade Católica do Salvador
 Prof. Dr. William Cleber Domingues Silva – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
 Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano
 Prof. Dr. Arinaldo Pereira da Silva – Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará
 Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás
 Prof^a Dr^a Carla Cristina Bauermann Brasil – Universidade Federal de Santa Maria
 Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – Universidade Federal da Grande Dourados
 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. Jayme Augusto Peres – Universidade Estadual do Centro-Oeste
 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 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 Federal 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

Coleção desafios das engenharias: engenharia elétrica

Diagramação: Maria Alice Pinheiro
Correção: Flávia Roberta Barão
Revisão: Os autores
Organizadora: Lilian Coelho de Freitas

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)	
C691	Coleção desafios das engenharias: engenharia elétrica / Organizadora Lilian Coelho de Freitas. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2021. Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia ISBN 978-65-5983-260-6 DOI: https://doi.org/10.22533/at.ed.606212207 1. Engenharia elétrica. I. Freitas, Lilian Coelho de (Organizadora). II. Título. CDD 621.3
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 Elétrica é um dos ramos mais abrangentes da Engenharia, pois envolve praticamente tudo o que fazemos em nosso dia a dia. Engloba desde sistemas de potência, geração de energia, conversão eletromecânica de energia, eletrônica, telecomunicações, até engenharia biomédica, sistemas digitais e computadores, controle, automação e robótica. É considerada uma área transdisciplinar e versátil, a qual passa por constantes desafios, conforme cresce a demanda por sistemas mais econômicos e eficientes.

Nesse contexto, o e-book “*Coleção Desafios das Engenharias: Engenharia Elétrica*” apresenta uma seleção de 12 artigos que discutem trabalhos e pesquisas desenvolvidos por professores e acadêmicos de várias regiões do Brasil, tendo como base uma teoria bem fundamentada nos resultados práticos nesta área tão promissora.

Este volume aborda temas envolvendo inteligência computacional, para projeto de controladores e manutenção preditiva de máquinas elétricas; fluxo de carga em sistemas elétricos de potência; sistemas fotovoltaicos; fontes de energia alternativas renováveis; segurança de instalações elétricas; tratamento térmico de resíduos, entre outras. Dessa forma, esta obra contribuirá para aprimoramento do conhecimento de seus leitores e servirá de base referencial para futuras investigações.

A todos, uma ótima leitura!

Lilian Coelho de Freitas

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

A MANUTENÇÃO PREDITIVA NA ANÁLISE DE AVARIAS EM ROLAMENTOS, UTILIZANDO ALGORITMOS DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

Fábio Muniz Mazzoni

André da Silva Barcelos

Antonio J. Marques Cardoso

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6062122071>

CAPÍTULO 2..... 15

MÉTODOS MATEMÁTICOS DE MODELAGEM E OTIMIZAÇÃO: LÓGICA FUZZY

Joelson Lopes da Paixão

Alzenira da Rosa Abaide

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6062122072>

CAPÍTULO 3..... 39

UM ESTUDO SOBRE A ANÁLISE E PROJETO DE CONTROLADORES FUZZY

Géferson Rodrigo Sabino Silva

Wallysonn Alves de Souza

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6062122073>

CAPÍTULO 4..... 47

FLUXO DE CARGA EM SISTEMAS ELÉTRICOS DE POTÊNCIA – UM ESTUDO DE CASO USANDO A LINGUAGEM AMPL

Hugo Andrés Ruiz Flórez

Diogo Marujo

Gloria Patricia Lopez Sepulveda

Alexander Molina Cabrera

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6062122074>

CAPÍTULO 5..... 62

ANÁLISE FÍSICO-QUÍMICA DE BRIQUETES DE RESÍDUOS LIGNOCELULÓSICOS SUBMETIDOS A PIRÓLISE

Victória Oliveira Diaz de Lima

Matheus de Paula Gonçalves

Débora Hungaro Micheletti

Fernanda Bach Gasparin

Amanda de Araújo Drago

Aline Bavaresco dos Santos

Adriana Ferla de Oliveira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6062122075>

CAPÍTULO 6..... 73

ESTUDO DE IMPLEMENTAÇÃO DE SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE ELÉTRICA NO CAMPUS UFRPE - UACSA

Reinel Beltrán Aguedo

Paula de Tarsia Borba de França

Ania Lussón Cervantes

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6062122076>

CAPÍTULO 7..... 86

INTEGRAÇÃO DE FONTES ALTERNATIVAS RENOVÁVEIS DE ENERGIA COM RESTABELECIMENTO OTIMIZADO PARA O AGRONEGÓCIO

Eloi Rufato Junior

Bruno Dias Camargo

Elison de Souza Moreira

Felipe de Souza Kalume

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6062122077>

CAPÍTULO 8..... 116

MEDIDOR DE CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA

Bruno Tiago Carneiro Moraes

Felipe Cléber Silveira

Averton da Silva Portigo

Daniel Soares de Souza

Rafael José Fonseca Barbosa

Franciani Diniz Branco

Marcus Vinícius O. Braga

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6062122078>

CAPÍTULO 9..... 120

FILTRO DE MICROFITA DE BANDA LARGA COM GEOMETRIA ELÍTICA

Paulo Fernandes da Silva Júnior

Ewaldo Eder Carvalho Santana

Paulo Henrique Bezerra de Carvalho

Danilo Diniz Meireles

Francarl Oliveira Moreno

Elder Eldervitch Carneiro de Oliveira

Pedro Carlos de Assis Júnior

Raimundo Carlos Silvério Freire

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6062122079>

CAPÍTULO 10..... 135

TRATAMENTO TÉRMICO DE RESÍDUOS DE PODA URBANA

Eveline Trindade

Maristela Furman

Aline Bavaresco dos Santos

Dilcemara Cristina Zenatti

Adriana Ferla de Oliveira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.60621220710>

CAPÍTULO 11 143

SEGURANÇA DE INSTALAÇÕES ELÉTRICAS EM EMPRESAS TERCEIRIZADAS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Anderson Francisco Kaiser

Marcos Hister Pereira Gomes

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.60621220711>

CAPÍTULO 12 158

REDUCTION OF THE ECOLOGICAL IMPACT OF DISTRIBUTION TRANSFORMERS WHEN USING SILICONE LIQUID IN THE PROVINCE OF ICA - 2013

Primitivo Bacilio Hernández Hernández

Omar Michael Hernández García

Aníbal Bacilio Hernández García

Jessenia Leonor Loayza Gutiérrez

Walter Merma Cruz

Edward Paul Sueros Ticona

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.60621220712>

SOBRE A ORGANIZADORA 170

ÍNDICE REMISSIVO 171

TRATAMENTO TÉRMICO DE RESÍDUOS DE PODA URBANA

Data de aceite: 01/07/2021

Data da submissão: 05/05/2021

Eveline Trindade

Universidade Federal do Paraná, Setor
Palotina, Tecnóloga em Biocombustíveis
Palotina-PR
<http://lattes.cnpq.br/9285537563768617>

Maristela Furman

Universidade Federal do Paraná, Setor
Palotina, Tecnóloga em Biocombustíveis
Palotina-PR
<http://lattes.cnpq.br/3994970241992055>

Aline Bavaresco dos Santos

Universidade Federal do Paraná, Setor
Palotina, Departamento de Engenharias e
Exatas
Palotina-PR
<http://lattes.cnpq.br/1098847351310417>

Dilcemara Cristina Zenatti

Universidade Federal do Paraná, Setor
Palotina, Departamento de Engenharias e
Exatas
Palotina-PR
<http://lattes.cnpq.br/0797353142130104>

Adriana Ferla de Oliveira

Universidade Federal do Paraná, Setor
Palotina, Departamento de Engenharias e
Exatas
Palotina-PR
<http://lattes.cnpq.br/8320953119053085>

RESUMO: A poda de árvores no meio urbano se torna algo fundamental para o bom desenvolvimento das mesmas, aproveitamento da parte aérea e para que não ocorra disputa entre elas e as redes de eletricidade. A poda urbana também se configura como um resíduo que pode ser um passivo ambiental se descartada inadequadamente ou pode ser utilizada como um energético, e a incrementação de energia pode ocorrer por meio da pirólise, produzindo um coproduto mais energético. Diante da importância do aproveitamento desse resíduo para energia este trabalho buscou caracterizar por teor de umidade e análise imediata o resíduo de poda urbana do município de Palotina – PR, antes e depois do processo de torrefação. A torrefação foi conduzida nas temperaturas de 240, 260 e 280 °C e nos tempos de 1, 2 e 3 h. A temperatura e o tempo foram significativos e influenciaram positivamente o aumento do teor de carbono fixo e para o material volátil apenas a temperatura teve efeito significativo, o aumento da temperatura influi negativamente no percentual de material volátil. O teor médio de umidade foi elevado de 68,12 %. O ensaio 4 com temperatura de 280 °C e tempo de 3 h apresentou o maior teor de carbono fixo (63,13 %), menor teor de material volátil (32,74%) e rendimento gravimétrico (41 %), corroborando com os dados da literatura. Sendo assim, o resíduo de poda urbana pode quando submetido a torrefação tornar-se um coproduto de maior valor agregado e com características combustíveis mais interessantes e ainda minimizar os impactos ambientais do destino inadequado.

PALAVRAS - CHAVE: Biomassa. Coproduto.

ABSTRACT: The urban pruning waste becomes something fundamental for their good development, use of the aerial part and so that there is no dispute between them and the electricity networks. Urban pruning is also configured as a waste that can be an environmental liability if disposed of improperly or can be used as an energy source, and the increase in energy can occur through pyrolysis, producing a more energetic product. In view of the importance of using this waste for energy, this work sought to characterize the urban pruning waste in the Palotina – PR city, by moisture content and immediate analysis, before and after the torrefaction process. The torrefaction was carried out at temperatures of 240, 260 and 280 °C and at times of 1, 2 and 3 h. Temperature and time were significant and positively influenced the increase in the fixed carbon content and for the volatile material only the temperature had a significant effect, the increase in temperature negatively influences the percentage of volatile material. The average moisture content was high of 68.12 %. Test 4 with temperature of 280 °C and time of 3 h presented the highest content of fixed carbon (63.13 %), lowest content of volatile material (32.74 %) and gravimetric yield (41 %), corroborating with the literature data. Thus, urban pruning waste can, when subjected to torrefaction, become a co-product of greater added value and with more interesting fuel characteristics and still minimize the environmental impacts of the inadequate destination.

KEYWORDS: Biomass. Co-product. Pyrolysis. Torrefaction. Energy.

1 | INTRODUÇÃO

Os resíduos de poda são considerados grande parte dos resíduos gerados por uma cidade. Quando as implantações dos sistemas elétricos de distribuições e de arborizações são planejadas de formas independentes geram transtorno para os órgãos municipais, resultando disputas entre árvores e as redes de distribuição pelo mesmo espaço físico (CORTEZ et. al, 2008).

Para o bom desenvolvimento das árvores em espaços urbano a poda e a remoção são métodos essenciais, para que não ocorram problemas com o uso das vias públicas e o espaço aéreo das cidades (NOLASCO; MEIRA; GATTI, 2013).

Segundo Silva; Renofio e Margutti (2016), os resíduos de poda urbana na maioria das vezes são descartados em aterros, que ocasionam sérios problemas como de compactação, o material ocupa maior volume, consumindo espaço útil do aterro, reduzindo sua capacidade e ampliando seus custos operacionais.

De acordo com Angelis et. al (2007) estes resíduos ainda têm sua utilização e reciclagem pouco praticada, mas com novas tecnologias que vem surgindo, esse quadro está mudando. Vários meios de se reutilizar e reciclar esses resíduos estão sendo utilizados.

A torrefação é um tratamento térmico da biomassa que produz um combustível com melhores características energéticas (RODRIGUES, 2009). Vidal e Hora (2011) relatam que “a torrefação é semelhante à pirólise, que produz o carvão vegetal, de modo que a madeira torrificada é um produto intermediário entre madeira seca e carvão vegetal” os mesmos

autores descrevem que a torrefação muda as propriedades da biomassa volatilizando a hemicelulose, e a massa resultando em um material hidrofóbico.

Diante do exposto o presente trabalho buscou caracterizar por teor de umidade e análise imediata e o resíduo de poda urbana do município de Palotina – PR, antes e depois do processo de torrefação.

2 | MATERIAL E MÉTODOS

De forma aleatória sem distinção de espécie ou origem do material, do monte de cavacos foram coletados 3 sacos de aproximadamente 2 kg que foram misturados e homogeneizados para produção de uma amostra composta de 1 kg.

Os procedimentos experimentais foram realizados no Laboratório de Química Orgânica da Universidade Federal do Paraná - Setor Palotina. A umidade do cavaco foi determinada pela norma TAPPI T-264 om-88. Em seguida o material foi seco em estufa a 105 °C e moído em moinho tipo Willey e selecionado em conjunto de peneiras 40/60mesh para realização da análise imediata seguindo a normativa ASTM D-3172 até D-3175 (ASTM, 1983) em duplicata, onde determinou-se os teores de carbono fixo (CF), materiais voláteis (MV) e cinzas (CZ). O rendimento gravimétrico foi calculado segundo Protásio et al. (2012).

A torrefação do cavaco foi realizada em forno mufla segundo metodologia adaptada de ARIAS et al. 2007, o delineamento experimental é apresentado na Tabela 1.

Para a análise dos resultados obtidos no processo de torrefação dos cavacos de podas de árvores, utilizou-se um planejamento fatorial 2¹, em que foram consideradas variáveis independentes a temperatura (T (°C)) e o tempo (t(h)) de torrefação, cujos níveis são apresentados na Tabela 2.

Fatores Experimentais	Variáveis codificadas		
	-1	0	+1
T °C	240	260	280
t (h)	1	2	3

Tabela 1. Fatores experimentais e variáveis codificadas do delineamento.

Ensaio		T °C		t(h)
1	-1	240	-1	1
2	1	280	-1	1
3	-1	240	1	3
4	1	280	1	3
5	0	260	0	2
6	0	260	0	2
7	0	260	0	2

Tabela 2. Planejamento fatorial.

Os resultados estatísticos foram obtidos utilizando-se o software STATISTICA™ (versão 8.0 da Star Soft, Inc).

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Segundo o responsável pela empresa terceirizada que realiza o serviço, as árvores podadas no município são: sibipiruna, mangueira, canelinha, grevilha, ipê branco entre outras.

Os resultados encontrados para o teor de umidade e análise imediata são apresentados na Tabela 3 juntamente com dados da literatura. Verifica-se que a umidade varia, uma vez que esta depende do tempo de picagem, estocagem, espécies etc, O trabalho de Petricoski et al (2020) apresenta o teor de umidade mais baixo, uma vez que são briquetes produzidos a partir de podas urbanas e para a compactação é exigido teor de umidade reduzido de 8 a 12 %. No entanto, a briquetagem não altera as propriedades químicas do material sendo observados os teores de CF, MV e CZ semelhantes aos demais autores.

	Este trabalho	Souza, Alencar Mazzonetto (2016)	Martins (2013)	Mazzonetto et al (2012)	Petricoski et al (2020)
U (%)	68,12	36,62	20,99	60,30	8,80
CF	15,97	16,44		11,17	20,23
MV	82,09	75,36		82,37	70,95
CZ	1,94	8,19		6,46	8,25

Tabela 3. Resultados para umidade (U) e Análise Imediata (CF, MV, CZ) para poda urbana.

O material que passou pelo processo de torrefação foi submetido a análise imediata. A Tabela 4 apresenta a matriz do planejamento, com as variáveis nas suas formas codificadas e reais, e os resultados obtidos para carbono fixo (CF), materiais voláteis (MV), cinzas (CZ) e rendimento gravimétrico (RG).

Segundo Rodrigues (2009), este tratamento térmico conduz a padronização das características físico-químicas e mecânicas do material, assim concentrando a energia disponível em um novo produto, com perda de massa limitada.

Para cada combinação de temperatura e tempo de processamento, pode-se obter produtos de diferentes propriedades que podem ser reproduzidos com alta precisão. A densidade energética e os teores de carbono fixo aumentam quando são incrementados os parâmetros de temperatura e tempo, como pode ser observado nos resultados obtidos. O rendimento decresce com o aumento da temperatura como observado nos ensaios 2 e 4 e o poder calorífico aumenta, embora neste trabalho não tenha sido determinado (FELFLI;

Ensaio	T (°C)	t(h)	CF (%)	MV (%)	CZ (%)	RG (%)
1	-1 (240)	-1 (1)	52,18	43,66	4,15	51
2	1 (280)	-1 (1)	56,76	38,46	4,78	44
3	-1 (240)	1 (3)	54,43	40,97	4,61	49
4	1 (280)	1 (3)	63,13	32,74	4,13	41
5	0 (260)	0 (2)	55,67	39,51	4,82	49
6	0 (260)	0 (2)	54,41	41,40	4,18	46
7	0 (260)	0 (2)	54,04	41,57	4,40	46

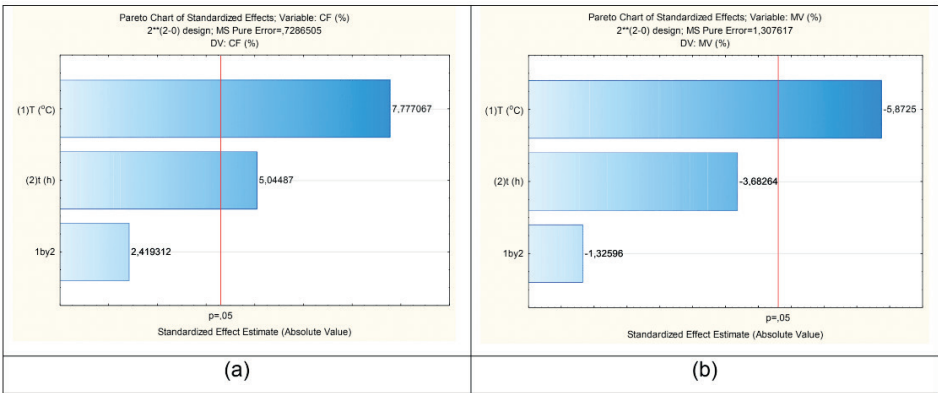
Tabela 4. Resultados para CF, MV, CZ e RG.

Realizou-se análise estatística do experimento usando a matriz do planejamento da Tabela 2. Os ensaios 5,6 e 7 são replicatas realizadas no ponto central do experimento, com intuito de verificar a reprodutibilidade e o erro experimental.

O ensaio 4 com temperatura de 280 °C e tempo de 3 h apresentou o maior teor de carbono fixo (63,13 %), menor teor de material volátil (32,74%) e rendimento gravimétrico (41 %), corroborando com os dados da literatura.

A temperatura e o tempo foram significativos e influenciaram positivamente o aumento do teor de carbono fixo, ou seja, aumentando a temperatura e o tempo aumenta-se o teor de carbono fixo. Para o material volátil apenas a temperatura teve efeito significativo, sendo um efeito negativo, ou seja, o aumento da temperatura influi negativamente no percentual de material volátil. Para as variáveis cinzas e rendimento gravimétrico não observou-se efeito significativo da temperatura e do tempo.

Os resultados do efeito da temperatura e tempo sob as variáveis resposta CF, MV, CZ e RG pode ser observado nos Diagramas de Pareto apresentados na Figura 1.



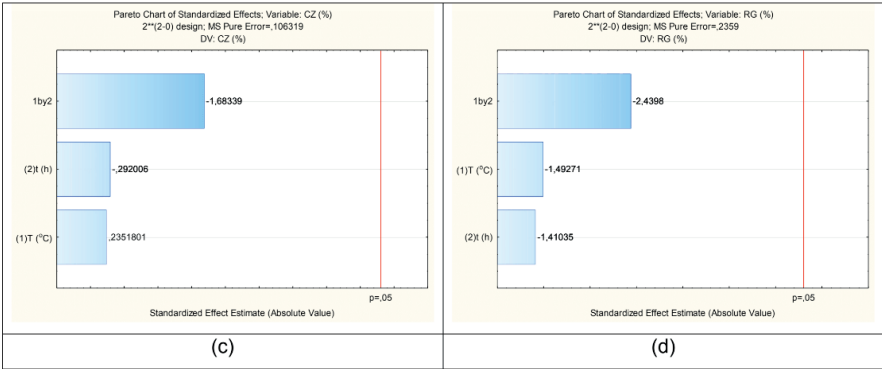


Figura 1. Diagrama de Pareto para carbono fixo (a), material volátil (b), cinzas (c) e rendimento gravimétrico (d).

Combinação temperatura (T) tempo (t)		
Modelo de Regressão	R ²	F _{cal} /F _{tab}
CF(%) = 55,80 + 3,32 T + 2,15 t	0,90	1,50
MV (%) = 39,76 – 3,36 T	0,88	1,19

Tabela 5. Modelos de regressão linear com coeficiente de determinação R² e teste F ($F_{\text{calculado}}/F_{\text{tabelado}}$)

Na Figura 2 são apresentados os gráficos de superfície de resposta para ilustrar o efeito das variáveis independentes; temperatura e tempo; no comportamento do processo.

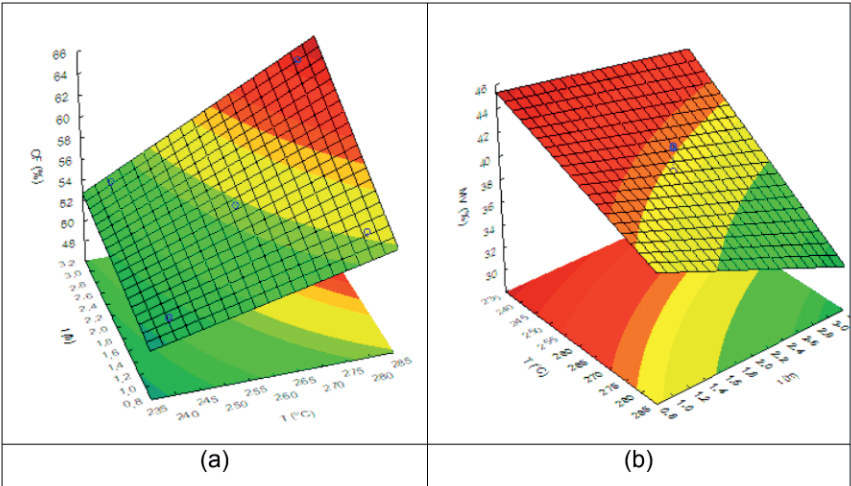


Figura 2. Superfície de resposta para carbono fixo (a) e material volátil (b)

4 | CONCLUSÕES

A umidade elevada de 68,12 % pode estar associada ao tempo que o material estava sendo seco no ambiente e ao fato do armazenamento do material ser a céu aberto. A temperatura e o tempo contribuem positivamente para o incremento do teor de carbono fixo e a temperatura contribui negativamente para a diminuição do teor de material volátil. A torrefação apresenta-se como uma boa alternativa para agregar valor ao resíduo da poda urbana, transformando-o em um coproduto mais interessante energeticamente.

REFERÊNCIAS

- ANGELIS, B. L. D.; SAMPAIO, A. C. F.; TUDINI, O. G.; ASSUNÇÃO, M. G. T.; NETO, G. de A. **Avaliação das árvores de vias públicas da zona central de Maringá, estado do Paraná: estimativa de produção de resíduos e destinação final.** Acta Sci. Agron. Maringá, v 29, n.1, p. 133-140, 2007.
- ARIAS, B.; PEVIDA, C.; FERMOSE, J.; PLAZA, M. G.; RUBIERA, F.; PIS, J. J. **Influence of torrefaction on the grindability and reactivity of woody biomass.** Fuel Processing Technology v.89 p.169 – 175. 2007.
- CORTEZ, C. L.; GRISOLI, R.; GAVIOLI, F.; COELHO, S. T.; CARMELO, S. **Alternativa sustentável para utilização de resíduos de poda provenientes da manutenção das redes de distribuição de energia elétrica.** 2008. Disponível em: <http://143.107.4.241/download/publicacoes/podaagrener04jun2008.pdf> Acesso em: 24/11/2016.
- FELFLI, F. E. F.; LUENGO, C. A.; SOLER, P. B. **Torrefação de Biomassa: Características, Aplicações e Perspectivas.** 2003. An. 3. Enc. Energ. Meio Rural.
- MARTINS, C. H. **O aproveitamento de madeiras das podas da arborização viária de Maringá/PR.** Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável, 8(2), 257-267. 2013.
- MAZZONETTO, A. W.; VISSOTTO, J. P.; NEVES, R. C.; SÁNCHEZ, E. M. S.; SÁNCHEZ, C. C. **Caracterização de resíduos de poda, capina e serragem urbana para geração de energia.** CONEM, Congresso Nacional de Engenharia Mecânica. 2012. São Luís 2012.
- NOLASCO, A. M.; MEIRA, A. M.; GATTI, R. C. **Capacitação de gestores públicos em gerenciamento de resíduos da arborização urbana.** Revista de Cultura e Extensão USP, v. 9, p. 65-73, 2013.
- PETRICOSKI, S. M.; FEIDEN, A.; FERLA-OLIVEIRA, A.; TOKURA, L. K.; SIQUEIRA, J. A. C.; BONASSA, G.; ZILLI, B. M.; GENTELINI-MARQUEZ, D. P.; SOUZA, S.N.M.; FEIDEN, C. A.; FEIDEN, E. A.; MARTINEZ, A. S.; **Briquettes Produced With a Mixture of Urban Pruning Waste, Glycerin and Cassava Processing Residue.** Journal of Agricultural Science; Vol. 12, No. 6; 2020.
- PROTÁSIO, T. de P.; TRUGILHO, P. F.; NEVES, T. A.; VIEIRA, C. M. M. **Análise de correlação canônica entre características da madeira e do carvão vegetal de Eucalyptus.** Scientia Forestalis, Piracicaba, v. 40, n. 95, p. 317-326, set. 2012.
- RODRIGUES, T. O. **Efeitos da torrefação no condicionamento de biomassa para fins energéticos.** 2009. 71 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade de Brasília, Brasília, 2009.

SILVA, M. J. D.; RENOFIO, T. C. Z.; MARGUTTI, M. C. **A Reutilização dos Resíduos das Podas de Árvores e o Levantamento Regional dos tipos de Árvores**. 2016. Disponível em: <http://web-resol.org/textos/2009-levantamento_regional_manuel.pdf>. Acesso em: 24 nov. 2016.

SOUZA, N. R. D.; ALENCAR, L. S.; MAZZONETTO, A. W. **Potencial energético do resíduo das podas de árvores no município de Piracicaba – SP**. Energ. Agric., Botucatu, vol. 31, n.3, p.237-245, julho-setembro, 2016.

VIDAL, A. C. F.; HORA, A. B. da. **Perspectivas do setor de biomassa de madeira para a geração de energia**. BNDES Setorial, n. 33, mar. 2011, p. 261-314, 2011.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Agronegócio 11, 45, 86, 87, 112

AMPL 10, 47, 48, 49, 52, 53, 55, 58, 59, 61

Arduino Uno 116, 117, 118

B

Biocombustíveis Sólidos 62

Biomassa 24, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 72, 88, 89, 90, 91, 95, 100, 101, 103, 107, 108, 113, 135, 136, 137, 141, 142

C

Canteiro de Obras 143, 144, 145, 150, 151, 152, 154, 156

Carbonização 62, 64, 68, 69, 71

Construção Civil 143, 144, 145, 147, 148, 149, 150, 151, 154, 156

Consumo 11, 24, 63, 78, 83, 96, 98, 100, 101, 103, 108, 109, 112, 116, 117, 118

Controladores Fuzzy 10, 39, 44, 45

Cooperativa 143, 145, 148, 149, 151, 153, 156

Coproduto 135, 141

Corrente 1, 5, 12, 75, 80, 91, 97, 98, 99, 102, 104, 106, 107, 108, 116, 117, 146

D

Dielectric Fluid 159

E

Energia 9, 11, 2, 5, 8, 16, 23, 24, 25, 26, 27, 29, 31, 32, 33, 34, 35, 37, 38, 48, 61, 62, 63, 64, 65, 69, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 80, 81, 82, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 107, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 114, 116, 117, 118, 119, 122, 123, 135, 136, 138, 141, 142, 150, 151

Energia Elétrica 11, 2, 24, 25, 31, 33, 34, 35, 37, 61, 73, 74, 76, 80, 84, 85, 86, 87, 89, 90, 91, 94, 95, 96, 98, 100, 102, 104, 108, 109, 111, 112, 113, 114, 116, 118, 141, 150

Environmental Management System 159

Excentricidade 120, 124, 125, 126, 127, 128, 129, 130, 131, 132

F

Filtros Planares 120, 122, 124

Fluxo de Carga 9, 10, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 57, 58, 61

Fontes Renováveis 24, 63, 87, 89, 114

Fuzzy 10, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 23, 24, 25, 26, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 36, 37, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46

G

Geometria Elíptica 120, 124, 125, 131

I

Identificação de falhas em rolamentos 1

Inteligência Artificial 10, 1, 3, 12, 13, 15, 16

L

Lógica Fuzzy 10, 15, 16, 17, 20, 23, 36, 37, 39, 40, 44, 45

M

Mamdani 18, 19, 20, 39, 40, 44

Medidor 11, 116, 117, 118, 119

Motor de indução trifásico 1

O

Otimização Matemática 47, 48, 49, 53, 61

P

Pirólise 10, 62, 68, 135, 136

R

Reconfiguração Automática 87, 89, 94, 114

Redes Inteligentes 86, 87, 88, 91

Resíduos Agroindustriais 62, 63

S

SIF 15, 16, 17, 19, 20, 21, 23, 24, 28, 31, 32, 33, 34, 35

Sistemas Elétricos de Potência 9, 10, 47

Sistemas Fotovoltaicos 9, 23, 73, 77

Solver Knitro 47

Sombreamento 73, 74, 75, 76, 77, 79, 80, 81, 82, 84, 85

Sustentabilidade 27, 63, 73, 84, 86

T

Tensão 51, 74, 87, 91, 92, 94, 95, 97, 98, 99, 102, 104, 106, 107, 108, 113, 116, 117, 150

Terceirizados 143, 144, 145, 146, 151, 156, 157

Torrefação 62, 64, 68, 69, 70, 71, 135, 136, 137, 138, 141

Transformadas no domínio tempo-frequência 1

Transformer 159

V

Viabilidade 66, 73, 74, 77, 82, 84, 85, 86, 88, 93, 108, 110, 114

COLEÇÃO **DESAFIOS** DAS **ENGENHARIAS:**

ENGENHARIA ELÉTRICA



www.atenaeditora.com.br



contato@atenaeditora.com.br



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



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

COLEÇÃO **DESAFIOS** DAS **ENGENHARIAS:**

ENGENHARIA ELÉTRICA



www.atenaeditora.com.br



contato@atenaeditora.com.br



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



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