

Atena
Editora
Ano 2021

ENGENHARIA ELÉTRICA: O MUNDO SOB PERSPECTIVAS AVANÇADAS

João Dallamuta
Henrique Ajuz Holzmann
(Organizadores)



Atena
Editora
Ano 2021

ENGENHARIA ELÉTRICA: O MUNDO SOB PERSPECTIVAS AVANÇADAS

João Dallamuta
Henrique Ajuz Holzmann
(Organizadores)



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 Cremona

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

Imagens da Capa

Shutterstock

Edição de Arte

Luiza Alves Batista

Revisão

Os Autores

2021 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2021 Os autores

Copyright da Edição © 2021 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.



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

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

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

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

Conselho Editorial

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

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

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

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

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

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

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

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

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

Ciências Biológicas e da Saúde

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

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

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

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

Linguística, Letras e Artes

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

Conselho Técnico Científico

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

Profª Ma. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco
Prof. Me. Douglas Santos Mezacas – Universidade Estadual de Goiás
Prof. Me. Edevaldo de Castro Monteiro – Embrapa Agrobiologia
Prof. Me. Edson Ribeiro de Britto de Almeida Junior – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Me. Eduardo Gomes de Oliveira – Faculdades Unificadas Doctum de Cataguases
Prof. Me. Eduardo Henrique Ferreira – Faculdade Pitágoras de Londrina
Prof. Dr. Edwaldo Costa – Marinha do Brasil
Prof. Me. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita
Prof. Me. Ernane Rosa Martins – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Prof. Me. Euvaldo de Sousa Costa Junior – Prefeitura Municipal de São João do Piauí
Prof. Dr. Everaldo dos Santos Mendes – Instituto Edith Theresa Hedwing Stein
Prof. Me. Ezequiel Martins Ferreira – Universidade Federal de Goiás
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
Prof. Me. Francisco Sérgio Lopes Vasconcelos Filho – Universidade Federal do Cariri
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/UFGA
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 Fenomenología & Subjetividade/UFPR
Prof. Me. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Ma. Lilian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará
Profª Ma. Lilian de Souza – Faculdade de Tecnologia de Itu
Profª Ma. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ
Profª Drª Lúvia 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
Profª Ma. Luana Ferreira dos Santos – Universidade Estadual de Santa Cruz
Profª Ma. Luana Vieira Toledo – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados
Prof. Me. Luiz Renato da Silva Rocha – Faculdade de Música do Espírito Santo
Profª Ma. Luma Sarai de Oliveira – Universidade Estadual de Campinas
Prof. Dr. Michel da Costa – Universidade Metropolitana de Santos

Prof. Me. Marcelo da Fonseca Ferreira da Silva – Governo do Estado do Espírito Santo
Prof. Dr. Marcelo Máximo Purificação – Fundação Integrada Municipal de Ensino Superior
Prof. Me. Marcos Aurelio Alves e Silva – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo
Profª Ma. Maria Elanny Damasceno Silva – Universidade Federal do Ceará
Profª Ma. Marileila Marques Toledo – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Prof. Dr. Pedro Henrique Abreu Moura – Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais
Prof. Me. Pedro Panhoca da Silva – Universidade Presbiteriana Mackenzie
Profª Drª Poliana Arruda Fajardo – Universidade Federal de São Carlos
Prof. Me. Rafael Cunha Ferro – Universidade Anhembi Morumbi
Prof. Me. Ricardo Sérgio da Silva – Universidade Federal de Pernambuco
Prof. Me. Renan Monteiro do Nascimento – Universidade de Brasília
Prof. Me. Renato Faria da Gama – Instituto Gama – Medicina Personalizada e Integrativa
Profª Ma. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal
Prof. Me. Robson Lucas Soares da Silva – Universidade Federal da Paraíba
Prof. Me. Sebastião André Barbosa Junior – Universidade Federal Rural de Pernambuco
Profª Ma. Silene Ribeiro Miranda Barbosa – Consultoria Brasileira de Ensino, Pesquisa e Extensão
Profª Ma. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo
Profª Ma. Taiane Aparecida Ribeiro Nepomoceno – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Faculdade Regional Jaguaribana
Profª Ma. 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

Engenharia elétrica: o mundo sob perspectivas avançadas

Bibliotecária: Janaina Ramos
Diagramação: Maria Alice Pinheiro
Correção: Mariane Aparecida Freitas
Edição de Arte: Luiza Alves Batista
Revisão: Os Autores
Organizadores: João Dallamuta
Henrique Ajuz Holzmann

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

E57 Engenharia elétrica: o mundo sob perspectivas avançadas / Organizadores João Dallamuta, Henrique Ajuz Holzmann. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2021.

Formato: PDF
Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader
Modo de acesso: World Wide Web
Inclui bibliografia
ISBN 978-65-5983-013-8
DOI 10.22533/at.ed.138211305

1. Engenharia elétrica. I. Dallamuta, João (Organizador). II. Holzmann, Henrique Ajuz (Organizador). III. 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.

APRESENTAÇÃO

A engenharia elétrica tornou-se uma profissão há cerca de 130 anos, com o início da distribuição de eletricidade em caráter comercial e com a difusão acelerada do telégrafo em escala global no final do século XIX.

Na primeira metade do século XX a difusão da telefonia e da radiodifusão além do crescimento vigoroso dos sistemas elétricos de produção, transmissão e distribuição de eletricidade, deu os contornos definitivos para a carreira de engenheiro eletricista que na segunda metade do século, com a difusão dos semicondutores e da computação gerou variações de ênfase de formação como engenheiros eletrônicos, de telecomunicações, de controle e automação ou de computação.

Não há padrões de desempenho em engenharia elétrica que sejam duradouros. Desde que Gordon E. Moore fez a sua clássica profecia tecnológica, em meados dos anos 60, a qual o número de transistores em um chip dobraria a cada 18 meses - padrão este válido até hoje – muita coisa mudou. Permanece porém a certeza de que não há tecnologia na neste campo do conhecimento que não possa ser substituída a qualquer momento por uma nova, oriunda de pesquisa científica nesta área.

Produzir conhecimento em engenharia elétrica é, portanto, atuar em fronteiras de padrões e técnicas de engenharia. Algo desafiador para pesquisadores e engenheiros.

Neste livro temos uma diversidade de temas nas áreas níveis de profundidade e abordagens de pesquisa, envolvendo aspectos técnicos e científicos. Aos autores e editores, agradecemos pela confiança e espírito de parceria.

Boa leitura!

João Dallamuta
Henrique Ajuz Holzmann

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

FUSÃO DE SENSORES INERCIAIS BASEADA EM FILTRO DE KALMAN

Carolina Barbosa Amaro Dias

DOI 10.22533/at.ed.1382113051

CAPÍTULO 2..... 14

TRANSIÇÃO ENERGÉTICA DO SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO: PRINCIPAIS DESAFIOS E OPORTUNIDADES

Laura Vieira Maia de Sousa

Paula Meyer Soares

DOI 10.22533/at.ed.1382113052

CAPÍTULO 3..... 30

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA, PESQUISA E DESENVOLVIMENTO E GERAÇÃO FOTOVOLTAICA NA UFAC (UNIVERSIDADE FEDERAL DO ACRE)

Pedro Henrique Melo Costa

Thiago Melo de Lima

Antonio Carlos Alves de Farias

Rennard de Oliveira Brito

DOI 10.22533/at.ed.1382113053

CAPÍTULO 4..... 44

ANÁLISE DOS ASPECTOS SAZONAIS DA NEBULOSIDADE NO PROJETO DE INSTALAÇÕES FOTOVOLTAICAS FIXAS EM BRASÍLIA/DF

Licinius Dimitri Sá de Alcantara

Mayara Soares Campos

DOI 10.22533/at.ed.1382113054

CAPÍTULO 5..... 57

TÉCNICA PREDITIVA DE SEGUIMENTO DO PONTO DE POTÊNCIA MÁXIMA GLOBAL DE ARRANJOS FV EM SOMBREAMENTO PARCIAL

Paulo Robson Melo Costa

Lucas Taylan Ponte Medeiros

Isaac Rocha Machado

Marcus Rogério de Castro

DOI 10.22533/at.ed.1382113055

CAPÍTULO 6..... 76

ANÁLISE DE TOPOLOGIAS EM TRAÇADOR DE CURVA I-V APLICADOS EM MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

Ana Lyvia Pereira Lima de Araújo

Arthur Vinicius dos Santos Lopes

Adson Bezerra Moreira

DOI 10.22533/at.ed.1382113056

CAPÍTULO 7	94
METODOLOGIA PARA GERENCIAMENTO E MANEJO DE CARGA APLICADA A CONSUMIDORES RESIDENCIAIS COM GERAÇÃO DISTRIBUÍDA	
Andrei da Cunha Lima Laura Lisiane Callai dos Santos	
DOI 10.22533/at.ed.1382113057	
CAPÍTULO 8	113
ESTUDO DO SISTEMA DE CONVERSÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA DE ÚNICO ESTÁGIO COM CONEXÃO DIRETA AO SISTEMA ELÉTRICO TRIFÁSICO	
Lucas Taylan Ponte Medeiros Paulo Robson Melo de Costa Ângelo Marcilio Marques dos Santos Leonardo Pires de Sousa Silva Denisia de Vasconcelos Mota Adson B. Moreira	
DOI 10.22533/at.ed.1382113058	
CAPÍTULO 9	129
ESTUDO PARA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA ATRAVÉS DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS	
André Favetta Daniel Augusto Pagi Ferreira Maurício José Bordon	
DOI 10.22533/at.ed.1382113059	
CAPÍTULO 10	142
ESTUDO DAS CAUSAS DE SNAIL TRAILS EM MÓDULOS FOTOVOLTAICOS DE SILÍCIO CRISTALINO: REVISÃO.	
Neolmar de Matos Filho Dênio Alves Cassini Túlio Pinheiro Duarte Antônia Sônia Alves Cardoso Diniz	
DOI 10.22533/at.ed.13821130510	
CAPÍTULO 11	156
THE IMPACT OF THE FREQUENCY DEPENDENCE OF SOIL ELECTRICAL PARAMETERS ON LIGHTNING OVERVOLTAGES DEVELOPED IN A 138 KV TRANSMISSION LINE	
Felipe Mendes de Vasconcellos Fernando Augusto Moreira Rafael Silva Alípio	
DOI 10.22533/at.ed.13821130511	
CAPÍTULO 12	170
A INFLUÊNCIA DO EFEITO DEPENDENTE DA FREQUÊNCIA DOS PARÂMETROS ELÉTRICOS DO SOLO SOBRE O DESEMPENHO DE LINHAS DE TRANSMISSÃO FRENTE A DESCARGAS ATMOSFÉRICAS	
Felipe Mendes de Vasconcellos	

Fernando Augusto Moreira

Rafael Silva Alípio

DOI 10.22533/at.ed.13821130512

CAPÍTULO 13..... 189

AVALIAÇÃO DO EFEITO DEPENDENTE DA FREQUÊNCIA DOS PARÂMETROS DO SOLO NA RESPOSTA IMPULSIVA DO ATERRAMENTO E NAS SOBRETENSÕES DE ORIGEM ATMOSFÉRICA EM LINHAS DE TRANSMISSÃO

Felipe Mendes de Vasconcellos

Fernando Augusto Moreira

Rafael Silva Alípio

DOI 10.22533/at.ed.13821130513

CAPÍTULO 14..... 207

CONVERSORES E INVERSORES PARA ACIONAMENTO E CONTROLE DE UM VEÍCULO ELÉTRICO HÍBRIDO

Moisés de Mattos Dias

Niklaus Veit Lauxen

Marco Antônio Fröhlich

Claudionor Atílio Vingert

Giuseppe Guilherme Mergener Vingert

Luiz Carlos Gertz

Alessandro Sarmiento dos Santos

José Lesina Cezar

Patrice Monteiro de Aquim

Jonathan Moling

Gabriel Mateus Neumann

Nickolas Augusto Both

Monir Goethel Borba

Lirio Schaeffer

DOI 10.22533/at.ed.13821130514

CAPÍTULO 15..... 221

ESTUDO DA TECNOLOGIA DE FRENAGEM REGENERATIVA E SEU IMPACTO NA AUTONOMIA DE VEÍCULOS ELÉTRICOS ALIMENTADOS POR BATERIAS

Gabriel Silva de Marchi Benedito

Daniel Augusto Pagi Ferreira

DOI 10.22533/at.ed.13821130515

CAPÍTULO 16..... 238

PATH PLANNING COLLISION AVOIDANCE USING REINFORCEMENT LEARNING

Josias Guimarães Batista

Emerson Verar Aragão Dias

Felipe José de Sousa Vasconcelos

Kaio Martins Ramos

Darielson Araújo de Souza

José Leonardo Nunes da Silva

DOI 10.22533/at.ed.13821130516

CAPÍTULO 17.....	252
CONTROLE DE PRECISÃO PARA PRÓTESES MECÂNICAS	
Haniel Nunes Pereira Pinheiro	
Ronaldo Domingues Mansano	
DOI 10.22533/at.ed.13821130517	
CAPÍTULO 18.....	266
ESTUDO DA VIABILIDADE DO MEDIDOR DE FREQUÊNCIA RESPIRATÓRIA FLOW™ E ADAPTAÇÃO PARA A IDENTIFICAÇÃO DE PATOLOGIAS	
Camila de Souza Gomes	
Ana Carolina Silva de Aquino	
Gabriela Haydee Mayer de Figueiredo Barbosa	
Maria Eduarda Santos Amaro	
Sergio Murilo Castro Cravo de Oliveira	
Lilian Regina de Oliveira	
DOI 10.22533/at.ed.13821130518	
CAPÍTULO 19.....	280
OTIMIZAÇÃO GEOMÉTRICA E AUTOMATIZAÇÃO PARA UM PASTEURIZADOR COM CONCENTRADOR CILÍNDRICO-PARABÓLICO	
Gustavo Krause Vieira Garcia	
Antonio Lucas dos Santos Carlos	
Neemias Dantas Fernandes	
Taciano Amaral Sorrentino	
DOI 10.22533/at.ed.13821130519	
CAPÍTULO 20.....	297
ESTUDO DA SECAGEM SOLAR DE BIOMASSA DE LARANJA COM CONVECÇÃO NATURAL E FORÇADA	
Mariana de Miranda Oliveira	
Leandro Antônio Fonseca Domingues	
Andrea Lucia Teixeira Charbel	
DOI 10.22533/at.ed.13821130520	
CAPÍTULO 21.....	307
ANÁLISE DA DISTRIBUIÇÃO DE TEMPERATURA NO CAPACITOR TÉRMICO DE UM SECADOR SOLAR DE EXPOSIÇÃO INDIRETA	
Brenda Fernandes Ribeiro	
Antonio Gomes Nunes	
DOI 10.22533/at.ed.13821130521	
CAPÍTULO 22.....	321
MODELAGEM E CONTROLE DE UMA PLATAFORMA EXPERIMENTAL DO TIPO GANGORRA DE EIXO ÚNICO	
Reinel Beltrán Aguedo	
Ricardo José de Farias Silva	
Ania Lussón Cervantes	
DOI 10.22533/at.ed.13821130522	

CAPÍTULO 23..... 335

DESSALINIZADOR SOLAR PORTÁTIL PARA APLICAÇÃO EM COMUNIDADES RURAIS NO RIO GRANDE DO NORTE

Paulo Vinícius de Souza Oliveira
Fabiana Karla de Oliveira Martins Varella Guerra
Luiz José de Bessa Neto
Vitória Caroline Carvalho do Nascimento

DOI 10.22533/at.ed.13821130523

CAPÍTULO 24..... 350

IMPLEMENTAÇÃO DE UMA PLATAFORMA DIDÁTICA COMPUTACIONAL APLICADA À ANÁLISE DE CIRCUITOS ELÉTRICOS EM UM AMBIENTE DE CÓDIGO ABERTO - SCIENTIFIC LABORATORY (SCILAB)

Matheus Silva Pestana
Danúbia Soares Pires
Orlando Donato Rocha Filho

DOI 10.22533/at.ed.13821130524

CAPÍTULO 25..... 363

AVALIAÇÃO ENERGÉTICA DO CICLO DE VIDA: ESTUDO DE CASO APLICADO A CONSTRUÇÃO CIVIL

Mauricio Andrade Nascimento
Ednildo Andrade Torres

DOI 10.22533/at.ed.13821130525

CAPÍTULO 26..... 391

MONITORAÇÃO REMOTA DE RESERVATÓRIOS LÍQUIDOS UTILIZANDO O MÓDULO ESP32-LoRa

Maria Eduarda Aparecida Gil
Thiago Timoteo Henrique
Getúlio Teruo Tateoki

DOI 10.22533/at.ed.13821130526

CAPÍTULO 27..... 397

S.A.C SISTEMA DE ASSISTÊNCIA AO CICLISTA

Ricardo Bussons da Silva
Alexandre Henrique Ferreira Rodrigues
Deivid Roberto Almeida Vasconcellos
Rian Guilherma Braga de Lima
San-Cleir Neto Silva Orlanlandes
Victor Manoel Rosa de Moraes

DOI 10.22533/at.ed.13821130527

CAPÍTULO 28..... 402

UMA ABORDAGEM BASEADA EM APRENDIZADO DE MÁQUINA E DESCRITORES ESTATÍSTICOS PARA O DIAGNÓSTICO DE FALHAS EM ROLAMENTOS DE MÁQUINAS ROTATIVAS

Lucas de Oliveira Soares

Luiz Alberto Pinto
Diego Assereuy Lobão

DOI 10.22533/at.ed.13821130528

SOBRE OS ORGANIZADORES	415
ÍNDICE REMISSIVO.....	416

DESSALINIZADOR SOLAR PORTÁTIL PARA APLICAÇÃO EM COMUNIDADES RURAIS NO RIO GRANDE DO NORTE

Data de aceite: 01/05/2021

Data de submissão: 29/01/2021

Paulo Vinicius de Souza Oliveira

Universidade Federal Rural do Semiárido
Mossoró – Rio Grande do Norte (RN)
<http://lattes.cnpq.br/1462887960073090>

Fabiana Karla de Oliveira Martins Varella Guerra

Universidade Federal Rural do Semiárido
Mossoró – Rio Grande do Norte (RN)
<http://lattes.cnpq.br/2711699996455302>

Luiz José de Bessa Neto

Universidade Federal Rural do Semiárido
Mossoró – Rio Grande do Norte (RN)
<http://lattes.cnpq.br/7789507016133689>

Vitória Caroline Carvalho do Nascimento

Universidade Federal Rural do Semiárido
Mossoró – Rio Grande do Norte (RN)
<http://lattes.cnpq.br/3121122875465500>

RESUMO: Com a escassez de água se tornando um problema cada vez mais crônico ao redor do mundo, surge a necessidade de produzir água através de processos de dessalinização. A dessalinização ou destilação solar, caracteriza-se por ser um processo simples e barato, utilizando a energia proveniente do sol para produzir água de boa qualidade. Dessa forma, o presente trabalho tem como proposta projetar e construir um destilador solar portátil de cobertura piramidal que reúna eficiência e portabilidade,

para ser utilizado em locais que tem dificuldade de acesso à água potável, como nas zonas rurais do Rio Grande do Norte. Para fins de estudo e verificação do funcionamento do equipamento, foram realizados ensaios onde foram medidos parâmetros em diferentes locais do protótipo. Ao fim dos ensaios, analisou-se o comportamento do destilador solar através dos indicadores medidos, onde este apresentou um bom comportamento, alcançando uma eficiência superior a 20%.

PALAVRAS - CHAVE: Destilação solar, Energia Solar, Água Salobra.

PORTABLE SOLAR DESALINATION SYSTEM FOR APPLICATION IN RURAL COMMUNITIES IN RIO GRANDE DO NORTE

ABSTRACT: Water scarcity become an increasingly chronic problem around the world, there is a need to produce water through desalination processes. Desalination or solar distillation is a simple and inexpensive process using the energy from the sun to produce good quality water. Thus, the present work aims to design and build a portable pyramidal solar distiller that combines efficiency and portability, to be used in places that have difficulty accessing drinking water, such as in rural areas of Rio Grande do Norte. For purposes of study and verification of the equipment operation, tests were performed where parameters were measured at different locations of the prototype. At the end of the tests, the behavior of the solar distiller was analyzed through the measured indicators, where it presented well, reaching an efficiency above 20%.

KEYWORDS: Solar Distillation, Solar Energy, Brackish Water.

1 | INTRODUÇÃO

A água se tornou um bem cada vez mais precioso, devido à sua crescente escassez. O clima semiárido que compõe a maior parte do Rio Grande do Norte (RN), apresenta ausência de chuvas em grande parte do ano (MARINHO, 2012). Em função da dificuldade de muitas famílias terem acesso ao recurso de qualidade, soluções como produzir água potável através de água do mar e de água salobra, vem ganhando cada vez mais espaço.

Dentre as tecnologias para a produção de água potável, segundo Faria *et al.* (2015), a destilação solar surge como uma solução atraente, visto que é sustentável, não gera poluentes, é de fácil manuseio e de baixo custo. O destilador solar apresenta funcionamento semelhante ao ciclo natural da água, de forma que a energia solar evapora a água salgada ou salobra que fica depositada no equipamento, condensando-a posteriormente em água potável para consumo humano, apresentando alto grau de pureza (FARIA *et al.*, 2015).

Por todo o exposto, o presente artigo tem como objetivo confeccionar um destilador solar visando auxiliar a qualidade de vida da população que reside em áreas rurais, e tem como foco a portabilidade deste protótipo, pois agrega a possibilidade de transportar o sistema para diferentes lugares em comunidades rurais do RN.

2 | DESTILAÇÃO SOLAR

Segundo Soares (2004), a destilação solar pode ser definida basicamente como o processo onde, através do aquecimento da água salobra ou salgada pelos raios solares, ocorre a produção de vapor d'água que é condensado em uma superfície e coletado como água purificada. No destilador solar, a radiação atravessa o vidro aquecendo a água salobra, fazendo com que ela evapore, o vapor sobe e é condensado na parte interna do teto de vidro do destilador, onde escorre até ser coletado nas canaletas (SÁ, 2012).

Os destiladores solares podem ser classificados em duas categorias, os sistemas ativos e passivos. Nos sistemas ativos, além do aproveitamento da radiação solar, é aplicada uma parcela extra de energia ao destilador, buscando acelerar o processo de evaporação (JORGE, 2011). Essa energia extra provém de equipamentos externos, como o coletor solar plano, por exemplo, sendo esse tipo de sistema mais utilizado para escala comercial devido à sua maior eficiência (TEXEIRA, 2013).

Segundo Teixeira (2013), os sistemas passivos não utilizam fonte extra, utilizando apenas a energia do sol para evaporar a água, o que torna o processo mais lento, porém menos dispendioso, sendo assim economicamente viável para o fornecimento de água potável. Esse tipo de sistema será o foco deste trabalho e por isso será estudado com mais detalhes.

2.1 Destilador solar com cobertura piramidal

O destilador solar com cobertura piramidal é caracterizado por possuir a possibilidade de captar a energia solar através de quatro faces, o que possibilita a absorção da radiação por todos os lados, trazendo versatilidade ao equipamento, visto que ele não sofrerá perda de eficiência devido ao posicionamento do sol (RIBEIRO *et al.*, 2008). O funcionamento do referido destilador é semelhante ao do tipo convencional, pois a água salobra fica armazenada em uma bacia retangular no interior do equipamento, onde a radiação solar aquece e evapora a água, condensando-a no teto piramidal que possui uma angulação pré-definida, que facilita o escoamento da água destilada para o reservatório final.

2.2 Eficiência da destilação solar

A eficiência de um destilador solar relaciona-se à sua capacidade de aproveitar a energia inserida sobre o sistema para realizar o processo de destilação da água salobra. Essa eficiência é um fator dependente de diversos fatores, como os materiais utilizados, as dimensões, a localização geográfica, regime de ventos, etc. De toda a energia que incide sobre o destilador solar, apenas de 38% a 43% são utilizados no processo de evaporação da água salobra, limitando assim a eficiência do sistema (SILVEIRA, 2014). Com isso, um projeto bem elaborado juntamente com um local adequado são fundamentais para que o sistema de dessalinização solar apresente bons índices de eficiência.

3 | MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Construção do destilador solar

Os materiais utilizados na construção foram escolhidos visando o maior custo-benefício, além de garantir uma boa isolamento, resistência à temperatura e durabilidade. Os ensaios foram realizados no entorno do prédio de Engenharias I da Universidade Federal Rural do Semiárido (UFERSA), Campus Leste, na cidade de Mossoró/RN.

3.1.1 Tanque

O tanque do destilador solar foi construído de vidro comum de 4 mm de espessura, cuja vedação foi realizada com silicone. O reservatório possui formato de base quadrada, com 0,0576 m², altura de 10 cm, totalizando 0,00576 m³, dessa forma o tanque tem capacidade de suportar até 5,76 litros de água salobra. A Fig. 1 apresenta o reservatório do destilador construído.

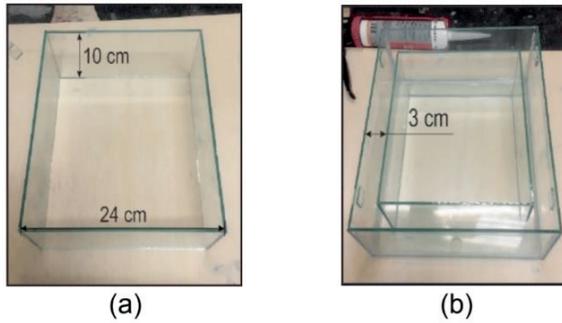


Figura 1: Reservatório: (a) Individualmente (b) Inserido no destilador (Oliveira, 2018).

3.1.2 Cobertura

Foi utilizado em sua construção vidro comum de 4 mm de espessura. Para a estrutura de cobertura do tipo piramidal optou-se por utilizar o ângulo de 25° , que, segundo Soares (2004), permite atingir maior otimização do projeto. Sua construção ocorre a partir de quatro módulos em formato triangular. A base da pirâmide é quadrada, logo, cada módulo deve ter o comprimento equivalente a um lado do quadrado, sendo esse valor de 33 cm. Para uma angulação de 25° e base de 30 cm, o valor calculado da altura de cada triângulo foi de 16,8 cm. Após o projeto, foi construída a cobertura piramidal, apresentada na Fig. 2.

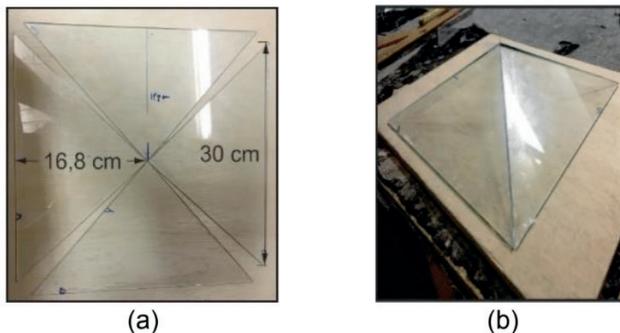


Figura 2: Cobertura piramidal: (a) Módulos (b) Estrutura construída (Oliveira, 2018).

3.1.3 Isolação térmica

A isolamento térmica tem como função conter o máximo de energia térmica dentro do reservatório, evitando perdas para o ambiente externo. O principal componente utilizado na isolamento foi o isopor de 6 mm de espessura, que foi pintado de preto, com o objetivo de absorver o máximo possível da radiação solar incidente, e foi colocado em camadas, onde entre as camadas foi inserido o papel alumínio, que foi utilizado como material refletor,

tendo a função de evitar perdas por radiação. A Fig. 3 expõe o sistema de isolamento térmica construído.

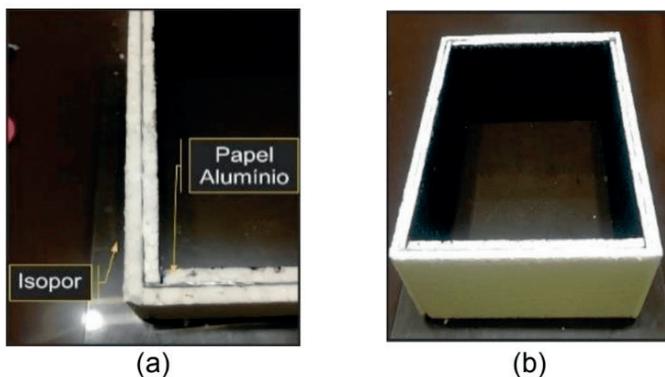


Fig. 3: Sistema de isolamento: (a) Detalhe das camadas (b) Isolação Construída (Oliveira, 2018).

3.1.4 Revestimento

O revestimento do reservatório tem como objetivo manter a água salobra isolada, além de contribuir com a isolamento térmica. O material utilizado foi lona preta própria para estufas, que foi inserida cobrindo o interior do tanque onde contém a isolamento térmica. Ao fim do processo, a área útil do reservatório foi de $0,042 \text{ m}^2$, com uma altura útil de 9 cm, totalizando $0,00378 \text{ m}^3$, desse modo o destilador tem a capacidade de inserção de 3,78 litros de água salobra.

3.1.5 Sistema de escoamento

O sistema de escoamento ocorre a partir do processo de condensação da água limpa, que escorre pela cobertura piramidal e é gotejada no recipiente de coleta onde fica armazenada. O recipiente apresenta área de $0,033 \text{ m}^2$ e altura de 10 cm, totalizando $0,0033 \text{ m}^3$, tendo assim uma capacidade de 3,3 litros de água destilada. O produto final pode ser coletado através de uma torneira. A Fig. 4 expõe o sistema de escoamento do destilador solar piramidal.

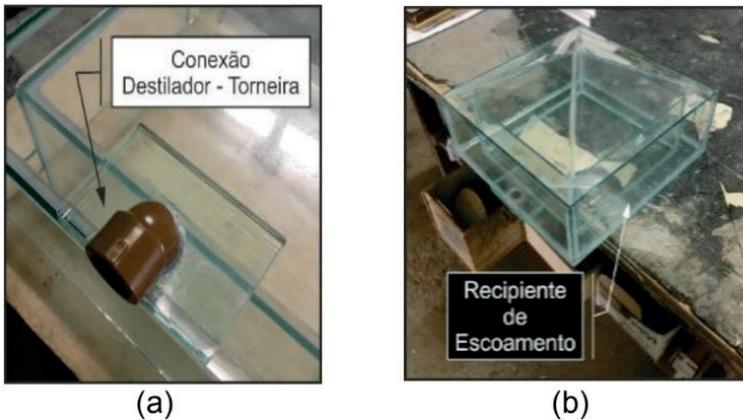


Figura 4: Sistema de escoamento: (a) Detalhe da conexão (b) Recipiente de escoamento (Oliveira, 2018).

3.2 Protótipo do destilador solar

Um dos problemas enfrentados por destiladores solares é o difícil processo de higienização. A falta de limpeza periódica no reservatório faz com que uma quantidade elevada de sais se deposite no fundo do tanque de água salobra, diminuindo a eficiência do sistema (RIBEIRO *et al.*, 2008). Visando a possibilidade de limpeza do tanque e do sistema como um todo, foi adicionada à cobertura piramidal um sistema de encaixe no destilador, onde, através de dois suportes, o usuário pode retirar a tampa e inserir novamente água salobra e/ou realizar a limpeza do equipamento.

Outro componente adicionado ao projeto final foi o suporte do destilador, que tem como função evitar o contato do sistema com a superfície, prevenindo possíveis danos externos. O suporte foi construído utilizando quatro “apoios” de madeira de boa qualidade, onde os “apoios” posteriores possuem 8,5 cm de altura e os frontais 8 cm, o que possibilita uma inclinação que facilita o escoamento da água destilada. A Fig. 5 apresenta o destilador solar construído.

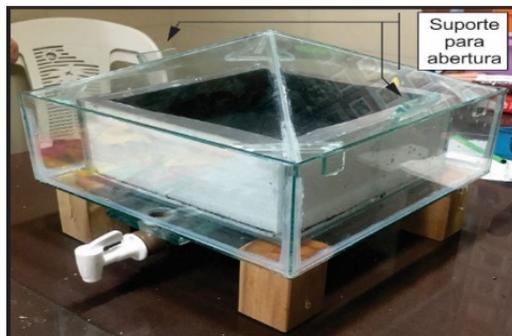


Figura 5: Destilador solar construído (Oliveira, 2018).

3.3 Metodologia dos ensaios e procedimento de coleta de dados

Para testar o funcionamento do destilador solar, foram realizados ensaios durante o período de 14 a 23 de agosto de 2018, sempre utilizando um litro de água salobra doada pelo setor de piscicultura da UFERSA, em que foram medidos os parâmetros: temperatura do ambiente, temperatura na superfície da cobertura, temperatura do vapor de água, temperatura da água salobra, temperatura da água destilada e a radiação solar; a cada uma hora, das 8:00 h às 14:00 h.

Para medir cada parâmetro, foram utilizados termopares ligados a um alicate amperímetro na função termômetro, um anemômetro, um termômetro a *laser*, um termômetro digital e um medidor de radiação solar. Os equipamentos foram cedidos pelo Laboratório de Engenharia Elétrica e Mecânica da UFERSA.

Os experimentos ocorreram ao longo de oito dias, sempre com pleno sol e pouca nebulosidade, no entanto, dos oito dias, sete foram dedicados para analisar o sistema, identificar os erros e repará-los. Logo, o último dia de ensaios foi considerado nesta análise, pois os ensaios realizados tinham como finalidade validar o protótipo desenvolvido.

O procedimento para coletar os dados se iniciou medindo a temperatura do ambiente, com a utilização do anemômetro na função temperatura; em seguida foi medida a radiação solar, com o auxílio do medidor de radiação solar; posteriormente foi medida a temperatura na superfície da cobertura, utilizando o termômetro a *laser*; na sequência foi medida a temperatura do vapor de água, com o termômetro digital; e, por último, foram realizadas as medições da temperatura das águas salobra e destilada, ambas com o alicate amperímetro utilizando a função termômetro.

3.4 Eficiência

A eficiência de um destilador solar é um parâmetro importante, pois analisa a relação entre a produção de água destilada por um determinado período de tempo e a quantidade de energia solar que o equipamento recebe. Através da Eq. 1 é possível verificar a eficiência do sistema.

$$\eta = \frac{Q \cdot 2,3}{G \cdot A} \quad (01)$$

Onde η é a eficiência do sistema, Q a quantidade de água destilada ao fim de um dia de coleta (L/dia), G a média diária da energia acumulada total (MJ/m²) e A a área útil do destilador (m²).

4 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Análise do protótipo construído

Os primeiros dias do período de ensaio foram utilizados para avaliar o comportamento do destilador durante as horas em que foi exposto ao sol. Observou-se que todos os materiais se comportaram de modo satisfatório, suportando as temperaturas às quais foram submetidos. No entanto, foi observado que embora a temperatura da água salobra aumentasse de forma gradativa e satisfatória, o sistema não apresentava uma condensação suficiente na cobertura para produzir água destilada, tornando-o ineficaz.

Após propor algumas soluções que não surtiram efeito no comportamento do sistema, observou-se que, embora aparentemente o sistema de encaixe entre a cobertura piramidal e o destilador solar estivesse totalmente acoplado, existiam pequenas fendas entre eles. Essa falha possivelmente foi causada devido ao corte manual do vidro. Tais espaços fizeram com que o vapor de água formado dentro do destilador fosse perdido para o ambiente externo, dificultando a condensação na cobertura.

A solução encontrada foi vedar o sistema de encaixe com fita adesiva. Tal medida se mostrou satisfatória, visto que o nível de condensação melhorou significativamente, o que tornou possível a geração de água destilada. A Fig. 6 apresenta um comparativo do sistema com e sem a vedação, ou seja, com e sem o reparo, respectivamente.

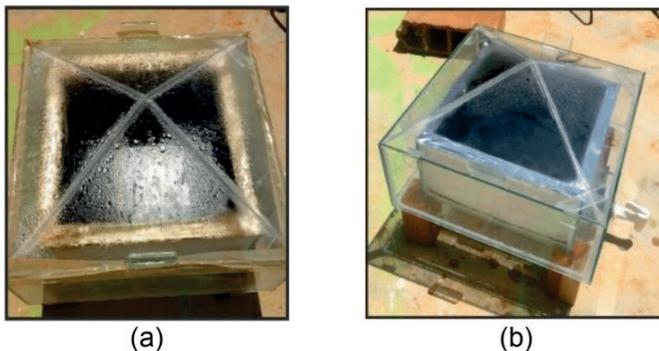


Figura 6: Destilador solar: (a) Com a vedação (b) Sem a vedação (Oliveira, 2018).

Outro problema identificado foi a temperatura elevada nas superfícies laterais do destilador, de modo que a água destilada evaporava ao chegar no reservatório de escoamento. A solução foi revestir as laterais com um material isolante térmico (papelão). Com todos os problemas resolvidos, o destilador solar funcionou como esperado, sendo possível realizar as análises. A Fig. 7 apresenta o destilador após a realização dos reparos mencionados.



Figura 7: Destilador solar ajustado (Oliveira, 2018).

O custo total do protótipo foi de cerca de R\$ 80,00, sendo 80% do custo total respectivo ao vidro e ao silicone, uma vez que o vidro compõe basicamente todo o destilador, e junto a ele é necessário o silicone, onde foi utilizado o de melhor qualidade, a fim de evitar vazamentos e futuros gastos com reparos.

4.2 Estudo dos parâmetros

4.2.1 *Temperatura do ambiente e temperatura na superfície da cobertura*

A Fig. 8 exibe os valores da temperatura do ambiente no dia do ensaio, ou seja, no dia 23/08/2018, sendo essa medição feita próxima ao destilador solar.

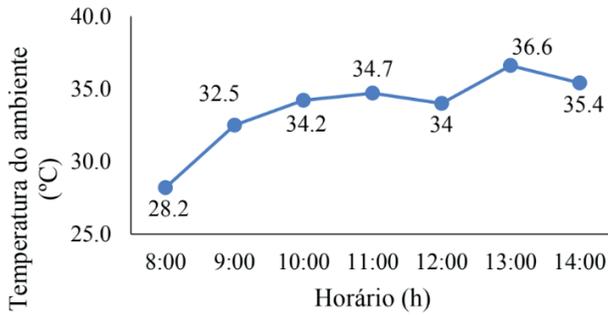


Figura 8: Gráfico de temperatura do ambiente durante o dia de ensaio (Oliveira, 2018).

Com o estudo dos valores obtidos através da medição, percebeu-se que durante o ensaio (*vide* Fig.8) a temperatura do ambiente estava favorável ao experimento, apresentando valores acima da média de 31 °C da região nordeste. Outro fato observado foi que não houve alterações bruscas de temperatura ao longo do dia, obtendo-se ao final uma temperatura média de 33,66 °C.

Os valores de temperatura medidos na superfície da cobertura podem ser observados na Fig. 9, onde é possível verificar o aumento gradativo da temperatura. Como não se trata de um material ideal, essa crescente é natural visto que o vidro absorve parte da energia recebida pela radiação solar, elevando sua temperatura. Além disso, as temperaturas atingidas na cobertura foram consideradas altas, obtendo-se uma média de 44,37 °C, o que é satisfatório, pois comprova a eficiência do sistema em captar a energia solar.

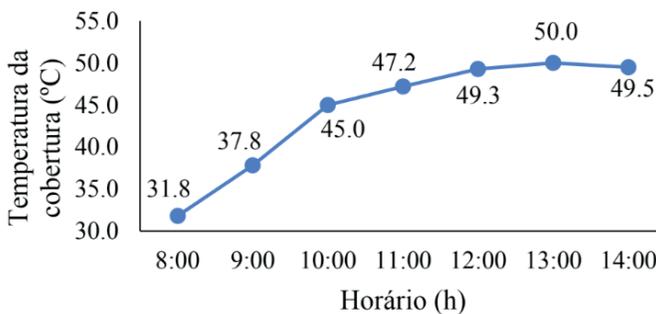


Figura 9: Gráfico de temperatura da cobertura piramidal durante o dia de ensaio (Oliveira, 2018).

4.2.2 Radiação solar

A radiação solar é um parâmetro de fundamental importância para o sistema, visto que é o fator que provoca a evaporação da água salobra, dando início ao processo de

destilação. A Fig. 10 apresenta os valores de radiação solar durante o dia de ensaio.

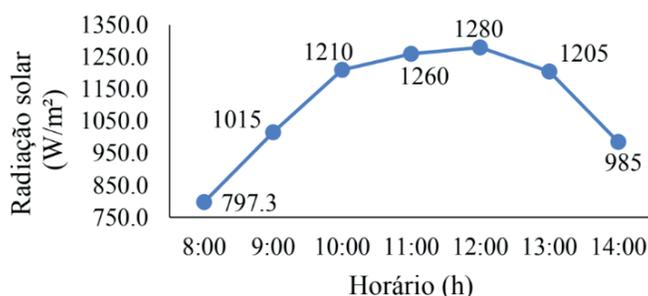


Figura 10: Gráfico de radiação solar incidente no destilador no dia de ensaio (Oliveira, 2018).

Através da Fig. 10, é possível verificar que os índices de radiação aos quais o sistema foi exposto foram satisfatórios, se comportando de maneira crescente até as 12:00 h, porém sem atingir níveis muito elevados. Após o pico do meio-dia houve uma queda ao passar das horas, o que é natural, no entanto, os valores ainda foram aceitáveis, contribuindo para o funcionamento do sistema. Ao fim da coleta de dados, obteve-se uma radiação média de 1.107,47 W/m².

4.2.3 Temperatura do vapor de água, temperatura da água salobra e temperatura da água destilada

A temperatura do vapor de água dentro do destilador solar está diretamente ligada à sua eficiência, visto que o sistema deve resguardar o máximo de energia, elevando a temperatura em seu interior e, conseqüentemente, do vapor de água. A Fig. 11 exhibe os valores de temperatura do vapor de água no interior do destilador.

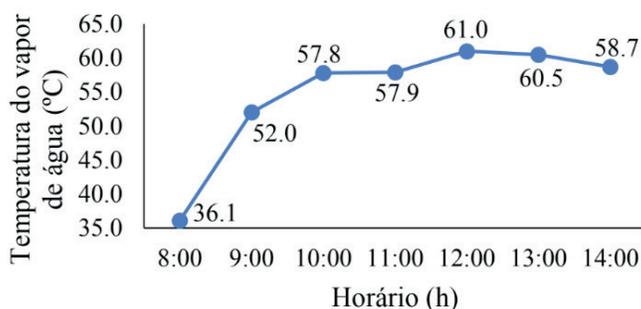


Figura 11: Gráfico de temperatura do vapor de água durante o dia de ensaio (Oliveira, 2018).

A partir dos valores mostrados na Fig. 11, foi possível analisar que o sistema conseguiu absorver e conservar a energia que incidiu sobre ele, pois a temperatura do vapor de água se manteve crescente acompanhando os níveis de radiação, chegando ao pico de 61 °C. Após o pico, não existiu queda acentuada de temperatura, comprovando que o equipamento conseguiu conservar o máximo de energia em seu interior. Ao final do dia de ensaio, a temperatura média do vapor de água foi de 54,86 °C, sendo um valor satisfatório.

A Fig. 12 apresenta os valores de temperatura da água salobra durante o dia de ensaio, o estudo desse parâmetro é importante, pois relaciona a radiação solar incidente sobre o destilador com a capacidade do sistema de direcionar e conservar essa energia para o aquecimento da água salobra.

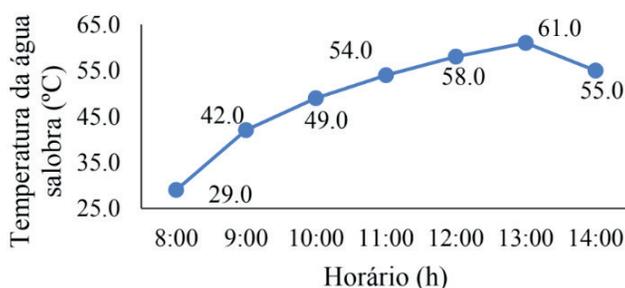


Figura 12: Gráfico de temperatura da água salobra durante o dia de ensaio (Oliveira, 2018).

Ao analisar a Fig. 12, percebeu-se que o comportamento do sistema foi satisfatório, pois a temperatura da água salobra elevou-se até às 13:00 h, chegando ao ápice de 61 °C, decaindo somente na última hora de medição, pois houve uma queda da radiação solar incidente em 18,26%. Ao fim do período de análise obteve-se uma temperatura média de 49,71 °C.

A análise do comportamento da temperatura da água destilada é importante, pois mostra se o sistema é capaz de conservar a água destilada, de maneira que ela não evapore novamente e seja perdida. A Fig. 13 mostra o comportamento da temperatura da água destilada no dia do experimento.

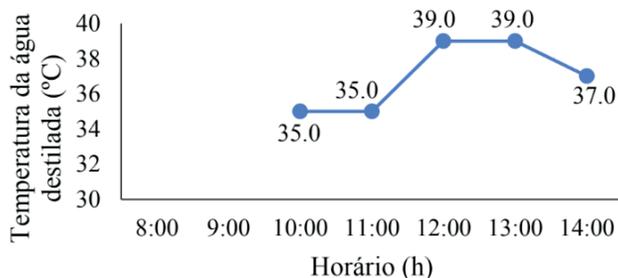


Figura 13: Gráfico de temperatura da água destilada durante o dia de ensaio (Oliveira, 2018).

Como a produção de água destilada somente foi iniciada após às 9:00 h, a medição iniciou-se às 10:00 h. Analisando os valores obtidos, é perceptível que a temperatura da água destilada é inferior à da água salobra, comprovando a eficácia do destilador solar. A temperatura média, considerando somente os horários de 10 h às 14 h, obtida foi de 37 °C, sendo 12,71 °C abaixo da média da temperatura da água salobra.

4.3 Eficiência

A eficiência do destilador solar pode ser calculada a partir da Eq. 1 apresentada na metodologia (seção 3.4). A quantidade de água destilada obtida ao fim do dia de ensaio (Q) foi de 100 mL ou 0,1 L. Com relação à energia acumulada média (G), foi obtido o valor de 1.107,47 W/m² durante 6 horas de exposição, o equivalente a 23,92 MJ/m². E, por último, a área eficaz ocupada pelo destilador solar (A) foi de 0,042 m². A partir da aplicação dos valores obtidos na Eq. 1, o destilador solar apresentou uma eficiência (η) de 22,89%.

A fim de analisar a eficiência alcançada no experimento, este foi comparado com destiladores solares desenvolvidos por outros autores. Analisou-se a eficiência do destilador solar desenvolvido por Faria (2015), que também possui cobertura piramidal com área útil de 0,2025 m² e foi submetido a 17 dias de análise nos meses de abril e junho, em Conceição das Alagoas/MG, onde os valores obtidos de eficiência variaram de 15,2% a 56,5%. Outro projeto tomado como base também foi construído na UFERSA, campus Mossoró. O destilador solar desenvolvido por Silveira (2014), possui cobertura de duas águas com 1 m² de área útil, sendo submetido a dois dias de testes durante o mês de fevereiro, onde as eficiências encontradas foram entre 20% e 21%.

Comparando a eficiência determinada neste trabalho com as obtidas nos modelos citados, é possível verificar que o valor de 22,89% se encontra dentro de uma faixa aceitável de eficiência, tornando o sistema viável, especialmente quando comparado ao trabalho desenvolvido por Silveira (2014), pois também foi realizado na cidade de Mossoró, ou seja, no mesmo clima e ambiente, modificando os materiais utilizados e a cobertura do destilador solar.

5 | CONCLUSÃO

Os elevados índices de radiação solar de Mossoró foram essenciais para o bom funcionamento do destilador solar proposto, onde foram obtidos resultados satisfatórios. Os materiais utilizados foram selecionados visando o melhor desempenho e eficiência, garantindo que o sistema não apresentasse problemas com vazamentos ou de outra natureza. Quanto aos problemas enfrentados nos ensaios iniciais, todos foram solucionados de forma prática e eficiente, permitindo o funcionamento adequado do destilador durante o experimento final, ocorrido no dia 23/08/2018, validando o protótipo desenvolvido.

O sistema de destilação solar proposto apresentou uma eficiência de 22,89% e, quando comparado a outros trabalhos da área, observou-se que essa é uma faixa de eficiência positiva, devido à grande quantidade de perdas naturais do sistema e a este modelo possuir dimensões menores em função da sua característica portátil. Sugere-se para futuros trabalhos que o sistema seja ensaiado novamente sob as mesmas circunstâncias, onde a água destilada obtida seja submetida a ensaios visando classificar todos os parâmetros necessários para verificação da sua potabilidade.

Por fim, o destilador solar portátil de cobertura piramidal desenvolvido apresenta a união dos fatores portabilidade, praticidade de limpeza e manutenção, materiais de boa qualidade e uma eficiência satisfatória. Podendo ser utilizado por toda região do interior potiguar, permitindo o acesso à água de qualidade e melhor qualidade de vida aos usuários.

REFERÊNCIAS

FARIA, E. V. *et al.* **Desenvolvimento e construção de um destilador solar para dessalinização de água salgada em diferentes concentrações de sais.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS PARTICULADOS, 2015, São Carlos. Anais... . São Carlos: Enemp, 2015.

JORGE, Bruno Miguel Jacinto. **Simulação de processos de destilação solar de água salgada.** 2011. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2011. Disponível em: <<https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/395143168489/Tese.pdf>>. Acesso em: 24 ago. 2018.

MARINHO, Francisco José Loureiro *et al.* **Destilador solar destinado a fornecer água potável para as famílias de agricultores de base familiar.** Revista Brasileira de Agroecologia, Campina Grande, 2012.

OLIVEIRA, Paulo Vinícius de Souza. **Desenvolvimento de um destilador solar portátil com aplicação em comunidades rurais no Rio Grande do Norte.** 2018. TCC (Graduação) – Engenharia Elétrica, UFERSA, Mossoró, 2018.

RIBEIRO, Santos *et al.* **Destilador solar de cobertura piramidal e isolamento em material compósito a base de gesso e eps.** in: Congreso Iberoamericano, 2008, Natal. Anais... . Galicia: M.vázquez, 2008. Disponível em: <<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2754664>>. Acesso em: 24 ago. 2018.

SÁ, Lidiane Freire de; JUCÁ, José Fernando Thomé; MOTTA SOBRINHO, Maurício A. da. **Tratamento do lixiviado de aterro sanitário usando destilador solar**. *Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science*. Taubaté. 2012. Disponível em: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=92823615016>>. Acesso em: 21 ago. 2018.

SILVEIRA, Maria Teresa Targino Macedo. **Análise da aplicabilidade e desempenho térmico de um destilador solar em Mossoró-RN**. 2014. TCC (Graduação) - Curso de Ciência e Tecnologia, UFERSA, Mossoró, 2014.

SOARES, Clarissa. **Tratamento de água unifamiliar através da destilação solar natural utilizando água salgada, salobra e doce contaminada**. 2004. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Ambiental, UFSC, Florianópolis, 2004.

TEXEIRA, Joaquim Lopes. **Dimensionamento e análise térmica de um dessanizador solar tipo bacia com cobertura assimétrica**. 2013. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2013.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Aprendizagem 33, 238, 239, 251, 332, 350, 351, 352, 357, 359, 361, 362

ATP 156, 157, 158, 159, 170, 171, 173, 176, 177, 179, 189, 191, 192, 195, 196, 198, 255

Autonomia veicular 221

B

Backflashover 157, 163, 169, 170, 171, 172, 181, 182, 183, 184, 185, 190

C

Cargas Variáveis 76, 92

Célula fotovoltaica 61, 115, 116, 129, 145

Confiabilidade 2, 142, 143, 145, 151, 152

Conversores 8, 58, 59, 85, 86, 207, 208, 214, 216, 219

D

Dados Meteorológicos 38, 42, 44, 54

Descarbonização 14, 16, 17, 18, 23

Descargas Atmosféricas 156, 157, 170, 171, 174, 176, 183, 185, 189, 191, 193, 195, 204

Desempenho 5, 7, 6, 7, 47, 54, 76, 77, 78, 80, 86, 91, 92, 113, 117, 125, 127, 142, 145, 147, 151, 153, 157, 170, 171, 172, 176, 178, 185, 190, 197, 208, 212, 219, 224, 225, 226, 229, 232, 233, 234, 237, 251, 320, 321, 322, 323, 332, 348, 349, 395, 400, 402, 404, 405, 406, 407, 408, 409, 410, 411, 413

Desenvolvimento 6, 1, 2, 15, 16, 17, 23, 24, 25, 28, 30, 31, 37, 38, 42, 45, 51, 76, 94, 111, 114, 130, 143, 153, 208, 209, 212, 213, 219, 220, 223, 229, 236, 252, 258, 263, 264, 268, 269, 275, 277, 282, 289, 296, 307, 308, 320, 322, 323, 333, 334, 348, 351, 352, 357, 361, 364, 365, 367, 368, 370, 372, 374, 376, 388, 389, 391, 398, 400, 404

E

Eficiência Energética 6, 16, 25, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 35, 36, 37, 38, 41, 42, 43, 45, 209, 219, 222, 237, 363, 365, 367, 374, 378, 380, 387, 390

Energia fotovoltaica 7, 40, 77, 96, 113, 129, 130, 131, 135, 137, 374

Energia Solar 16, 30, 33, 34, 44, 45, 46, 47, 49, 51, 55, 56, 77, 78, 95, 130, 133, 138, 140, 141, 143, 152, 208, 219, 287, 294, 297, 298, 301, 308, 320, 335, 336, 337, 341, 344

F

Fontes Renováveis 14, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 26, 77, 115, 131, 143

Frenagem Regenerativa 8, 221, 222, 223, 236, 237

G

Geração de Trajetória 239

GMPPT 57, 58, 75

I

Inversores 8, 136, 138, 207, 208, 210

Irradiação Incidente 44, 55

M

Manipulador Robótico 238, 239

Módulo fotovoltaico 62, 76, 77, 78, 84, 90, 91, 117, 119, 129, 131, 145, 146, 150, 151, 290

Módulos Fotovoltaicos 7, 33, 34, 61, 62, 63, 76, 77, 79, 83, 92, 99, 107, 110, 117, 122, 124, 130, 131, 135, 142, 143, 145, 146, 147, 149, 151, 152, 153

P

Painéis Fotovoltaicos 7, 44, 47, 51, 55, 76, 77, 83, 97, 129, 131, 132, 133, 134, 135, 139, 140

Parâmetros elétricos do solo 156, 170, 171, 172, 180, 181, 182, 184, 185, 191, 198, 200, 201, 203

Permissividade do solo 157, 171, 178, 185, 189, 190, 197, 203

Pesquisa 5, 6, 23, 25, 29, 30, 31, 34, 37, 40, 41, 42, 43, 56, 96, 132, 143, 152, 222, 266, 268, 276, 277, 278, 298, 305, 350, 352, 362, 371, 372, 375, 379, 381, 382, 398, 400, 404

Planejamento de Caminho 239

Prevenção de Colisão 239

Q

Qualidade de Energia 41, 113

R

Reforço 238, 239, 361

Resistividade do solo 156, 157, 170, 171, 172, 173, 177, 181, 182, 183, 184, 185, 189, 190, 191, 192, 193, 196, 198, 200, 203, 204

Robótica 1, 251

S

Sensores 6, 1, 2, 3, 4, 5, 8, 10, 11, 12, 39, 40, 58, 59, 66, 80, 104, 105, 119, 208, 287, 288, 289, 290, 300, 396, 403

Setor Elétrico 6, 14, 24, 25, 26, 27, 37

Sinais 1, 2, 6, 8, 9, 10, 11, 12, 28, 105, 213, 215, 216, 254, 256, 259, 266, 267, 271, 275,

279, 402, 403, 404, 405, 406, 407, 408, 409, 412

Sistemas de aterramento 157, 170, 171, 177, 190, 191, 196, 198, 203

Sistema Solar Fotovoltaico (FV) 113

Sombreamento Parcial 6, 57, 58, 60, 62, 64, 65, 74, 84

SPPMG 57, 58, 59, 60, 63, 70, 71, 72, 73, 74

T

Topologia de Estágio Único 113, 122, 126

Traçador de curva I-V 6, 76, 77

Transição Energética 6, 14, 15, 16, 17, 18, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 28, 29

Trilhas de Caracol 142, 143, 144, 145, 146, 147, 148, 149, 150, 151, 152, 153

V

Veículo Elétrico 8, 207, 208, 209, 210, 212, 217, 219, 221, 222, 223, 224, 236, 237

ENGENHARIA ELÉTRICA: O MUNDO SOB PERSPECTIVAS AVANÇADAS

 www.atenaeditora.com.br

 contato@atenaeditora.com.br

 @atenaeditora

 www.facebook.com/atenaeditora.com.br

ENGENHARIA ELÉTRICA: O MUNDO SOB PERSPECTIVAS AVANÇADAS

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