

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 Cremo

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

Imagens da Capa

Shutterstock

Edição de Arte

Luiza Alves Batista

Revisão

Os Autores

2021 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2021 Os autores

Copyright da Edição © 2021 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.



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

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

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

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

Conselho Editorial

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

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

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

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

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

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

Prof. Dr. Carlos Antonio de Souza Moraes – Universidade Federal Fluminense
Prof. Dr. Crisóstomo Lima do Nascimento – Universidade Federal Fluminense
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Daniel Richard Sant’Ana – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia
Profª Drª Dilma Antunes Silva – Universidade Federal de São Paulo
Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá
Prof. Dr. Elson Ferreira Costa – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Elói 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 eletricitista 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

CAPÍTULO 4

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

Data de aceite: 01/05/2021

Data de submissão: 11/02/2021

Licinius Dimitri Sá de Alcantara

Universidade Federal Rural da Amazônia,
Instituto Ciberespacial
Belém – Pará
<https://orcid.org/0000-0002-8140-9072>

Mayara Soares Campos

Universidade Federal do Pará, Programa de
Pós-Graduação em Ciências Ambientais
Belém – Pará
<http://lattes.cnpq.br/6149872627295455>

RESUMO: Utilizando dados meteorológicos do INMET, do programa Radasol 2, e de cálculos realizados para a estimativa do ângulo de zênite solar, este trabalho tem por objetivo estimar o efeito da orientação de painéis fotovoltaicos fixos levando em conta os aspectos sazonais da nebulosidade, para a cidade de Brasília/DF. A princípio, identificam-se os períodos do ano de menor e maior nebulosidade. Estima-se então os ângulos médios de zênite solar para a época mais nublada, para o ano inteiro e para a época de céu mais claro, os quais foram 4°, 16° e 22°, respectivamente. Usa-se então o programa Radasol 2 para estimar a densidade de energia solar incidente durante um ano nos painéis inclinados de forma fixa para estes ângulos estimados. A partir desta metodologia, analisa-se a influência da orientação de painéis solares, considerando períodos de nebulosidade, na

captação de irradiação. A cidade de Brasília foi escolhida para esta análise por apresentar grande diferença entre a nebulosidade medida no seu período mais nublado em relação à medida no seu período menos nublado do ano. Em Brasília, a reorientação dos painéis de 16° para 22°, com as faces dos painéis voltadas para o Norte, preservará a quantidade de irradiação solar anual captada, estimada em aproximadamente 2040 kWh/m². A diferença é que a reorientação para 22° irá melhorar a captação da irradiação solar recebida nos meses de abril a agosto, mas diminuirá a irradiação recebida em novembro a fevereiro. Uma estratégia para melhorar a captação anual é proposta ao se estabelecer dois ângulos para a orientação dos painéis ao longo do ano, um mais adequado para o período menos nublado e o outro para o período mais nublado, onde se observou um aumento da irradiação anual para 2093,20 kWh/m².

PALAVRAS - CHAVE: Painéis Fotovoltaicos, Dados Meteorológicos, Irradiação Incidente.

ANALYSIS OF SEASONAL ASPECTS OF NEBULOSITY ON THE PROJECT OF FIXED PHOTOVOLTAIC INSTALLATIONS AT BRASÍLIA, BRAZIL

ABSTRACT: By Using INMET meteorological data, the Radasol 2 software and calculations performed to estimate the solar zenith angle, this work aims to estimate the effect of the orientation of fixed photovoltaic panels, taking into account the seasonal aspects of cloudiness at Brasília, Brazil. At first, the periods of the year with smaller and greater cloudiness are identified. Then, average angles of solar zenith estimated for the

cloudiest season, for the whole year and for the clearest sky season, which were 4°, 16° and 22°, respectively. Thereafter, the Radiasol 2 program is used to estimate the incident solar energy density on the fixed panels inclined at these estimated zenith angles, during one year. The purpose of this work is to analyze the influence of solar panels orientation, considering cloudiness periods, on the irradiation uptake. Brasília was chosen for this analysis because it presents great difference between the cloudiness measured in its cloudiest period compared to the cloudiness measured at its least cloudy period of the year. At Brasília, the reorientation of the panels from 16° to 22°, with their surfaces facing north, will preserve the amount of annual solar radiation captured, estimated at approximately 2040 kWh/m². The difference is that the redirection to 22° will improve the capture of solar radiation received at the months of April to August, but will decrease the radiation received at November to February. A strategy to improve the annual capture is proposed by establishing two angles for the orientation of the panels throughout the year, one more suitable for the least cloudy period and the other for the cloudiest period, where an increase in annual irradiation was estimated to 2093.20 kWh/m².

KEYWORDS: Photovoltaic Panels, Meteorological Data, Incident Irradiation.

1 | INTRODUÇÃO

O Brasil dispõe de bons níveis de incidência de radiação solar, devido sua localização geográfica, com valores de irradiação solar global incidente em qualquer região do território brasileiro superiores a maioria dos países da União Europeia, o que faz com que o país tenha um grande potencial para explorar a energia solar fotovoltaica (Rüther, 2004).

A energia solar alimenta todos os processos térmicos, dinâmicos e químicos, sejam eles naturais ou artificialmente desenvolvidos, com aplicação do conhecimento científico e tecnológico produzido pela sociedade.

Dentre os processos naturais, a fotossíntese (produção de biomassa), o ciclo hidrológico (evaporação/ precipitação), a dinâmica da atmosfera e oceanos (ventos e correntes oceânicas) são exemplos comuns. O aquecimento solar, a geração de eletricidade e a climatização de ambientes exemplificam os processos e tecnologias produzidos pelo desenvolvimento científico e tecnológico. Um avanço significativo foi conseguido nas últimas décadas tanto no aproveitamento térmico para atendimento de demandas residenciais ou processos industriais, quanto para conversão em eletricidade (Pereira et al., 2017).

Atualmente, o aproveitamento da energia solar tornou-se uma alternativa viável para complementação da matriz energética brasileira (MME, 2007), podendo ser utilizada para obtenção de energia elétrica. Porém, embora o aproveitamento da energia solar seja uma preocupação bastante antiga em todo mundo, ainda hoje se faz necessário ampliar o conhecimento sobre as variáveis climáticas em relação à eficiência energética do módulo (Martins et al., 2008). Um fator muito importante para se dimensionar sistemas baseados em energia solar é o conhecimento de parâmetros que influenciam diretamente na quantidade de radiação que chega à superfície terrestre, e um desses parâmetros estudados é a nebulosidade, a qual possui características distintas existentes em cada região (Silva e

Souza, 2016; Teles, 2017). A nebulosidade pode ser quantificada em um parâmetro técnico que mede o nível de área de céu encoberto pelas nuvens, adotando uma escala de 0 (céu limpo) a 1 (céu totalmente nublado), por exemplo.

É relevante a realização de estudos sobre ângulos solares, que venham a indicar qual deve ser a disposição do módulo para capturar o maior nível de incidência da radiação no decorrer do ano. Também é importante investigar como algumas características climáticas influenciam na quantidade de radiação que chega à superfície terrestre. Esta radiação, a qual também incide sobre uma superfície receptora para geração de energia, é constituída por uma componente direta (ou de feixe) e por uma componente difusa (Hinrichs e Kleinbach, 2009). Segundo os autores, essa radiação direta é aquela que provém diretamente do Sol e produz sombras nítidas e a difusa é aquela proveniente de todas as direções e que atinge a superfície após sofrer espalhamento pela atmosfera terrestre.

Quanto mais limpa estiver a atmosfera, menor será a proporção da radiação solar que sofrerá o processo de difusão, e a direção dos raios será bem definida (unidirecional) e determinada pelo ângulo zenital (θ_z). A espessura da camada atmosférica a ser atravessada pelos raios solares depende proporcionalmente de θ_z . Do contrário, quando há um aumento da extensão do céu encoberto com nuvens, ocorre um acréscimo em intensidade da componente de radiação difusa e um decréscimo da componente de radiação direta (Souza et al., 2012). Uma vez que, segundo (Varejão-Silva, 2006), a radiação incidente na atmosfera ocasiona reflexão causada pelas nuvens, enquanto que a absorção é realizada por gases como vapor d'água, gás carbônico, ozônio, etc. O espalhamento (difusão) pode ser seletivo, quando realizado por partículas com as mesmas dimensões que o comprimento de onda incidente e não-seletivo causado por partícula sem suspensão (nuvens e aerossóis).

O estudo realizado neste trabalho considera os dados de radiação solar na cidade de Brasília/DF, que está situada na latitude 15°47'38" Sul e longitude 47°52'58" Oeste. De acordo com estudo realizado pela Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (Suaia, 2015), a potencialidade de captação de radiação solar para o Centro-Oeste é equivalente à encontrada nas regiões Nordeste e Sudeste, sendo que uma das melhores irradiações do Centro-Oeste e do Brasil se encontra no Distrito Federal. Contudo, a matriz energética do Distrito Federal é majoritariamente dominada por energia hidrelétrica, sendo que desta cerca de 80% é proveniente de Furnas e 20% de Itaipu. Isto torna o Distrito Federal vulnerável aos potenciais efeitos da mudança do clima no fornecimento de energia, considerando sua dependência do Sistema Interligado Nacional e os impactos climáticos esperados por sobre a maioria das hidrelétricas brasileiras (GT Brasília Solar, 2016).

A irradiância solar global é a soma das componentes de radiação direta, difusa e refletida. Essa radiação interage com as partículas presentes na atmosfera, uma vez que, a radiação solar é uma variável meteorológica afetada pela presença de nuvens sobre o céu, como já mencionado por Bastos et al., (2002). Estas partículas atuam como atenuadoras

da radiação solar ao absorver quase toda a radiação no comprimento de onda do infravermelho, e de atenuar a radiação direta (Varejão-Silva, 2006). Portanto, com o intuito de analisar os valores de irradiação média global, o trabalho simulou a irradiação média recebida pelos painéis solares nas diferentes inclinações usando o programa Radasol 2, desenvolvido pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul, que emprega modelos matemáticos baseado em informações meteorológicas de superfície de todo o Brasil. Este programa contém em seu banco de dados uma compilação de dados climatológicos do Atlas Solarimétrico do Brasil e de estações coletadas pelo programa Solar and Wind Energy Resource Assessment (SWERA), e interpola valores para o ponto desejado, com base nas coordenadas geográficas definidas pelo usuário (Pinho e Galdino, 2014).

O software Radasol 2 se tornou bastante popular nacionalmente dentro meio científico e acadêmico na área de energia solar por ser eficaz, de interface amigável e de distribuição livre, sendo geralmente usado em trabalhos onde se faz necessária uma análise do potencial de captação de energia solar em planos de incidência em qualquer inclinação e para um determinado local do território nacional.

Visando um melhor aproveitamento da energia solar incidente, a análise da direção de incidência dos raios solares é importante de modo a orientar os painéis na direção de maior incidência dos raios e assim aumentar o aproveitamento energético dos painéis (Campos e Alcantara, 2016). Este trabalho visa estimar a energia solar captada para certas orientações de painéis fotovoltaicos fixos para a cidade de Brasília/DF, durante um ano. Estas orientações são calculadas tomando como referência a direção média de incidência solar anual, assim como os períodos do ano apresentam menor nebulosidade e maior nebulosidade. Desta forma, é possível fazer uma análise comparativa e propor reajustes na orientação dos painéis caso isso se faça pertinente, levando em conta os aspectos sazonais de nebulosidade.

2 | MATERIAL E MÉTODOS

Nesta seção são descritos os passos elaborados que permitem analisar o desempenho de captação de irradiação solar por painéis fotovoltaicos e que são inclinados levando em conta os períodos do ano de menor nebulosidade, maior nebulosidade e sem considerar efeitos de nebulosidade (inclinação fixa otimizada para o ano inteiro).

A Fig. 1 ilustra os valores de nebulosidade para diferentes cidades do Brasil que compõem as Normais Climatológicas do Brasil para o período de 1961-1990, disponibilizadas pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). A nebulosidade mede o nível de área de céu encoberto pelas nuvens em uma escala de 0 (céu limpo) a 1 (céu totalmente nublado). Observa-se que em média um período contínuo de menor nebulosidade (maior insolação) ocorre em Brasília, o qual se estende pelos meses centrais do ano enquanto que períodos de maior nebulosidade ocorrem nos meses iniciais e finais do período anual.

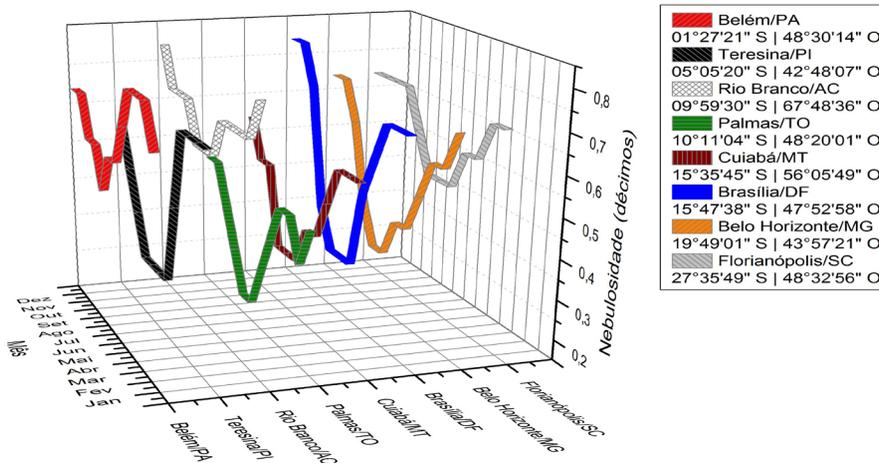


Figura 1 - Dados de nebulosidade das Normais Climatológicas do Brasil (1961-1990) para diferentes cidades.

A Fig. 1 também indica que em oito cidades consideradas em diferentes pontos do Brasil há uma sazonalidade no decorrer do ano, com períodos de maior nebulosidade no início do ano, com um decréscimo entre os meses junho a outubro, voltando a aumentar no final do ano.

2.1 Dados de nebulosidade

A Fig. 2 mostra os valores de nebulosidade na capital federal em uma escala de valores de 0 a 1 para os anos de 2009 a 2018, disponibilizados pela estação convencional local do INMET (código OMM 83377) situada nas coordenadas 15,78° S e 47,92° O a 1159,54 metros de altitude.

Através da curva de valor médio mensal da nebulosidade, também exibida na Fig. 2, e considerando o valor anual computado de 0,56 como limiar de decisão, é possível identificar um período de maior nebulosidade que abrange outubro a abril, e também um período de menor nebulosidade nos meses de maio a setembro. Para estes períodos serão calculados os ângulos de zênite solar médio, assim como o ângulo de zênite médio considerando o ano inteiro. Esses ângulos serão a referência para o ângulo de inclinação dos painéis solares fixos referente a cada período (mais nublado, menos nublado e ano inteiro).

Observa-se na Fig. 2 que podem ocorrer variações dos valores de nebulosidade média de um certo mês, para anos distintos. Ocorrências de fenômenos climáticos como El-Niño e La-Niña podem afetar o clima regional e global, mudando os padrões de vento a nível mundial, e afetando assim, os regimes de chuva em regiões tropicais e de latitudes médias.

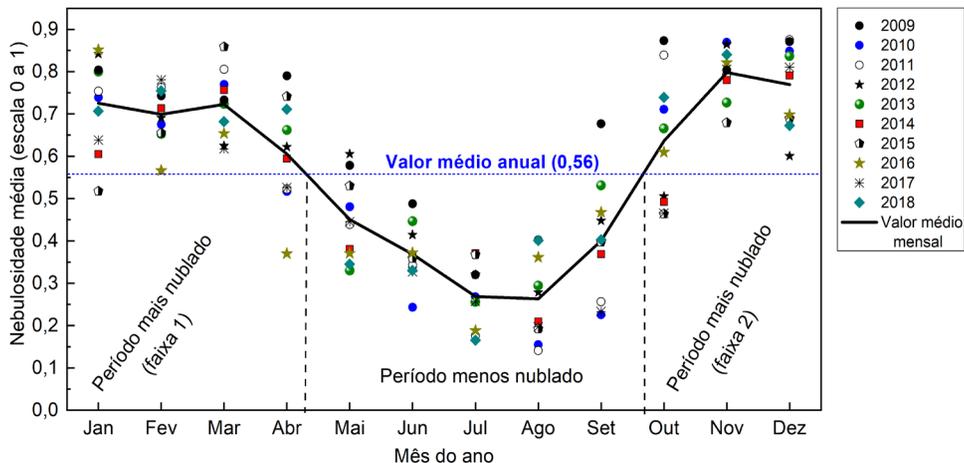


Figura 2 - Valores de nebulosidade média em Brasília/DF nos anos de (2009 a 2018).

2.2 Estimativa dos ângulos de zênite médios

A Fig. 3 mostra os ângulos solares que descrevem a direção de incidência dos raios solares em relação à superfície local. Para que os raios solares incidam normalmente na superfície de um arranjo de painéis solares, este arranjo deve ser inclinado de um ângulo igual ao ângulo de zênite (θ_z) de modo a otimizar a captação da energia solar. Para equiparar a energia solar captada pelos painéis durante a manhã com a captada durante à tarde, o ângulo de azimute é fixado em $\psi = 0^\circ$, que é o ângulo de azimute solar ao meio dia, momento do dia em que a irradiância solar é máxima. Como consequência, a obtenção de ângulos de zênite solares positivos indicam que o arranjo de painéis solares deve ser inclinado com a face voltada para o sentido do Pólo Norte, e ângulos de zênite negativos indicam que o arranjo deve ser inclinado com a face voltada para o sentido do Pólo Sul.

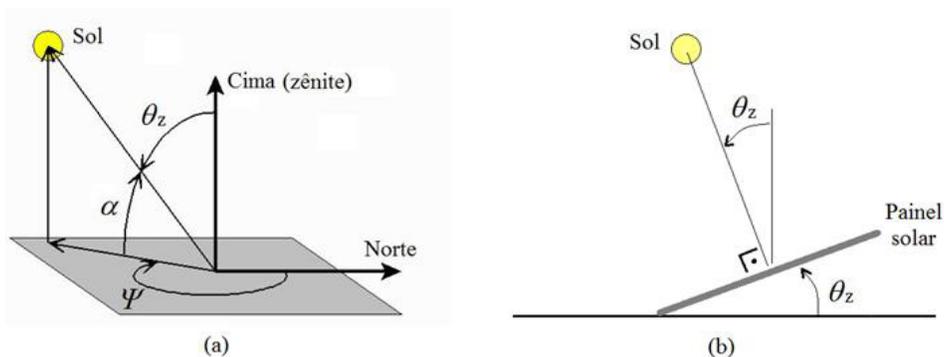


Figura 3 - (a) Ângulos solares ψ (Ângulo de azimute), α (altitude solar) e θ_z (ângulo de zênite); (b) Inclinação do painel solar para incidência normal dos raios solares.

A Fig. 4 ilustra o ângulo de zênite solar estimado para todos os dias do ano em Brasília, através de programa desenvolvido em (Campos e Alcantara, 2016), usando cálculos descritos em (Messenger, 2010), onde também são destacados os períodos de maior e menor nebulosidade, identificados pela Fig. 2. Os ângulos de zênite para Porto Alegre/RS também são expostos apenas para comparação e referência. Observe que em Brasília, em alguns dias do ano, o ângulo de zênite solar se torna negativo. Nestes dias a radiação solar seria melhor recebida ao se voltar a face dos painéis solares na direção do Pólo Sul. Esta mudança de sinal no ângulo de zênite solar não ocorre para a cidade de Porto Alegre, para a qual θ_z é sempre positivo e os raios solares são recebidos sempre através dos céus do hemisfério norte. Isto se deve ao fato de que Porto Alegre está situada em uma latitude superior (em módulo) ao ângulo de inclinação axial da Terra que mede $23^\circ 26' 21''$.

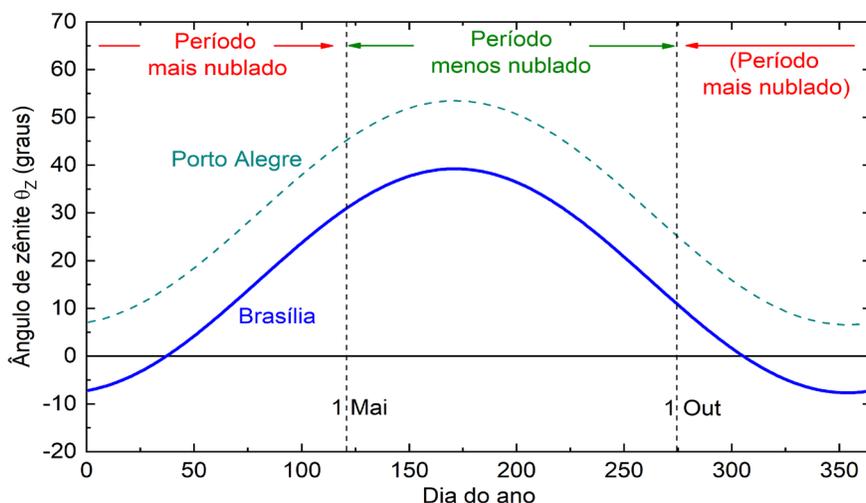


Figura 4 - Ângulos de zênite solar em função dos dias do ano, para $\psi = 0^\circ$ (azimute solar ao meio dia).

A estimativa do ângulo de zênite médio é feita para três casos ou períodos, a saber, “período menos nublado”, “período mais nublado” e “ano inteiro”. Esta estimativa é feita através da fórmula de média para variáveis contínuas, expressa pela Eq. (1), onde d_1 e d_2 são o dia inicial e o dia final, respectivamente, do período considerado. A integral na Eq. (1) é resolvida numericamente (método trapezoidal) considerando a função θ_z da Fig. 4, para a cidade de Brasília. Os parâmetros e valores médios obtidos para cada período são mostrados na Tab. 1. Os valores de θ_{zM} foram arredondados para inteiro. Observe que o resultado obtido aplicando a média no ano inteiro é aproximadamente igual à latitude de Brasília.

$$\theta_{ZM} = \frac{1}{d_2 - d_1} \int_{d_1}^{d_2} \theta_z dt \quad (1)$$

PERÍODO DO ANO	d_1	d_2	θ_{ZM}
Menos nublado	121	274	22°
Mais nublado	275	365+120	4°
Ano Inteiro	1	365	16°

Tabela 1 - Ângulos de zênite médios.

O valor de d_2 para o período mais nublado leva em conta a periodicidade anual da função θ_z . O próximo passo é estimar a incidência de densidade de energia solar nas faces de painéis fotovoltaicos inclinados nos ângulos θ_{ZM} encontrados e expostos na Tab. 1. Isto é feito através do programa Radiasol 2.

2.3 Uso do programa Radiasol 2

A Fig. 5 mostra a interface gráfica e de inserção dos valores de entrada do programa Radiasol 2. No parâmetro de entrada “Inclinação do Módulo” (ou inclinação do arranjo de painéis), foram inseridos os valores (em módulo) obtidos para θ_{ZM} , um por simulação. No parâmetro “Desvio Azimutal” é inserido 0° se θ_{ZM} é positivo e 180° se θ_{ZM} é negativo (no caso da Tab. 1 todos os ângulos médios foram positivos). A partir do mapa do Brasil exibido na interface, selecionou-se o ponto correspondente ao estado de Goiás (estado onde Brasília encontra-se geograficamente) e então a localidade desejada no mesmo (Brasília).

Como origem dos dados da média de irradiação, foi selecionada a base de dados do projeto Solar and Wind Energy Resource Assessment (SWERA). Esta base de dados disponibiliza valores estimados de radiação a partir de 10 anos de dados construídos através de parceria entre o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (DMA/CPTEC/INPE) e o Laboratório de Energia Solar da Universidade Federal de Santa Catarina (LABSOLAR /UFSC), fazendo uso do modelo de transferência radiativa BRASIL-SR (Pereira, 2017). Este acervo é bastante utilizado em estudos que informam o potencial da região para o aproveitamento energético solar (Silva; Souza, 2016; Morais-Junior et al., 2012). O projeto SWERA, realizado no período de 2001 a 2011, teve como foco principal promover o levantamento de uma base de dados confiável e de alta qualidade visando auxiliar no planejamento e desenvolvimento de políticas públicas de incentivo a projetos nacionais de energia solar e eólica.

Foram extraídos então os resultados pertinentes a cada inclinação θ_{ZM} do módulo solar. Estes resultados são apresentados e discutidos na próxima seção.

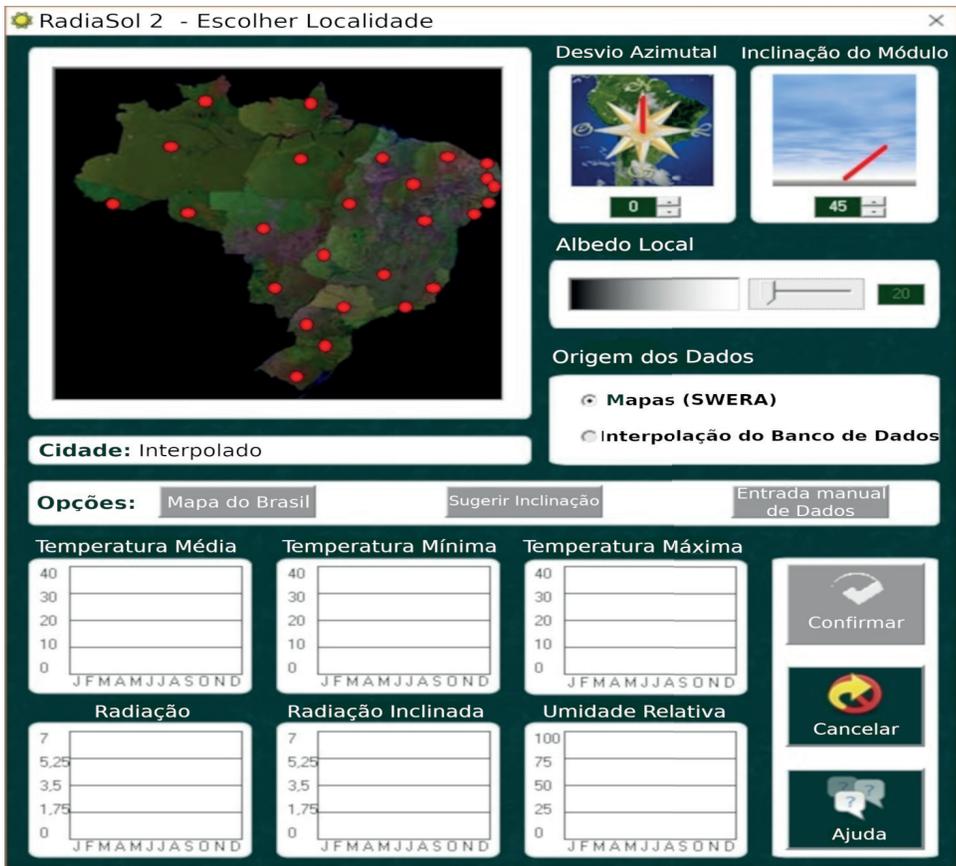


Figura 5 - Interface gráfica inicial do programa Radiasol 2, desenvolvido na UFRGS.

3 I RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados exibidos na Fig. 6 são de irradiação global recebida por painéis solares nos diferentes ângulos de inclinação e foram obtidos através do uso do software Radiasol 2. Estes valores de irradiação levam em conta também a influência estatística da nebulosidade local, pois a fonte de dados adotada (SWERA) é baseada em médias de dados medidos de radiação solar ao longo de 10 anos. Estes dados, por serem medidos, irão conter naturalmente o impacto da nebulosidade no valor da radiação solar.

A partir dos valores de irradiação mostrados na Fig. 6 e comparando os resultados para painéis inclinados em 22° (otimizada para períodos menos nublados) com os resultados para a inclinação padrão de 16°, observou-se para a primeira inclinação o aumento da radiação recebida durante os meses de abril a agosto. Nos meses de outubro a fevereiro houve uma redução da irradiação captada nos painéis inclinados a 22°, inclusive se tornando inferior à radiação captada nas outras inclinações consideradas. Quando

os painéis são inclinados em 4°, a qual é a inclinação otimizada para os períodos mais nublados do ano, há uma melhoria da captação de radiação nos meses de novembro a fevereiro, mas nos meses intermediários do ano esta captação é reduzida ao comparar-se com as outras duas inclinações.

A Tab. 2 fornece valores da irradiação anual estimada para as inclinações consideradas, onde observa-se que os valores obtidos anualmente para as inclinações de 16° e 22° são bem próximos. Ou seja, é possível inclinar os painéis dentro de uma faixa de 16° a 22° com as faces dos painéis voltadas para o Pólo Norte, sem perda na quantidade de irradiação solar anual recebida. Contudo, no caso da inclinação em 22°, haverá um aumento na captação nos meses de abril a agosto e uma redução na mesma nos meses de outubro a fevereiro.

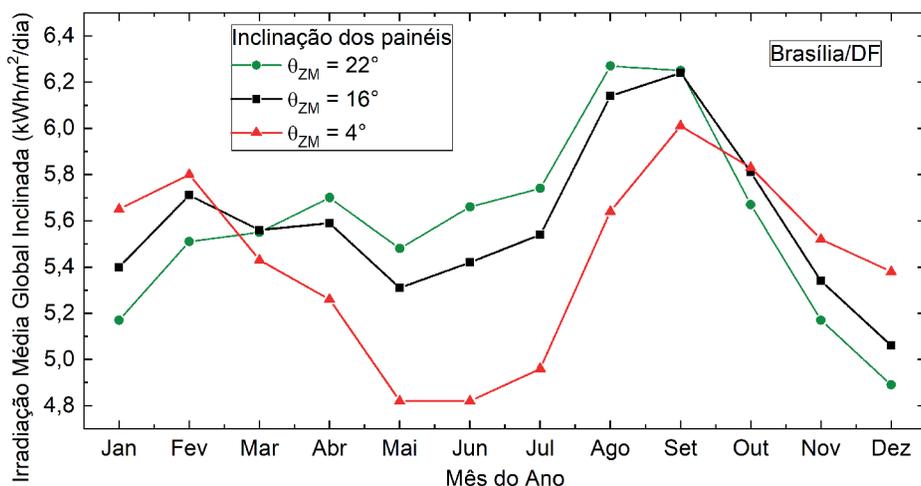


Figura 6 - Resultados de Irradiação média recebida pelos painéis solares nas diferentes inclinações usando o programa Radiasol 2.

INCLINAÇÃO DOS PAINÉIS (θ_{ZM})	INCLINAÇÃO REFINADA PARA PERÍODO	IRRADIAÇÃO ANUAL RECEBIDA (kWh/m²)
22°	Menos nublado	2039,55
16°	Ano Inteiro	2041,00
4°	Mais nublado	1979,71

Tabela 2 - Valores da irradiação total anual recebida pelos painéis nas diferentes inclinações.

A Fig. 7 fornece as estimativas de uma situação idealizada, onde um mesmo arranjo fotovoltaico é inclinado de 22° nos meses de março a setembro visando melhorar a captação no período menos nublado do ano e de 4° nos meses de outubro a fevereiro, para melhorar a captação no período mais nublado. Observou-se que nesta situação houve um aumento estimado da irradiação anual recebida para o valor de $2093,20 \text{ kWh/m}^2$.

Após realizada a avaliação do potencial de captação de radiação solar em um local, o tipo e a quantidade de painéis a serem usados em uma instalação fotovoltaica depende da eficiência dos painéis e da demanda de consumo energético da residência ou estabelecimento comercial que será beneficiado. Ou seja, deve ser feita uma análise prévia dos equipamentos elétricos que serão assistidos pelo sistema, assim como da sua frequência de uso. Dessa forma, poderão haver grandes variações de dimensões entre sistemas fotovoltaicos, dependendo da qualidade dos painéis e da energia elétrica necessária.

Vale lembrar que esta análise se refere a Brasília/DF. Para uma análise referente a outra localização geográfica, onde ocorra períodos com acentuadas diferenças de nebulosidade, este procedimento deve ser realizado usando os dados meteorológicos e os ângulos de zênite solar médios desta localidade.

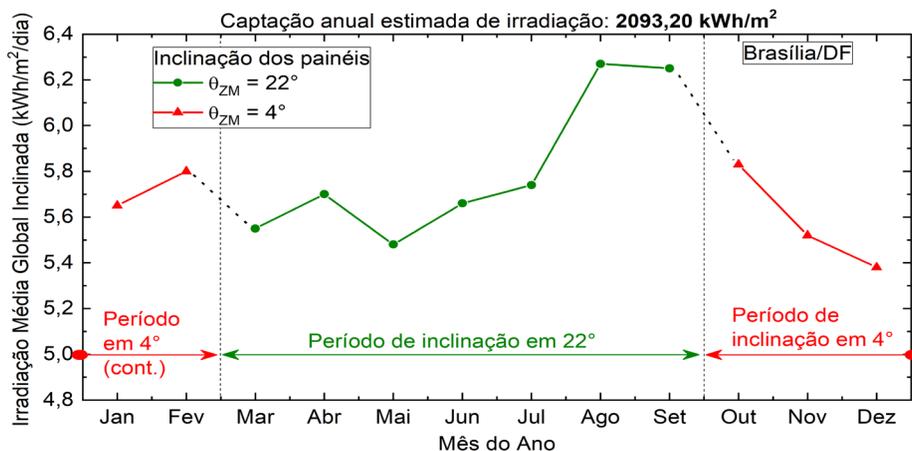


Figura 7 - Resultados de Irradiação média recebida pelos painéis solares comutando a orientação dos painéis para aumentar o desempenho de captação de irradiação.

4 | CONCLUSÕES

Na cidade de Brasília, a partir dos resultados deste trabalho levando em conta as variações anuais de nebulosidade, verificou-se que é possível inclinar os painéis dentro de uma faixa de 16° a 22° com as faces dos painéis voltadas para o Pólo Norte, sem perda na quantidade de irradiação solar anual recebida, a qual foi estimada em aproximadamente

2040 kWh/m² nesta faixa de inclinação. A diferença é que a orientação de 22° é otimizada para o período menos nublado do ano, onde observou-se que nesta inclinação haverá uma melhoria na irradiação solar recebida nos meses de abril a agosto, mas haverá uma diminuição da irradiação recebida de novembro a fevereiro, se comparada com a inclinação de 16° (inclinação padrão dos painéis solares para Brasília).

O ângulo de inclinação de 4° é otimizado para receber a radiação solar no período mais nublado do ano em Brasília, onde observou-se que há uma melhoria da captação de irradiação nos meses de novembro a fevereiro, mas haverá uma grande decréscimo nesta captação nos meses de março a setembro, impactando na redução da irradiação anual, estimada em 1979,71 kWh/m² para esta orientação dos painéis em 4°. Em uma situação idealizada, onde um mesmo arranjo fotovoltaico é inclinado de 22° nos meses de março a setembro a fim de melhorar a captação no período menos nublado do ano e de 4° nos meses de outubro a fevereiro, para melhorar a captação no período mais nublado, observou-se que nesta situação houve um aumento estimado da irradiação anual recebida para 2093,20 kWh/m².

Além da nebulosidade, a baixa eficiência de conversão dos painéis fotovoltaicos comerciais atuais é outro fator que impede uma margem ainda maior de produção de energia elétrica, pois apenas uma relativamente baixa fração da irradiação incidente estimada será convertida em energia elétrica. Contudo, através de avanços nas pesquisas acerca dos materiais envolvidos e dos processos de fabricação dos painéis, espera-se que o aumento da eficiência de conversão fotovoltaica ainda seja factível ao longo dos anos futuros e, conseqüentemente, uma vantagem maior na produção de energia elétrica, associada também a uma inclinação adequada dos painéis, poderá ser obtida.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao INME por disponibilizar publicamente os dados de suas estações meteorológicas automáticas e ao Laboratório de Energia Solar (LABSOL) da UFRGS pela disponibilização do software Radasol 2.

REFERÊNCIAS

Campos, M. S., Alcantara, L. D. S, 2016. **Interpretação dos efeitos de tempo nublado e chuvoso sobre a radiação solar em Belém/PA para uso em sistemas fotovoltaicos**. Revista Brasileira de Meteorologia, v.31,n.4(supl.), p.570-579.

GT Brasília Solar – Grupo de Trabalho Brasília Solar, 2016. **Programa Brasília Solar: Consulta Pública. Brasília: Secretaria do Meio Ambiente (SEMA-DF)**. Brasil.

Hinrichs, R. A., 2009; Kleinbach, M. **Energia e meio ambiente**. 3. ed. São Paulo: Cengage Learning.

Martins, F. R., Pereira, E. B., Silva, S. A. B., Abreu, S. L., Colle, S., 2008. **Solar energy scenarios in Brazil, Part one: Resource assessment**. Energy Policy, v. 36, n. 8, p. 2853–2864.

Messenger, R. A., Ventre, J., 2010. **Photovoltaic systems engineering**. 2. ed. Flórida: CRC Press LLC, cap. 2, p. 21-46.

MME- Ministério de Minas e Energia, 2007. **Plano Nacional de Energia 2030**. Brasília: Empresa de Pesquisa Energética (EPE). Disponível em: < <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Plano-Nacional-de-Energia-PNE-2030> >. Acesso em: 10 fev 2021.

Morais Junior, H. S., Cavalcante, R. L., Galhardo, M A. B., Macêdo, W., 2012 **Aplicação de Energia Solar Fotovoltaica-Estudo de Caso na Região Amazônica**. Revista Geonorte, Edição Especial, v.2, n.4, p.1303 - 1309.

Pereira, E. B., Martins, F. R., Gonçalves, A. R., Costa, R. S., Lima F. J. L., Rütther, R.; Abreu, S. L., Tiepolo, G. M., Pereira, S. V., Souza, J. G., 2017. **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. 2. ed. São José dos Campos

Pinho, J. T., Galdino, M. A, 2014. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. Edição Revisada e Atualizada. Cepel - CRESESB. Rio de Janeiro.

Rütther, R. **Edifícios solares fotovoltaicos: o potencial de geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligada à rede elétrica pública**. Florianópolis: UFSC; LABSOLAR, 2004.

Sauaia, R., 2015. **Proposta para a Energia Solar Fotovoltaica no GDF**. Brasília: ABSOLAR.

Silva, G. D. P. S, Souza, M. J. R., 2016. **Análise de variáveis de projeto de sistema solar fotovoltaico utilizando o modelo SAM: Uma comparação entre Belém, Fortaleza e Brasília**. Revista Brasileira De Energias Renováveis, v5, n.2, p.297-312.

Souza, A. P., Escobedo, J. S., Dal Pai, A., Gomes, E. N., 2012. **Annual evolution of global, direct and diffuse radiation and fractions in tilted surfaces**. Engenharia Agrícola, v. 32, n. 2, p. 247-260.

Teles, M. B., 2017. **Avaliação operacional das diferentes arquiteturas de interligação de geradores fotovoltaicos à rede elétrica de baixa tensão**. 2017.84 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Pará. Instituto de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Belém.

Varejão-Silva, M. A., 2006. **Meteorologia e Climatologia**. Recife, p. 463.

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