

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

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

Data de aceite: 01/05/2021

Ana Lyvia Pereira Lima de Araújo

Campus Sobral, Universidade Federal do Ceará, Engenharia Elétrica, Sobral-CE

Arthur Vinicius dos Santos Lopes

Campus Sobral, Universidade Federal do Ceará, Engenharia Elétrica, Sobral-CE

Adson Bezerra Moreira

Campus Sobral, Universidade Federal do Ceará, Engenharia Elétrica, Sobral-CE

RESUMO: As instalações de painéis fotovoltaicos utilizam equipamentos que verificam os diagnósticos, certificando-se das informações dos módulos fotovoltaicos, como também auxiliar nas operações e manutenções. No entanto, este equipamento possui um elevado valor de obtenção para pequenos empreendimentos. O desenvolvimento de um traçador de curva I-V apresenta uma importância significativa para a avaliação do módulo fotovoltaico, verificando possíveis defeitos nas células que consiste o módulo, a partir de discontinuidades na curva característica natural do traçador. Dessa forma, será abordado sobre as cargas variáveis que podem ser implementadas juntamente com o módulo fotovoltaico, realizando comparações para a obtenção da carga com o melhor desempenho, com resposta rápida e baixo custo. Por conseguinte, será apresentado a simulação da carga variável, o conversor CC-

CC buck-boost com o painel fotovoltaico, a partir da implementação do sistema de controle de corrente e controle de tensão, obtendo-se a curva característica I-V.

PALAVRAS - CHAVE: Painéis Fotovoltaicos, Traçador de curva I-V, Cargas Variáveis.

ANALYSIS TOPOLOGIES IN I-V CURVE TRACER APPLIED IN PHOTOVOLTAIC MODULES

ABSTRACT: Photovoltaic panel installations use equipment that verifies diagnostics, making sure photovoltaic module information, as well as assist in operations and maintenance. However, this equipment has a high value of obtaining for small businesses. The development of an I-V curve tracer is of significant importance for the evaluation of the photovoltaic module, verifying possible defects in the cells consisting of the module, from discontinuities in the characteristic curve tracer's. Thereby, will be addressed the variable loads that can be implemented together photovoltaic module, performing comparisons to obtain of the load with the best performance, quick response and low cost. Therefore, it will exhibit the variable load simulation, the DC-DC converter buck-boost with the photovoltaic panel, will be present, based on the implementation of the current control and voltage control system, obtaining the characteristic curve I-V.

KEYWORDS: Photovoltaic Panels, I-V Curve Tracer, Variable Loads.

1 | INTRODUÇÃO

Nos últimos anos ocorreu um elevado crescimento em instalações de sistemas de geração de distribuição de energia elétrica no Brasil, ultrapassando 1 GW de potência instalada em micro e mini geração distribuída de energia. E a partir da regulação da Agência Nacional de Energia Elétrica, ANEEL (Resoluções Normativas 482/2012 e 687/2015), possibilita que o consumidor possa gerar sua energia elétrica através de fontes renováveis. Por conseguinte, a fonte que apresenta maior destaque é a fotovoltaica, responsável por cerca de 870 megawatts (MW) de potência instalada, com 82,6 mil micro e mini usinas. Nos estados de Minas Gerais superando 16,7 mil unidades de geração com 212,3 MW de potência instalada, Rio Grande do Sul apresentando 12 mil unidades com potência instalada de 144,4 MW e São Paulo que atingiu 14,5 mil unidades com 117,4 MW, formam os estados brasileiros que mais desenvolveram a micro e minigeração no país (ANEEL, 2019).

Em 2017, em nível global foi instalado aproximadamente 95 GW, apresentando um crescimento exponencial no mercado de energia solar na China, Estados Unidos e Índia. Tais mercados mostram equilíbrio entre as instalações de grande porte, em usinas solares e geração distribuída, instalações em telhados de casas e empresas, destacando a energia fotovoltaica como um resultado para várias necessidades, desde a produção de energia para uma residência como também em uma grande usina solar, produzindo energia para comunidades (PORTAL SOLAR, 2019).

Os módulos fotovoltaicos são responsáveis por converter a radiação solar em eletricidade, tais módulos possuem características elétricas que possibilitam a verificação da sua qualidade e desempenho. Esta verificação pode ser realizada através da curva característica do módulo fotovoltaico, proporcionando obter a corrente de curto-circuito, tensão de circuito aberto, potência máxima e entre outros parâmetros. Após projetar e ao ser feita a instalação dos painéis solares, para garantir as ótimas operações, é necessário conhecer vários fatores que influenciam a eficiência do sistema de energia, pois esses sistemas são expostos a diversas falhas e defeitos que afetam a energia gerada, como, falhas por curto-circuito, circuito aberto e mesmo algum dano durante o transporte e instalação dos painéis. O diagnóstico torna-se uma prática fundamental para detectar possíveis defeitos e com o traçado da curva I-V é possível identificá-los nas células que fazem parte do módulo.

Com o elevado crescimento do número de instalações de painéis fotovoltaicos (FV) no Brasil, equipamentos para diagnosticar, o funcionamento durante a instalação FV e evitar possíveis problemas que podem surgir ao longo dos anos no sistema elétrico, auxiliando nas operações e manutenções. O equipamento é conhecido como Traçador de curva I-V, capaz de fornecer a curva característica. Dessa forma, a partir da curva I-V pode-se determinar a corrente de curto circuito, a tensão de circuito aberto, a máxima potência

e outros fatores.

Este artigo tem como objetivo apresentar conceitos fundamentais para a construção de um traçador de curva I-V, realizar a comparação entre os métodos de obtenção da curva I-V e com isso desenvolver a simulação da carga variável com o módulo fotovoltaico, observando o seu desempenho.

2 | CARACTERIZAÇÃO DO MÓDULO FV

Para a verificação das características dos arranjos ou das placas fotovoltaico, se faz necessário um dispositivo que consiga varrer todos os pontos da curva característica do painel, podendo verificar a corrente máxima fornecida, a tensão máxima e informar o ponto de maior transferência de potência para uma determinada carga. Para a análise é necessário um modelo matemático equivalente do painel FV, apresentado na Fig. 1.

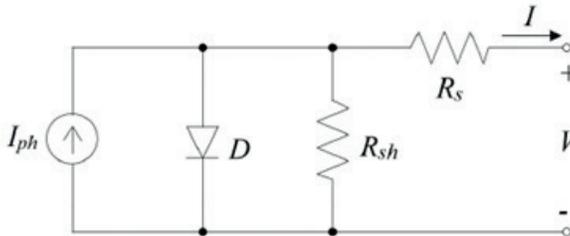


Figura 1 - Modelo elétrico equivalente do FV.

Para análise matemática, o modelo equivalente do painel FV é tomado como base, onde I_{ph} é caracterizado com uma fonte de corrente que depende da irradiação a qual a célula está submetida. A irradiação é a relação entre a quantidade de energia solar que penetra em uma determinada área, cuja a unidade é expressada em Watts por metro quadrado (W/m^2).

Considerando a R_s e R_{sh} , em que são respectivamente as resistências em série e paralelo. Sendo, R_s a resistência intrínseca do material semicondutor somada com resistência dos contatos e interconexões metálicas e a resistência entre os contatos metálicos e o semicondutor. A R_{sh} (ou resistência Shunt) é causado devido a fuga de elétrons através da junção P-N, a qual ocorre devido defeitos no cristal ou impurezas na junção P-N.

Analisando a Fig. 1, é necessário obter as características IxV do painel fotovoltaico. Utilizando-se dos teoremas da análise de circuitos elétricos e aplicando a lei de Kirchhoff das correntes, a corrente do painel, e dada por (1).

$$I = I_{ph} - I_d - I_{rsh} \quad (1)$$

Em que I_d é a corrente que passa pelo diodo em antiparalelo com a fonte de corrente I_{ph} . Sendo I_d é calculado por (2).

$$I_d = I_o \cdot \left[\exp\left(\frac{q \cdot V_d}{n \cdot k \cdot T}\right) - 1 \right] \quad (2)$$

Dada a Eq. (2), q é a carga do elétron (1.602×10^{-19} C), k é a constante de Boltzmann (1.38065×10^{-23} J / K), I_o é a corrente de saturação reversa do diodo ou corrente de fuga, e T é a temperatura da junção P-N (Temperatura da célula FV em Operação), expressa em Kelvin. Enquanto, V_d é a tensão do diodo. Calculada por (3).

$$V_d = I_{rsh} \cdot R_{rsh} \quad (3)$$

Substituindo (2) e (3) em (1) a equação da corrente do painel FV e rescrita por (4).

$$I = I_{ph} - I_o \cdot \left[\exp\left(\frac{q \cdot V_d}{n \cdot k \cdot T}\right) - 1 \right] - \frac{V + I \cdot R_s}{R_{sh}} \quad (4)$$

O modelo matemático pode ser ampliado, fazendo a conexão de outras células em série, idealmente iguais e submetidas ao mesmo nível de irradiação. A Eq. (4) pode relacionar com o equivalente das resistências série e paralelo, de acordo com (5).

$$R_s' = R_s \cdot N_s \text{ e } R_{sh}' = R_{sh} \cdot N_s \quad (5)$$

Substituindo (5) em (4), resulta em (6).

$$I = I_{ph} - I_o \cdot \left[\exp\left(\frac{q \cdot (V + I \cdot R_s')}{n \cdot k \cdot T N_s}\right) - 1 \right] - \frac{V + I \cdot R_s'}{R_{sh}'} \quad (6)$$

O valor tensão de saída da célula depende da tensão do diodo e a queda de tensão provocada pela resistência série.

2.1 Curva Característica $I \times V$ e $P \times V$

Os módulos fotovoltaicos são caracterizados por suas curvas de corrente versus tensão e potência versus tensão, no entanto os valores de corrente e tensão dos painéis, sofrem influência das características de temperatura e irradiação.

Na Fig. 2 são mostradas a curva I-V e a curva P-V, na qual pode-se destacar alguns pontos importantes:

- I_{SC} - Corrente de curto-circuito da célula, em que é a corrente máxima que o painel fornecer, mediante a tensão está tendo a zero.
- I_{MP} - Corrente onde há máxima geração de potência;
- P_{MAX} - O ponto em que o painel entrega a máxima potência;

- V_{MP} - Tensão para ocorrer a máxima geração de potência;
- V_{OC} - Tensão de circuito aberto, em que é o valor máximo de tensão que o painel consegue fornecer, mediante a corrente seja zero.

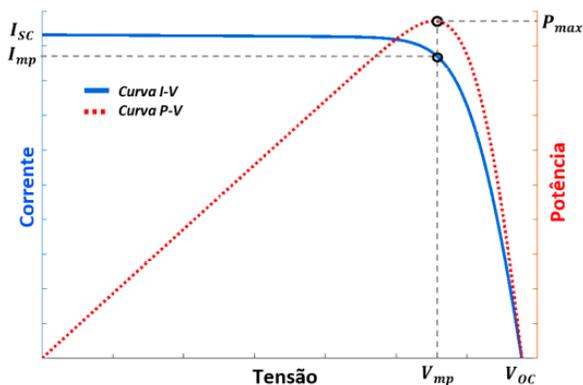


Figura 2 - Curvas características IxV e PxV

3 I PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DO TRAÇADOR FOTOVOLTAICO

O traçador de curva I-V de painéis solares é um equipamento importante para a verificação do funcionamento do arranjo dos painéis, mediante os dados de temperatura e irradiação, pode-se observar a qualidade de desempenho dos módulos. A curva fornecida por esse equipamento, permite que um especialista analise o painel solar FV.

Este equipamento é constituído de diversos estágios, como mostrado na Fig. 3, apresentando bloco de aquisição e condicionamento, processamento e controle, utilizando também uma carga variável em sua composição. O esquema é composto pelos blocos do traçador, com sensores para obter os parâmetros de tensão, corrente, temperatura e irradiação. Os valores de tensão e corrente são obtidos para uma determinada condição de temperatura da célula e de irradiância solar no plano do painel. O esquema também apresenta ferramentas para a interface homem-máquina (IHM) como, computadores, aplicativos, proporcionando interação do homem com a máquina, podendo o mesmo visualizar a curva I-V e valores medidos para a análise de possíveis problemas, em todos os instrumentos comerciais.

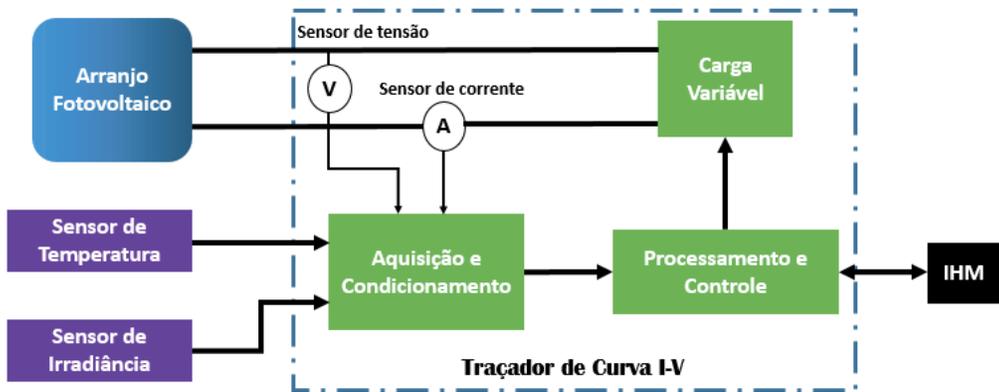


Figura 3 - Esquemático do Traçador de Curva I-V.

O componente de controle central é o microcontrolador, em que é realizada a medição e o controle dos parâmetros elétricos. Os dados podem ser enviados para o computador, sendo possível obter o comportamento graficamente do painel com as variações de carga, definindo a região de máxima potência.

4 | CARGA VARIÁVEL

Em um trabalho recente, E. Duran et al. (2017) propuseram que, para obter a curva característica do módulo FV é necessário que haja uma carga variável que possibilite obter todos os pontos da curva I-V. Para isso utiliza-se alguns tipos de carga para realizar esse processo, quatro tipos de métodos podem ser utilizados para essa finalidade: carga resistiva variável, conversor CC-CC com carga resistiva, carga eletrônica e carga capacitiva.

4.1 Carga Resistiva Variável

Em uma análise prévia, é encontrado um dispositivo, que pode percorrer a curva do I-V, sendo caracterizado com uma resistência variável, um potenciômetro, ele idealmente pode percorrer todos os pontos da curva, funcionando, como um circuito aberto, em que sua resistência adquire um valor muito grande, teoricamente tende para o infinito, caracterizado o circuito aberto, A. Ibrahim (2011). A configuração é ilustrada na Fig.4.

Outro ponto de interesse desse dispositivo é quando a sua resistência tende para o valor zero, representando o curto-circuito para o painel, obtendo a corrente de . A partir do ajuste da carga é possível verificar todos os pontos importantes da curva dos módulos.

No entanto, esse método utilizando o potenciômetro é limitado devido a dissipação de potência e é necessário, realizar a mudança de resistência manualmente. De modo análogo, foram utilizadas chaves eletrônicas (MOSFET, IGBT e TBJ), controladas automaticamente, para fazer abertura e fechamento das chaves que ligam as cargas resistivas ao painel

solares, simulando o funcionamento do potenciômetro E. VAN DYK et al. (2002). O ajuste de carga a partir das chaves eletrônicas melhora a precisão do sistema, devido o tempo de manobra das chaves ser automatizado, retirando qualquer interferência no tempo de realização das mudanças de resistência realizada manualmente.

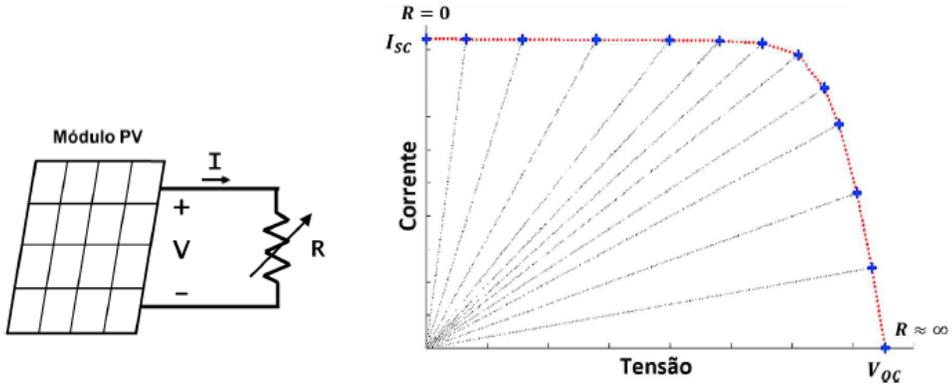


Figura 4 - Carga resistiva variável e curva I-V obtida a partir da carga resistiva variável.

4.2 Capacitiva

O capacitor é um componente que permite armazenar energia elétrica e manter essa energia durante um certo período. Em J. MUÑOZ et al (2006), é utilizado o capacitor juntamente com o IGBT na saída do painel fotovoltaico, para obter a curva característica I-V de matrizes fotovoltaicas com correntes de curto-circuito de até 80 A e tensões de até 800 V. Na Fig. 5, observa-se o esquema da carga capacitiva composta por um capacitor e a chave, e as formas de ondas de corrente e tensão após o fechamento da chave, $t=0$. Quando o capacitor é descarregado, ou seja, com a tensão zero em seus terminais e a chave fechada, o painel fornece corrente de curto-circuito e o carregamento do capacitor é iniciado. Dessa forma, a tensão do capacitor se eleva do ponto de curto-circuito até alcançar a tensão de circuito aberto. Portanto, com o capacitor descarregado inicialmente e se aplicar uma tensão em seus terminais, a carga aumenta gradativamente até a tensão de circuito aberto.

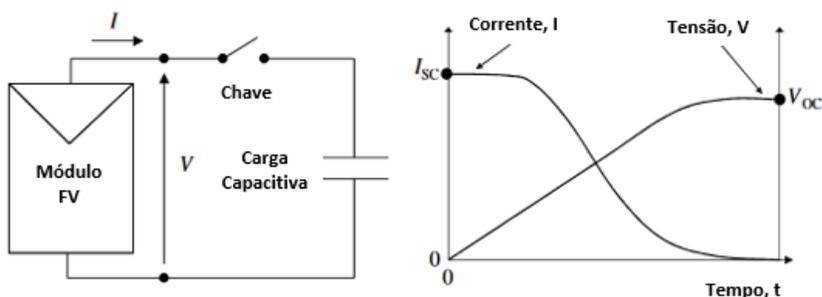


Figura 5 - Carga capacitiva ideal e Formas de onda de corrente e tensão.

O método de carregamento do capacitor para a obtenção da curva I-V e P-V também é utilizado em F. SPERTINO et al. (2015), fazendo o rastreamento do ponto de máxima potência (MPPT), destacando como principal problema o dimensionamento correto do capacitor para a aplicação e assim obter resultados precisos, com curvas uniformes e suaves. Dessa forma, foram realizados testes para uma mesma irradiância e temperatura em módulos de diferentes tecnologias, com diferentes faixas de capacitâncias, observando o comportamento das formas de ondas de corrente e tensão para a obtenção do ponto de máxima potência.

4.3 Carga Eletrônica

A carga eletrônica consiste em dispositivos semicondutores aplicados em Eletrônica de potência, como, os transistores, MOSFET, IGBT E BJT, em que são controlados por tensão, corrente e frequência.

Em Y. Kuain et al. (2006) é utilizado como carga eletrônica, o MOSFET que opera em sua região linear, como uma carga controlada eletronicamente, possuindo como grande vantagem a sua rápida varredura. O circuito adotado, a partir da varre as curvas de maneira rápida, formando as características I-V e P-V dos módulos fotovoltaicos, juntamente com o dispositivo é adicionado um resistor de potência em série, utilizado para dissipar a energia gerada pelo módulo FV, como ilustrado na Fig. 6. Nessa aplicação, foram realizados testes com o módulo FV e o MOSFET, analisando a operação e as equações características, cujo o ponto de operação do dispositivo é definido a partir da característica do painel fotovoltaico, característica do MOSFET e a conexão do circuito, com todos os dados fornecidos, o dispositivo eletrônico operado de acordo com a tensão. Em casos que se apresenta um valor de corrente de saída dos painéis mais elevada, como é verificado em um conjunto de painéis fotovoltaicos, pode-se associar vários MOSFETS em paralelo.

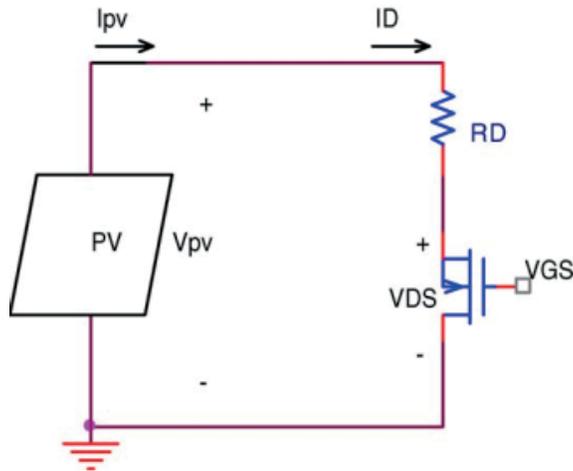


Figura 6 - Circuito Esquemático.

Em V. Leite et al. (2010), assim como em Y. Kuain et al. (2006), realiza-se um teste que utiliza o MOSFET de baixa tensão, ou para potências maiores o MOSFET de alta tensão ou IGBT. Na Fig. 7, a curva em vermelho tem-se a curva característica de um módulo fotovoltaico e a curvas em azul verifica-se as curvas características de um MOSFET, para dada tensões, V_{GS} . Dessa forma, a interseção de característica do módulo com a carga eletrônica determina o ponto de operação, para uma dada tensão, quando for rastreado o em um sinal adequado, o ponto de operação do MOSFET varre o $I_{FV} - V_{FV}$. O circuito proposto, além dos dispositivos de potência, apresenta um conversor CC-CC, circuito eletrônico com isolamento galvânico, evitando danos aos sistemas de aquisição de dados e melhorando a segurança para os operadores. Este circuito proposto é utilizado para analisar as condições de temperatura, irradiância, sombreamento parcial, como também identificar mau funcionamento.

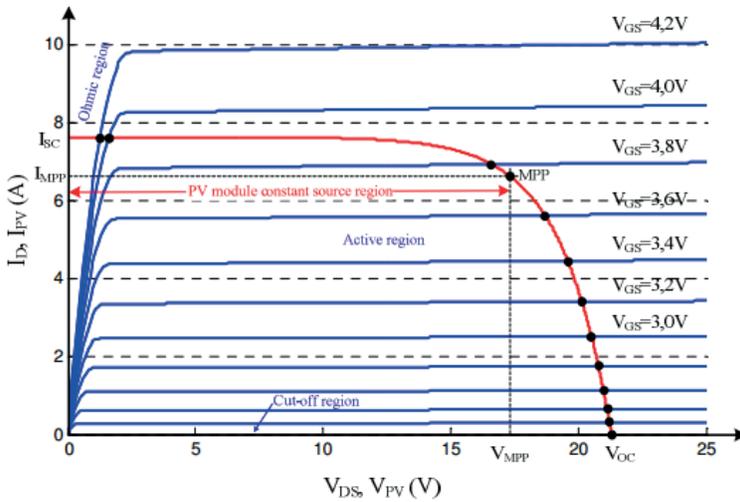


Figura 7 - Curvas características do Módulo FV e MOSFET.

4.4 Conversor CC-CC resistiva

O conversor CC-CC é um circuito eletrônico utilizado na conversão de uma tensão em corrente contínua aplicado na sua entrada em outra tensão em corrente contínua, apresentando uma amplitude diferente na sua saída, podendo ou não inverter a sua polaridade, a partir da modulação por largura de pulso (PWM). Frequentemente os conversores são utilizados em sistemas fotovoltaicos para converter a tensão em outra, como também para realizar a busca de máxima potência através de algoritmo MPPT, o *Maximum Power Point Tracker* (MPPT). Na Fig. 8 pode-se observar o esquema com a aplicação da mesma.

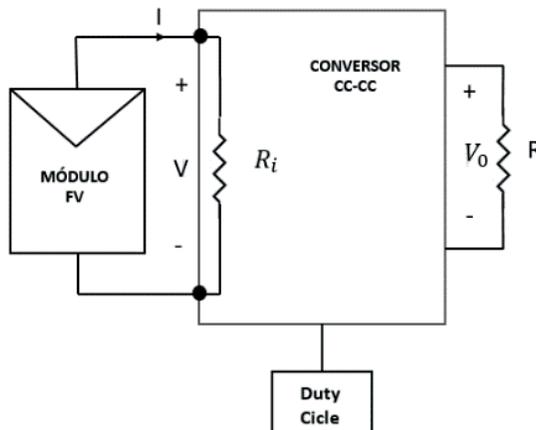


Figura 8 - Esquema com o conversor CC-CC.

Em E. Duran et al. (2007), é utilizado o conversor buck-boost, que se obtém-se a corrente do terminal do módulo variando de zero a corrente de curto-circuito, realizando também a análise teórica do conversor Cúk e SEPIC, por meio de simulações, observando que o conversor SEPIC permite a execução da varredura completa da curva I-V, possuindo como principal vantagem a facilidade a incorporação do isolamento galvânico, não invertendo a polaridade na tensão de saída. O Cúk possui característica de execução semelhante ao SEPIC. O método empregado, o Buck-Boost é o único que proporciona traçar os pontos de curva descrita anteriormente, pois com o conversor Buck não se consegue traçar os pontos de curva próximos a corrente de curto-circuito () e com o conversor Boost não se alcança os pontos próximos da tensão de circuito aberto (). Enquanto utilizando o SEPIC e o Cúk, a curva I-V do painel é com menor ondulação. Dessa forma, o método desenvolvido permite, a exibição direta da curva I-V, podendo traçar essa curva nas duas direções, de I_{sc} para V_{oc} ou de V_{oc} para I_{sc} e reproduzir parcialmente a curva I-V.

No M. Kazerami (2007), é utilizado o conversor Buck, composto pelo dispositivo de potência IGBT, um diodo de recuperação rápida, um indutor, um capacitor e na saída dos terminais do buck é conectado um resistor fixo, apresentando o controle do mesmo, através de simulações para verificar a capacidade de operação, com resistência variável, corrente variável e potência variável. Além disso, utilizando um filtro passa-baixa na entrada com a finalidade de reduzir as ondulações de corrente indesejadas nos terminais da fonte, a um nível tolerado pela fonte e dos painéis. A partir da análise dos resultados das simulações, comparadas com os dados do fabricante do painel, o esquema com a carga aplicada é possível obter a curva característica IxV, concluindo-se é a carga introduzida é de alto desempenho, com estrutura simples, com resposta rápida e de baixo custo.

O conversor buck-boost não-inversor CC-CC, ou seja, com a tensão de saída positiva, possuindo como característica quatro estados de comutação, formado por um conversor buck e boost em cascata, eliminando um capacitor no conversor buck e por duas chaves para a comutação e obtenção das possibilidades dos conversores: buck, boost, buck-boost com apenas uma topologia, representando como sua principal característica Arash A. Boora et al. (2008). Na Fig. 9 é ilustrado o esquema do conversor buck-boost positivo.

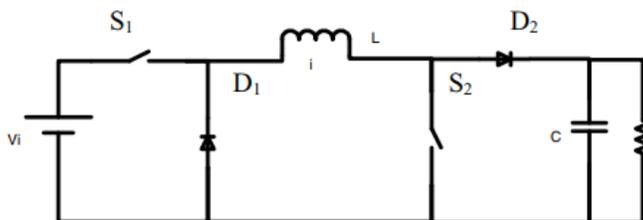


Figura 9 - Conversor CC-CC Buck-Boost não-inversor.

5.1 SIMULAÇÃO DO CONVERSOR BUCK-BOOST POSITIVO COM O PAINEL FOTOVOLTAICO

Para a análise do traçador de curva I-V foi utilizado um conversor CC-CC para emular uma carga variável no painel FV. O conversor CC-CC Buck-Boost positivo foi adotado e realizados de simulação foram obtidos a partir do software SIMULINK.

Na Tab. 1 mostra-se as informações do painel FV utilizadas para a simulação.

Características Elétricas	
Máxima Potência (Pmax)	130,064W
Tensão (Vmap)	17,390V
Corrente (Imp)	7,390A
Tensão (Voc)	21,900V
Corrente (Isc)	8,020A

Tabela 1: Características Elétricas do FV

O conversor CC-CC foi dimensionado para atender os valores da Tab. 1. Para realizar o dimensionamento do Buck-Boost positivo, baseia-se na potência de saída P_o .

$$P_o = R \cdot I_0^2 \quad (7)$$

Sendo I_0 é a corrente de saída, a que circula no resistor, foi escolhida I_{sc} do painel FV.

Dessa forma, pode-se obter a corrente de curto-circuito, utilizando (7) e substituindo os valores de I_{sc} e P_o extraído da Tab. 1, obtém-se o valor de R.

$$R = \frac{130,064}{(8,02)^2} = 2,02\Omega \quad (8)$$

O indutor foi dimensionado a partir (9):

$$L_{min} = \frac{(1-D)^2 \cdot R}{2f} \quad (9)$$

Onde f é a frequência de chaveamento, que foi definida com 40kHz, D é a razão cíclica do chaveamento das chaves, com valor 0.43. O valor do indutor mínimo (L_{min}) é .

O valor do capacitor é determinado por (10).

$$C = \frac{D \cdot V_o}{R \cdot f \cdot \Delta V_o} \quad (10)$$

Em que V_o é a tensão de saída do conversor e ΔV_o é a ondulação da tensão de saída a qual foi definida em 5%.

Na Fig. 10 são mostrados o painel FV e o conversor buck-boost com o sistema de controle e na Fig. 11 é destacado o diagrama do sistema de controle de corrente e controle de tensão.

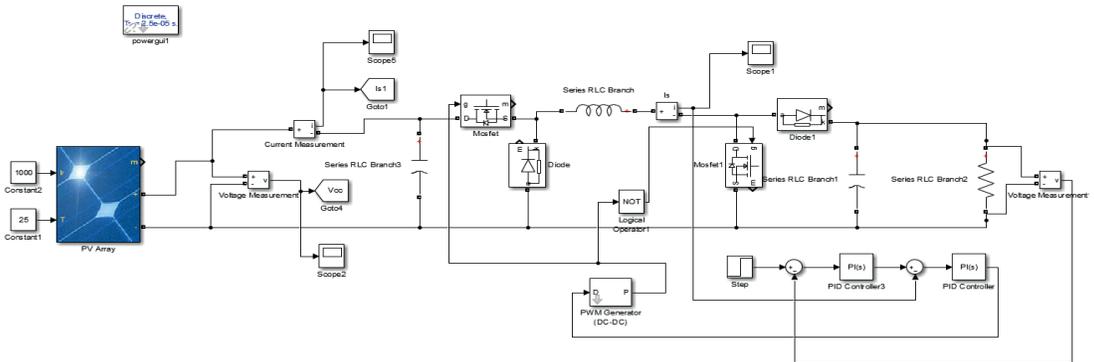


Figura 10 – Conversor CC-CC conectado ao painel FV com controle de corrente e controle de tensão.

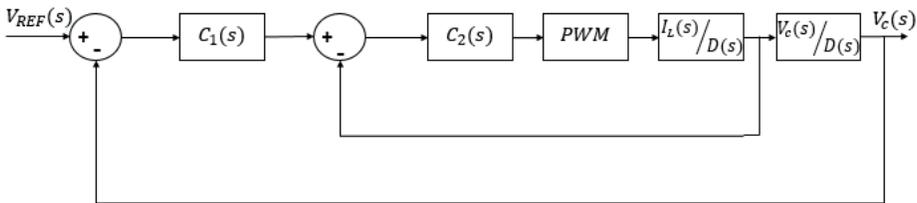


Figura 11 – Sistema de controle para o conversor CC-CC Buck-Boost.

A metodologia utilizada para projetar o controlador é a partir da resposta em frequência, sabendo que é necessário ter um sistema de controle com uma margem de ganho maior que 6dB e uma margem de fase entre 30° e 60°. O controlador PI, $C_1(s)$ e $C_2(s)$ projetado apresenta uma malha interna de corrente e outra externa de tensão como ilustra a Fig.11, em que o tempo de resposta da malha interna é mais rápido que a malha externa.

Em MOREIRA, Adson Bezerra et al. (2019), com base em (11) e (12), obtêm-se os

parâmetros T_i e K_p .

$$T_i = \frac{1}{\omega_c \tan(\pi + |G_i(j\omega_c) - MP_d|)} \quad (11)$$

$$k_p = \frac{1}{|G_i(j\omega_c)| \cdot \left|1 - \frac{j}{\omega_c T_i}\right|} \quad (12)$$

Onde, ω_c é a frequência de cruzamento de ganho e MP_d é a margem de fase desejada.

Os valores T_i e K_p são apresentados na Tab.2.

Malha Interna		Malha Externa	
T_i	K_p	T_i	K_p
1,0585	0,0016	-0,0350	0,0030

Tabela 2: Parâmetros T_i e K_p – Controlador PI.

A função de transferência que relaciona a tensão de saída e a razão cíclica e a corrente do indutor e a razão cíclica é destacada em (13) e (14) Carralero, Leandro Leysdian Oro et al. (2019).

$$\frac{V_c(s)}{D(s)} = \frac{\frac{V_{in}}{(1-D)^2} \left[1 - \frac{LD}{R(1-D)^2} s\right]}{\frac{LC}{(1-D)^2} s^2 + \frac{L}{R(1-D)^2} s + 1} \quad (13)$$

$$\frac{I_L(s)}{D(s)} = \frac{\frac{V_{in}}{R(1-D)^3} [(1+D) + RCs]}{\frac{LC}{(1-D)^2} s^2 + \frac{L}{R(1-D)^2} s + 1} \quad (14)$$

5.1 Resultados Preliminares

Foram obtidas as formas de ondas da corrente e tensão do painel fotovoltaico, como também a forma de onda da potência, na Fig. 12.

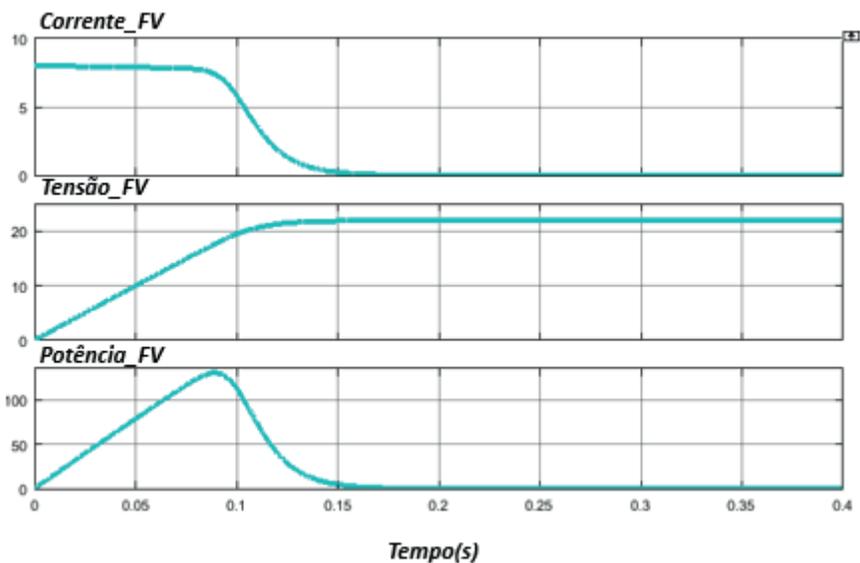


Figura 12 - Formas de onda da corrente, tensão e potência do painel fotovoltaico.

Com o controle de tensão e corrente é possível obter uma distribuição de pontos adequada para traçar a curva I-V e a curva P-V, em que pode ser observada na Fig.13.

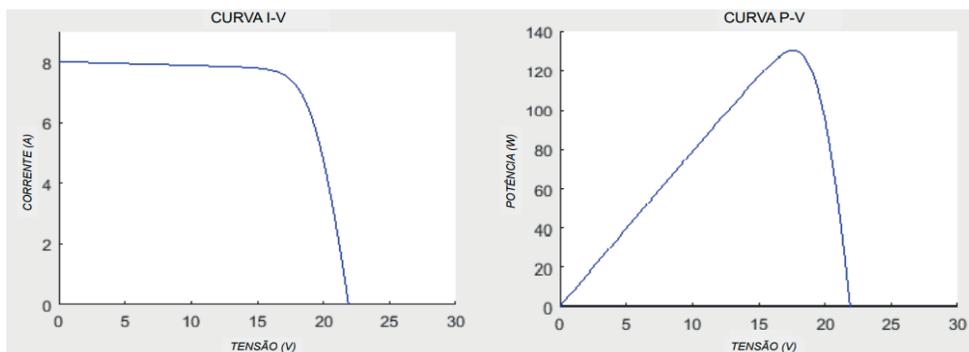


Figura 13: Formas de onda da corrente-tensão e potência-tensão do painel FV.

Na Fig. 14 são mostradas as curvas I-V do módulo fotovoltaico, modelo KC130T.

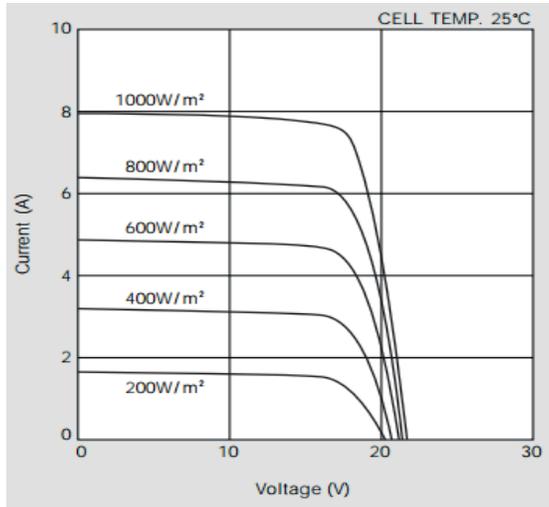


Figura 14: Formas de onda da corrente-tensão para o módulo KC130T.

Para uma irradiância de 1000W/m^2 e temperatura de 25°C , a curva I-V do fabricante do modelo, Fig. 14 e a curva I-V da Fig. 13 obtida a partir da simulação do módulo fotovoltaico juntamente com o conversor buck-boost apresentam comportamentos semelhantes, com os pontos de corrente de curto-circuito, tensão de circuito aberto, corrente de máxima potência, tensão de máxima potência e potência máxima possuindo valores próximos. Na Tab.3 é destacado a comparação entre os valores simulados e comerciais.

Parâmetro	Simulação	Comercial	Erro Relativo (%)
I_{SC}	8,017A	8,020A	0,037%
V_{OC}	21,899V	21,900V	0,005%
I_{MP}	7,399A	7,390A	0,122%
V_{MP}	17,586V	17,600V	0,080%
P_M	130,119W	130,064W	0,042%

Tabela 3: Comparação entre valores simulados e comerciais.

6 | CONCLUSÃO

A curva característica permite avaliar a qualidade e o desempenho do módulo fotovoltaico, em que é obtida a partir de uma determinada irradição e temperatura, assim são obtidos tensão e corrente. Há equipamentos comerciais com estas funcionalidades, no entanto, podem-se construir o traçador de curvas I-V, através de componentes eletrônicos

de fácil obtenção.

Neste artigo apresentou-se a análise das cargas variáveis, assim como seus circuitos para a obtenção da curva característica I-V em módulos fotovoltaicos. A partir da análise da topologia do conversor CC-CC com carga resistiva para a implementação do traçador de curva I-V, verificou-se que o conversor buck-boost possui vantagens em relação aos demais, possibilitando a atuação de quatro modos de operações, sendo adotada a operação buck-boost, para o seu dimensionamento, podendo-se obter uma melhor distribuição de pontos. Com a simulação foi possível obter a curva característica I-V e ao comparar a curva I-V na folha de dados do painel FV, observa-se que a curva obtida é semelhante, assim foi alcançado com a análise e simulação um bom desempenho do conversor para traçar as curvas do painel FV.

A utilização deste método para se obter a curva característica por meio do projeto de controle de corrente e tensão destaca-se com uma resposta rápida e baixo-custo, um método com flexibilidade, já que permite alterar a velocidade e direção de varredura.

REFERÊNCIAS

A. Ibrahim, "Analysis of Electrical Characteristics of Photovoltaic Single Crystal Silicon Solar Cells at Outdoor Measurements," *Smart Grid and Renewable Energy*, vol. 02, no. 02, pp. 169{175, 2011}.

Arash A. Boora ; Firuz Zare ; Gerard Ledwich ; Arindam Ghosh A General Approach to Control a Positive BuckBoost Converter to Achieve Robustness against Input Voltage Fluctuations and Load Changes, 2008.

Brasil ultrapassa marca de 1GW em geração distribuída. Disponível em <<http://www.aneel.gov.br>>. Acessado em 02 de setembro de 2019.

Carralero, Leandro Leysdian Oro et al. Emulador PV Baseado Em Um Conversor CC-CC Buck-Boost De Quatro Interruptores. *Anais Da Sociedade Brasileira De Automática*, V. 1, N. 1, 2019.

E. Duran, J. Galan, M. Sidrach-de Cardona, and J. Andujar, "A New Application of the Buck-Boost-Derived Converters to Obtain the I-V Curve of Photovoltaic Modules," in 2007 IEEE Power Electronics Specialists Conference, vol. 36, pp. 413–417, IEEE, 2007

E. Duran, M. Piliouguine, M. Sidrach-de Cardona, J. Galan, and J. Andujar, "Different methods to obtain the I-V curve of PV modules: A review," in 2008 33rd IEEE Photovoltaic Specialists Conference, pp. 1–6, IEEE, may 2008.

Energia Fotovoltaica. Disponível em < <https://www.portalsolar.com.br/energia-fotovoltaica.html> > Acessado em 02 de setembro de 2019.

E. van Dyk, A. Gxasheka, and E. Meyer, "Monitoring current-voltage characteristics of photovoltaic modules," in Conference Record of the Twenty-Ninth IEEE Photovoltaic Specialists Conference, 2002., no. 603, pp. 1516{1519, IEEE, 2002.

F. Spertino, J. Ahmad, A. Ciocia, P. Di Leo, A. F. Murtaza, and M. Chiaberge, "Capacitor charging method for I-V curve tracer and MPPT in photovoltaic systems," *Solar Energy*, vol. 119, pp. 461–473, sep 2015.

J. Muñoz and E. Lorenzo, "Capacitive load based on IGBTs for on-site characterization of PV arrays," *Solar Energy*, vol. 80, pp. 1489–1497, nov 2006.

M. Kazerani, "A High-Performance Controllable DC Load," in *2007 IEEE International Symposium on Industrial Electronics*, no. 1, pp. 1015–1020, IEEE, jun 2007.

MOREIRA, Adson Bezerra et al. Control of powers for wind power generation and grid current harmonics filtering from doubly fed induction generator: Comparison of two strategies. *IEEE access*, v. 7, p. 32703-32713, 2019.

V. Leite and F. Chenlo, "An improved electronic circuit for tracing the IV characteristics of photovoltaic modules and strings," *International Conference on Renewable Energies and Power Quality*, vol. 1, no. 8, pp. 1224–1228, 2010.

Y. Kuai and S. Yuvarajan, "An electronic load for testing photovoltaic panels," *Journal of Power Sources*, vol. 154, pp. 308–313, mar 2006.

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