

**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. 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](http://www.atenaeditora.com.br)

[contato@atenaeditora.com.br](mailto: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**

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

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

**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**

<b>SOBRE OS ORGANIZADORES .....</b>	<b>415</b>
<b>ÍNDICE REMISSIVO.....</b>	<b>416</b>

# CAPÍTULO 8

## ESTUDO DO SISTEMA DE CONVERSÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA DE ÚNICO ESTÁGIO COM CONEXÃO DIRETA AO SISTEMA ELÉTRICO TRIFÁSICO

Data de aceite: 01/05/2021

### Lucas Taylan Ponte Medeiros

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

### Paulo Robson Melo de Costa

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

### Ângelo Marcilio Marques dos Santos

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

### Leonardo Pires de Sousa Silva

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

### Denisia de Vasconcelos Mota

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

### Adson B. Moreira

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

**RESUMO:** Esse artigo analisa o comportamento de um sistema fotovoltaico (FV) injetando potência na rede elétrica trifásica com filtro indutivo L. Sendo realizado através do conversor trifásico CC-CA. Foi realizada a obtenção dos parâmetros do modelo da célula FV, a partir da ferramenta Solar Module (physical model) / PSIM e implementado o algoritmo perturbe e observe (P&O) para realizar o rastreamento do ponto de máxima potência, desconsiderando os

fatores de sombreamento. Para esse sistema foi utilizada a topologia de único estágio e analisada as taxas de distorções harmônicas (TDH) para variação de temperatura e irradiação. O Matlab/Simulink foi utilizado para realizar as simulações e como resultados, tem-se os gráficos e tabelas comparativas que validam o modelo proposto da célula FV com erro de  $\pm 0,1\%$ , além de análises da influência direta da temperatura e irradiação em função da potência máxima do sistema com um rendimento entre 97,2% e 99,8%. Finalmente, se analisou as TDHs sob diferentes condições e seus resultados indicaram está dentro dos critérios da norma IEEE-519, menores que 5%, e desempenho do algoritmo P&O que se mostrou eficaz em extrair a máxima potência do sistema.

**PALAVRAS - CHAVE:** Sistema Solar Fotovoltaico (FV), Topologia de Estágio Único, Qualidade de Energia.

### STUDY OF THE SINGLE STAGE PHOTOVOLTAIC ENERGY CONVERSION SYSTEM WITH DIRECT CONNECTION TO THE THREE-PHASE ELECTRICAL SYSTEM

**ABSTRACT:** This paper analyzes the behavior of a photovoltaic (PV) system by injecting power into the three-phase main with inductive filter L. Being performed through the three-phase CC-AC converter. The parameters of the FV cell model were obtained from the Solar Module (physical model) / PSIM and the perturb and observe (P&O) algorithm was implemented to perform the maximum power point tracking, disregarding the shading factors. For this system, the single stage topology used and the total harmonic distortion

(THD) analyzed for temperature variation and irradiation were analyzed. Matlab / Simulink was used to carry out the simulations and as results, we have graphs and comparative tables that validate the proposed PV cell model with an error of  $\pm 0.1\%$ , in addition to analyzes of the direct influence of temperature and irradiation on depending on the maximum power of the system with a yield between 97.2% and 99.8%. Finally, the THDs under study under different conditions and their results indicated that they are within the criteria of the IEEE-519 standard, less than 5%, and the performance of the P&O algorithm that proved to be effective in extracting the maximum power from the system.

**KEYWORDS:** Solar Photovoltaic Solar System (PV), Single Stage Topology, Power Quality.

## 1 | INTRODUÇÃO

A geração FV de energia ganhou importância como uma fonte alternativa para os desafios energéticos globais. O desenvolvimento e a utilização em larga escala estão associados aos diversos méritos, como longa vida útil, simplicidade de alocação, capacidade de energia para atender aos requisitos de pico de carga e grande mobilidade (Koutroulis, Kalaitzakis e Voulgaris, 2001).

No contexto nacional, o Brasil, alcançou a capacidade instalada de geração FV de 2,4 GW que representa 1,3% da sua matriz energética no ano de 2018. Nesse mesmo período a China que lidera o mundo em potência instalada apresenta 176,1 GW (ABSOLAR, 2019). Segundo IEA-PVPS (2019) os sistemas FV representam cerca de 2,6% da demanda global de eletricidade e 4,3% na Europa.

Dependendo das condições de geração e aplicações dos sistemas FV, a análise e escolha da topologia para a conexão do sistema FV à rede elétrica é fundamental, e proporciona uma melhor eficiência na extração de potência. Segundo Barnes, Balda e Stewart (2012), a dificuldade de escolha dentre diversas topologias decorre das variações operacionais ao longo do tempo, como por exemplo a variação de irradiação e temperatura.

Os algoritmos de rastreamento de máxima potência (MPPT, do inglês: *Maximum Power Point Tracking*) são necessários e essenciais para maximizar a potência de saída do sistema, independente das condições de irradiação e temperatura e características elétricas das cargas. Diversas técnicas de MPPT foram propostas por diferentes autores na literatura como em Subudhi e Pradhan (2013), Esmar e Chapman (2007) e Femia *et al.* (2005). Neste trabalho, foi adotado o algoritmo P&O que é um método de simples compreensão, boa eficiência e eficaz em rastrear o ponto de máxima potência (MPP, do inglês: *Maximum Power Point*) com precisão.

Este estudo discute o comportamento dos módulos FV, o método de MPPT, a taxa de distorção harmônica (TDH) e o controle do conversor conectado à rede elétrica em que o sistema esteja dentro dos critérios das normas internacionais como IEEE-519 e brasileiras como NBR 16690:2019.

## 2.1 COMPONENTES DO SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE ELÉTRICA

Ao longo dos anos, o custo da tecnologia de sistema fotovoltaico vem reduzindo. Segundo Hacke *et al.* (2018) e Teodoresco *et al.* (2011) a tecnologia FV está se tornando a fonte mais apropriada de geração de energia elétrica entre todas as fontes renováveis por se destacar em abundância, livre de poluição, não possuir peças rotativas e, portanto, apresentar menos manutenção.

### 2.1 Topologia de conexão do sistema FV

Para este trabalho, foi utilizada a estrutura do sistema de geração de energia FV com configuração topologia de único estágio, e com conversor não isolado, apresentado na Fig. 1. Esse sistema dispensa a conversão CC-CC, sendo o conversor CC-CA responsável, por processar a potência entregue pelo sistema e executar o MPPT. Segundo Tsai-Fu (2011) do ponto de vista da eficiência, custo e tamanho do sistema de estágio único e considerando corretamente a faixa operacional de tensão, o sistema apresenta benefícios se comparado a topologia de duplo estágio. Como descrito em Barners, Balda e Stewart (2012), a configuração envolve menos dispositivos, possui rendimento melhor em relação a topologia de dois estágios, permitindo uma eficiência em sua operação na ordem de 4% a 10% a mais que o de dois estágios.

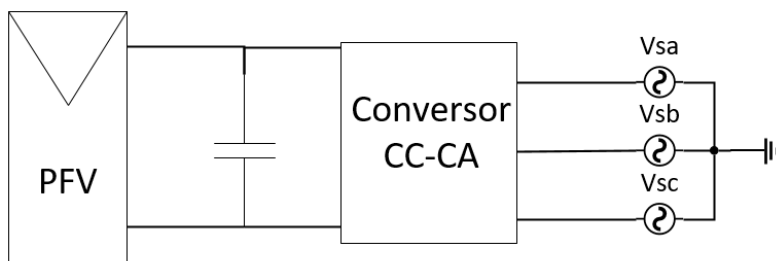


Figura 2: Diagrama esquemático do sistema FV com topologia de único estágio.

### 2.2 Modelo elétrico da célula FV

O modelo simplificado de uma célula fotovoltaica (Fig. 1), desprezando suas indutâncias e capacitâncias intrínsecas é apresentado em Roque (2014). Este modelo é utilizado em diversos estudos como em Villalva, Gazoli e Filho (2009), Femia *et al.* (2005), Patel e Agarwal (2008) e foi utilizado nesse trabalho para realizar as simulações e análises, pois apresenta resultados próximos aos modelos mais complexos. O circuito equivalente da célula apresenta uma resistência série,  $R_s$ , que representa a soma de várias resistências estruturais, especialmente, dos contatos elétricos e ôhmicos do semicondutor. A resistência

paralela,  $R_p$ , é resultante, principalmente, das resistências que surgem da junção p-n com a corrente de fuga dependendo do método de fabricação das células fotovoltaicas (Villalva, Gazoli e Filho, 2009).

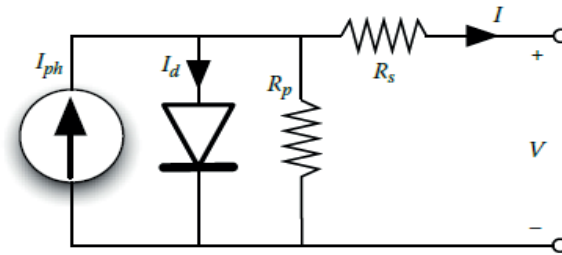


Figura 1 - Modelo equivalente da célula fotovoltaica de diodo único.

Fonte: Femia *et al.* (2005)

A corrente  $I_{ph}$  é a corrente foto gerada decorrente da incidência da luz. A corrente  $I_d$  é a corrente no diodo característico (intrínseco) da célula fotovoltaica. Assim, a Eq. (1) representa a equação característica, não-linear, da célula fotovoltaica.

$$I = I_{ph} - I_0 \left[ e^{\left( \frac{V + I \cdot R_s}{n \cdot V_t} \right)} - 1 \right] - \frac{V + I \cdot R_s}{R_p} \quad (1)$$

Em que  $I_0$  é a corrente de saturação,  $V$  e  $I$  são a tensão e corrente de saída nos terminais do módulo, respectivamente,  $V_t$  é a tensão térmica da junção p-n e  $n$  o fator de idealidade.

De acordo com Femia *et al.* (2013),  $R_s$  influencia na inclinação da curva I-V nos níveis de tensão de circuito aberto e na qualidade da célula, ou seja, para valores elevados de  $R_s$ , menor é a inclinação da curva o que diminui a qualidade da célula. Por outro lado,  $R_p$  atua na inclinação da curva I-V nos níveis de curto circuito, quanto menor o valor de  $R_p$ , maior é a corrente que circula pela resistência paralela, reduzindo a corrente efetiva produzida pela célula. Os valores de  $R_s$  e  $R_p$  podem ser aproximados a partir das Eqs. (2) e (3), respectivamente.

$$R_s \approx - \left. \frac{dV}{dI} \right|_{V \rightarrow V_{oc}} \quad (2)$$

$$R_p \approx - \left. \frac{dV}{dI} \right|_{I \rightarrow I_{sc}} \quad (3)$$

Segundo Tudor, Cotfas e Mihai (2018) a temperatura e irradiância são os fatores que mais afetam o desempenho do sistema FV, e através da Eq. (4) se observa o efeito direto da temperatura na potência máxima gerada pelo módulo FV.

$$P_{max} = P_{max(STC)} \frac{G}{1000} [1 + TC(P_{max}, G)(T_c - 25)] \quad (4)$$

### 2.3 Obtenção dos parâmetros

Os módulos fotovoltaicos possuem diversos parâmetros que compõem sua curva característica I-V. Alguns parâmetros são obtidos pelo fabricante e outros a partir de abordagens como proposta por Femia *et al.* (2013), que se baseia na manipulação das curvas I-V e P-V e por Villalva, Gazoli e Filho (2009) que utiliza o método iterativo. A Tab. 1 apresenta as características do módulo fotovoltaico Kyocera KD 210 GX – LPU. A partir da Tab.1 e das curvas do fabricante, foram obtidos os parâmetros elétricos da célula FV, utilizando a ferramenta do modelo físico do módulo FV do *software PSIM*, mostrados na Tab. 2 (PowerSim, 2016).

Parâmetros do Módulo		Valor
$N_{cell}$	Número de Células	54
$D_b$	Diodos de <i>Bypass</i>	3
$P_{max}$	Potência máxima	210 W (+5W/-0W)
$V_{mpp}$	Tensão de máxima potência	26,6 V
$I_{mpp}$	Corrente de máxima potência	7,9 A
$V_{oc}$	Tensão de circuito aberto	33,2 V
$I_{sc}$	Corrente de curto circuito	8,58 A
$a$	Coefficiente de temperatura $I_{sc}$	$-1,20 \cdot 10^{-1} \text{ V}^\circ\text{C}$
$b$	Coefficiente de temperatura $V_{oc}$	$5,15 \cdot 10^{-3} \text{ A}^\circ\text{C}$

Tabela 1 - Especificações elétricas do módulo Kyocera KD 210 GX – LPU para as condições de irradiância 1.000 W/m<sup>2</sup>, temperatura de célula 25 °C e espectro AM 1,5.

Parâmetros Obtidos		Valor
$R_s$	Resistência série	0,138 $\Omega$
$R_p$	Resistência paralelo	3000 $\Omega$
$n$	Coefficiente de idealidade	1,54

Tabela 2 – Parâmetros obtidos através do ajuste visual da curva com *Software PSIM*.

A Fig. 2 (a) mostra as curvas características retiradas da folha de dados do fabricante I-V para variação de irradiação e com temperatura constante de 25°C. Na Fig. 2 (b) são ilustradas as curvas obtidas I-V a partir da simulação utilizando os parâmetros da Tab. 2. Comparando as curvas, verifica-se as semelhanças no comportamento e valores de grandezas.

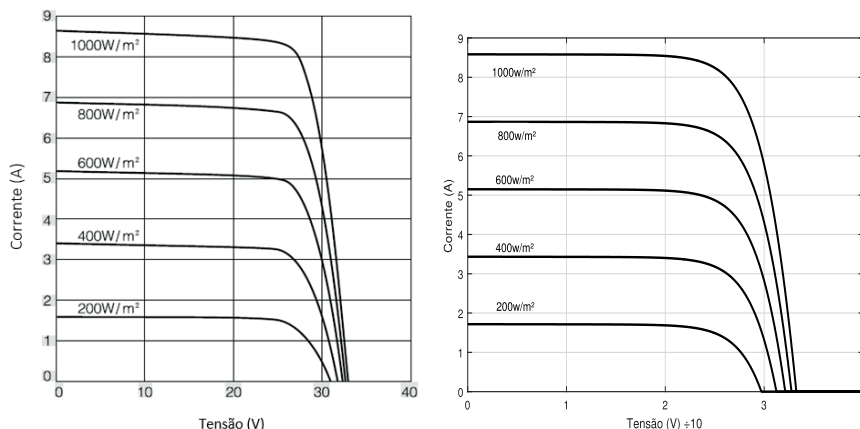


Figura 2 - Curvas características I-V do módulo da Kyocera KD 210 (a) curvas características do fabricante; (b) obtidas a partir de simulação.

A precisão dos parâmetros obtidos também foi estimada numericamente (Tab.3) pela comparação com as especificações dadas pelo fabricante na condição padrão de teste (Em inglês STC – Standard Testing Conditions) e na condição nominal de temperatura na célula FV (Em inglês NOTC – Nominal Operating Cell Temperature), com os valores obtidos na simulação. Observando-se o erro relativo entre os dados do fabricante e os obtidos através da modelagem, percebe-se que o valor varia entre -0,1 e 0,1% e a discrepância pode ser considerada mínima entre os dados de corrente, tensão e potência do sistema FV.

Condições (STC)			
Parâmetros	Dados do Fabricante	Modelo do Matlab	Erro (%)
$P_{mpp}$	210 W	210 W	0,0
$V_{mpp}$	26,6 V	26,6 V	0,0
$I_{mpp}$	7,9 A	7,89 A	-0,1
$V_{oc}$	33,2 V	33,3 V	-0,1
$I_{sc}$	8,58	8,58 A	0,0

Condições (NOTC)			
Parâmetros	Dados do Fabricante	Modelo do Matlab	Erro (%)
$P_{mpp}$	149 W	147,8 W	-0,1
$V_{mpp}$	23,6 V	23,47 V	-0,1
$I_{mpp}$	6,32 A	6,30 A	-0,1
$V_{oc}$	30,0 V	29,9 V	-0,1
$I_{sc}$	6,62 A	6,95 A	0,1

Tabela 3 – Comparação entre as especificações fornecidas pelo fabricante e as obtidas no *MATLAB* com os parâmetros encontrados no *PSIM* para o módulo Kyocera KD 210 GX – LPU.

## 2.4 Rastreamento do ponto de máxima potência

A potência gerada pelo módulo fotovoltaico varia em função das condições climáticas que ao longo do dia apresenta variação de radiação solar incidente e de temperatura, modificando a curva de potência I-V do sistema. É natural que se deseje extrair a máxima potência instantânea dos módulos, portanto, a utilização de uma técnica de MPPT que ajusta o ponto de operação do sistema às diversas condições de operação obtendo uma maximização no seu rendimento.

Vários métodos podem ser aplicados para se obter o ponto de máxima potência. De acordo com Femia *et al.* (2013), esses métodos diferem em vários aspectos, como a necessidade de sensores, custo, complexidade, eficácia, entre outros. A dificuldade encontrada pelos algoritmos de busca é a presença de múltiplos MPP, isto é, quando o sistema está sujeito às condições de operação não uniformes, ou seja, diferenças físicas de módulos, falhas de módulos, presença de sombreamento, os algoritmos convencionais não são eficientes. Em razão dessa realidade, serão apresentadas situações em que os sistemas fotovoltaicos apresentem apenas um MPP.

A Fig. 3 mostra a lógica do algoritmo P&O, este método compara a potência fornecida anteriormente com a potência obtida após a perturbação, injetando uma variação de forma periódica na tensão do módulo FV em torno do MPP segundo Tapakis e Charalambides (2014). Ou seja, se a potência aumentar, a aplicação da perturbação é no mesmo sentido para o próximo passo do algoritmo. Caso a potência diminua, o próximo passo do algoritmo é perturbar o sistema no sentido oposto.



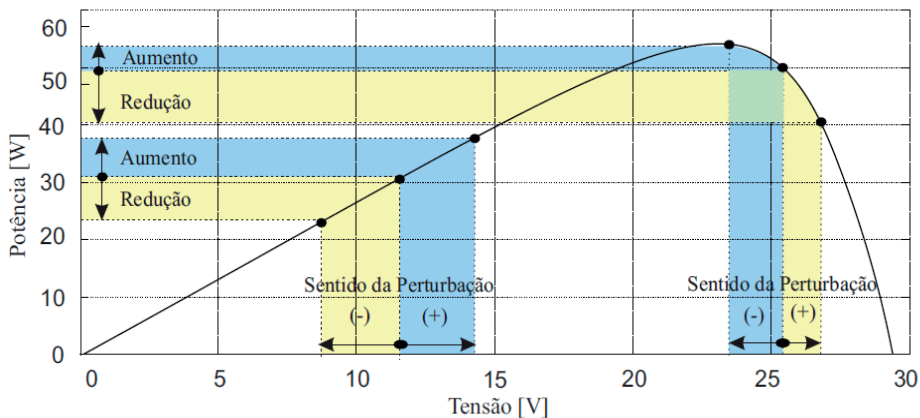


Figura 3 - Lógica de funcionamento do algoritmo P&O.

### 3 I MODELAGEM E PROJETO DE CONTROLE DO CONVERSOR DO LADO DA REDE ELÉTRICA

A Fig. 4 ilustra o esquemático do controle do conversor do lado da rede elétrica que de acordo com Martins (2017), apresenta diversas funções e dentre elas, realizar o controle das potências ativa e reativa entregues à rede elétrica.

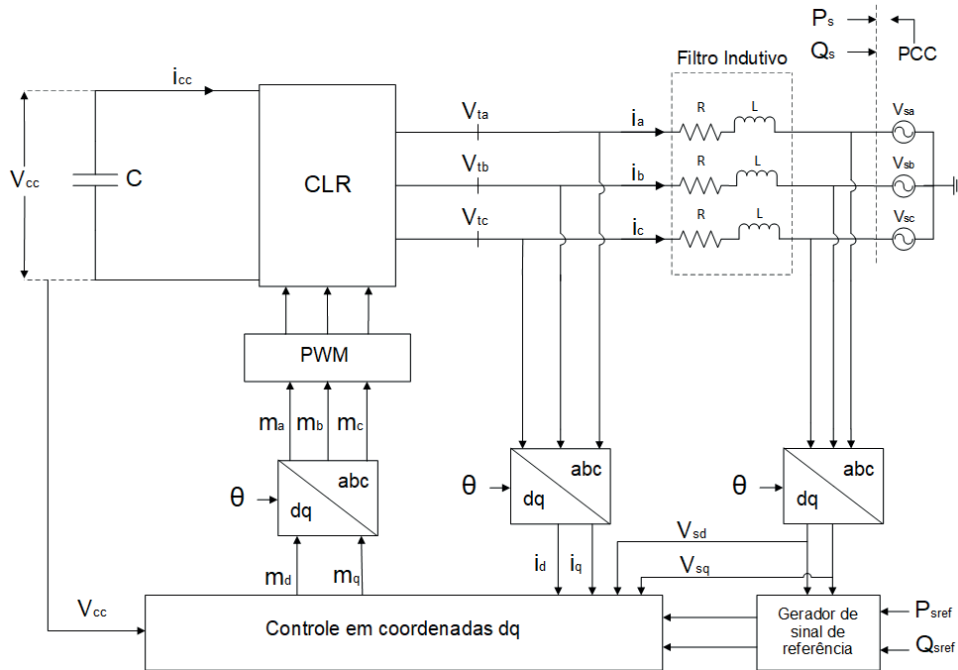


Figura 4 - Modelo esquemático do controle de potência ativa e reativa.

Fonte: Adaptada de Yazidani e Iravani (2010).

Para projetar o controle do conversor eletrônico e analisar a sua dinâmica é necessário realizar o equacionamento do sistema. Para tal, se desenvolveu o modelo dinâmico utilizando a estratégia de coordenadas d-q (de eixo direto e em quadratura), definido por Yazidani e Iravani (2010). As Eqs. (4) e (5) representam o modelo matemático do sistema elétrico em coordenadas d-q, apresentando um sistema com duas variáveis em quadratura que assumem formas de onda contínuas no estado estacionário. O sistema em coordenadas d-q se torna menos complexo e facilita a análise e o projeto de controle.

$$L \frac{d}{dt} \cdot I_d = V_{td} - R \cdot I_d + L\omega I_q - V_{sd} \quad (4)$$

$$L \frac{d}{dt} \cdot I_q = V_{tq} - R \cdot I_q + L\omega I_d - V_{sq} \quad (5)$$

Em que  $V_{sd}$  e  $V_{sq}$  são as tensões nos terminais do conversor em coordenadas d-q,  $I_q$  e  $I_d$  as correntes geradas pelo conversor em d-q. Cada fase é conectada ao sistema por uma impedância série, RL, que representa o filtro indutivo, sendo L a indutância e R a sua resistência elétrica e  $\omega$  é a velocidade angular.

O controle de corrente do conversor é realizado através da Eqs. (4) e (5) e influenciam diretamente no controle das potências ativas e reativas, entregues e absorvidas ao sistema CA como mostrado nas Eqs. (6) e (7), obtendo o controle de modo independente das potências ativa,  $P_s$ , e reativa,  $Q_s$ . O diagrama de blocos do controle de corrente do conversor eletrônico do lado da rede elétrica é ilustrado na Fig. 5.

$$I_d = \frac{2}{3 \cdot V_{sd}} \cdot P_s \quad (6)$$

$$I_q = -\frac{2}{3 \cdot V_{sd}} \cdot Q_s \quad (7)$$

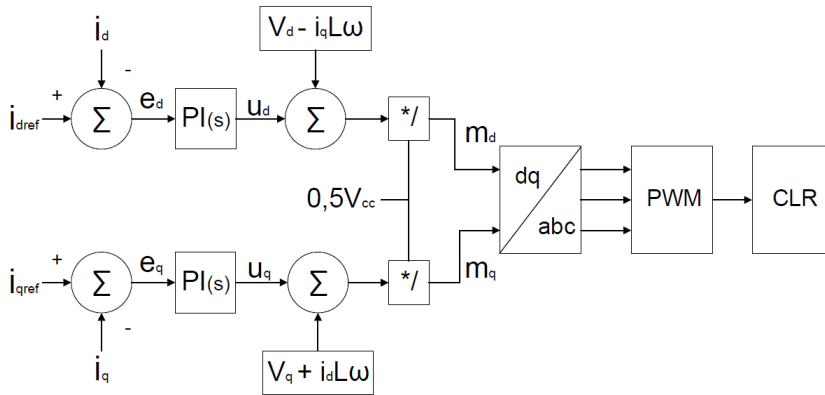


Figura 5 – Esquema de controle de corrente do conversor do lado da rede elétrica em que  $I_{dref}$  e  $I_{qref}$  são as referências das correntes  $I_d$  e  $I_q$ .

Para regular a tensão do barramento CC é empregado o mecanismo de realimentação que compara a tensão medida nos terminais do barramento CC ( $V_{cc}$ ) com a tensão de saída obtida a partir do algoritmo de rastreamento de máxima potência ( $V_{ccref}$ ), ilustrado pela Fig. 6. O controle de tensão do barramento tem o objetivo de transferir a máxima potência do lado CC para o lado CA. Segundo Suebkinorn e Neammanne (2011) o conversor pode operar em dois modos: atuar como retificador, em que a tensão do barramento é inferior e o conversor atua elevando a tensão com auxílio da rede elétrica e pode atuar como inversor, quando a potência gerada pelo sistema fotovoltaico estiver elevando a tensão do barramento.

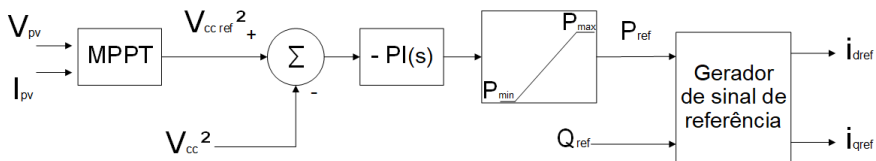


Figura 6 – Representação do diagrama de blocos do controle de tensão do barramento CC.

#### 4 | RESULTADOS DO SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE ELÉTRICA

A análise de estratégia de controle do sistema de geração fotovoltaico com topologia de estágio único conectado à rede elétrica trifásica é ilustrada no diagrama de blocos na Fig. 7. O sistema foi simulado na plataforma Matlab/Simulink/Simpowersystems e foram utilizados outros parâmetros apresentados em Tab. 4. Foram utilizados 15 módulos fotovoltaicos associados em série para alcançar os valores de tensão para a faixa de

operação do sistema, necessária para a conexão da topologia de único estágio.

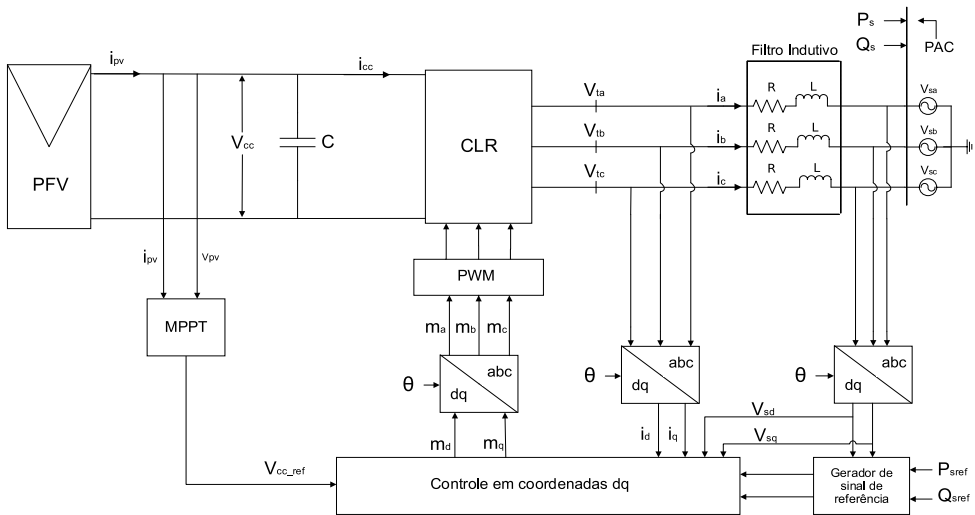


Figura 7 – Sistema de geração fotovoltaica completo.

Fonte: elaboração própria.

Parâmetros		Valores
$V_p$	Tensão de pico	180 V
$V_l$	Tensão de linha	110 V
$f_{req}$	Frequência da rede elétrica	60 Hz
$C$	Capacitância do barramento	900 $\mu F$
$V_{cc}$	Tensão do barramento	400 V
$L$	Indutância	7,5 mH
$R$	Resistência elétrica da indutância	0,31 $\Omega$
$f_s$	Frequência de chaveamento	24 kHz
$R_L$	Resistência de pré-carga	5 $\Omega$

Tabela 4 – Parâmetros do sistema utilizados para simulação.

A Taxa de Distorção Harmônica (TDH) da corrente foi analisada para STC e na NOTC. Observou que para uma baixa irradiação a TDH aumentou, porém, os valores de TDH da corrente da rede estão dentro dos limites e recomendações do padrão do IEEE-519, que recomenda níveis de TDH menor que 5%.

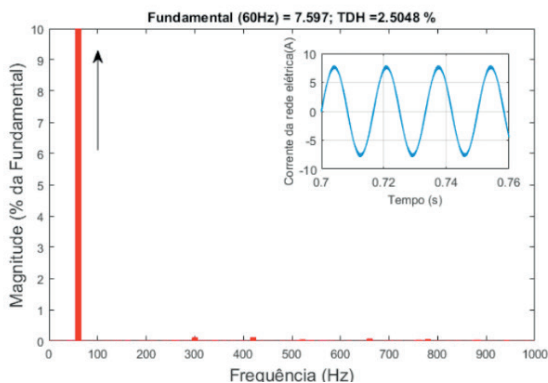
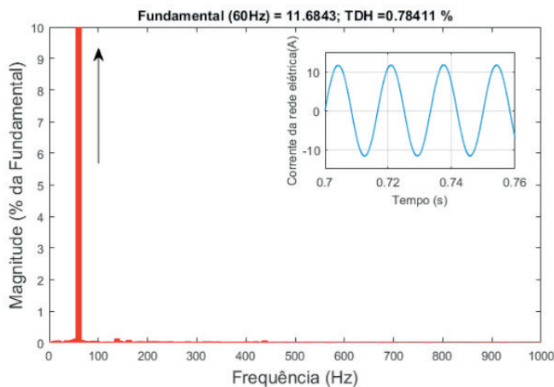


Figura 8 – Corrente elétrica trifásica enviada à rede elétrica. (a) STC; (b) NOTC.

Outro fator relevante a ser analisado é o fator de potência do sistema. A Fig. 9 mostra que  $I_a$  e  $V_a$  nos terminais do conversor estão em fase para as duas condições de irradiação  $1000\text{W/m}^2$  e  $800\text{W/m}^2$ . Portanto, com a corrente  $I_q$  igual a zero a potência reativa também é nula e o fator de potência é unitário.

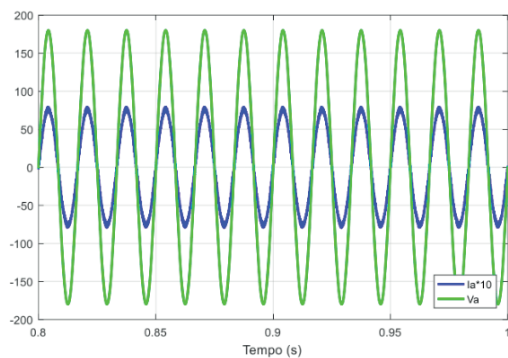
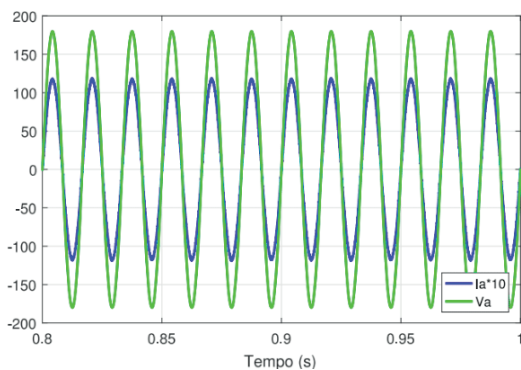


Figura 9 –  $V_a \times I_a$ . (a) para irradiação de  $1000\text{W/m}^2$  e temperatura de  $25\text{ }^\circ\text{C}$ ; (b) para irradiação de  $800\text{W/m}^2$  e temperatura de  $49,7\text{ }^\circ\text{C}$ .

Sob as condições de temperatura e irradiação, observa-se a resposta do controle da tensão do barramento CC. O controle é feito em dois estágios, inicialmente a tensão  $V_{cc}$  segue a referência pré-definida pela tensão de circuito aberto do arranjo dos módulos fotovoltaicos. As Figs. 10a e 10b ilustram em detalhes o comportamento do controle da tensão do barramento CC, em que a  $V_{cc}$  segue a referência  $V_{ccref}$ . No instante entre 0s e 0,1s os controles estão desativados e as correntes elétricas são limitadas pelos resistores de pré-carga,  $R_{L1}$ , para evitar danos ao sistema no período que a tensão é elevada até o valor de referência.

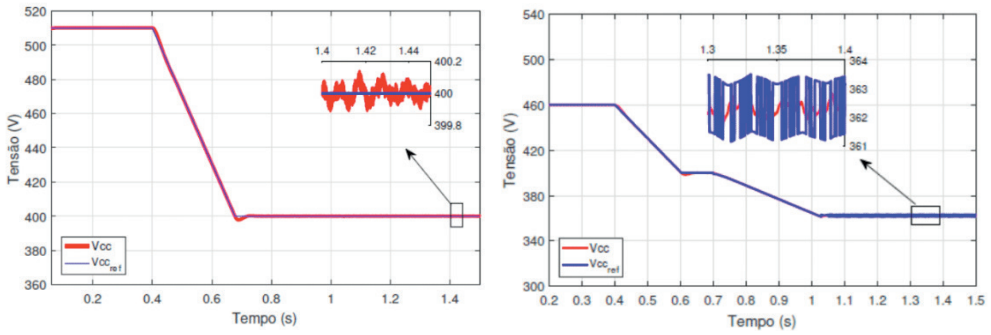


Figura 10 – Comportamento do barramento CC sem algoritmo P&O, (a) condições STC e (b) condições NOTC.

No instante de tempo 0.4s o controle de tensão é ativado e a tensão do barramento segue para tensão de referência  $V_{ccref}$  e o processo se repete para as duas condições.

As Figs. 11a e 11b ilustram as curvas da potência e se observa que para tais condições o sistema FV não garante a máxima potência mesmo com uma referência inicial teórica sendo calculada para se aproximar da potência máxima dada pelo fabricante.

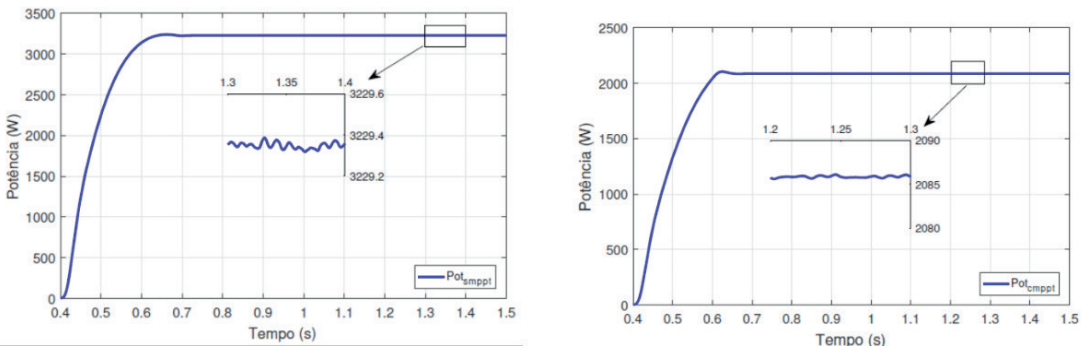


Figura 11 – Comportamento da Potência sem algoritmo P&O, (a) condições STC e (b) condições NOTC.

No momento em que a tensão se estabiliza na tensão de referência, o algoritmo P&O é acionado e a potência se eleva para muito próximo da potência máxima teórica como ilustrado pela Fig. 12. Ao comparar as Figs. (11) e (12) se observa um melhor desempenho com a aplicação do método e um ganho de potência ativa injetada na rede.

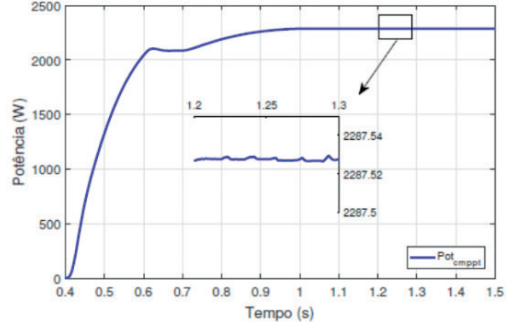
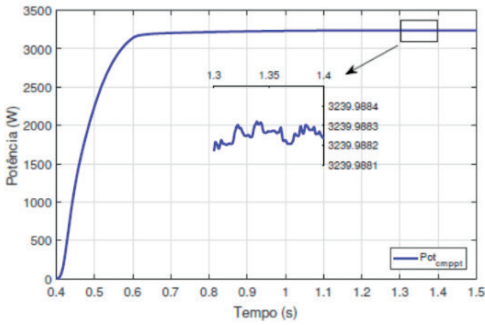


Figura 11 – Comportamento da Potência com algoritmo P&O, (a) condições STC e (b) condições NOTC.

Através da análise do comportamento do sistema sob temperaturas e irradiâncias propostas, foram analisados os rendimentos e as TDHs de corrente no ponto de acoplamento comum (PAC) do sistema observados na Tab. 5. Percebe-se pelos resultados obtidos, que a variação de irradiação apresenta maior influência na corrente e a variação de temperatura maior influência na tensão. Além disso, como descrito em Tudor, Cotfas e Mihai (2018), se observa uma grande influência da temperatura na potência máxima gerada nos módulos FV. Finalmente, a partir do rendimento que apresenta variação entre 97,2% e 99,8%, se observa uma pequena queda de potência enviada para rede elétrica a partir da topologia de único estágio.

	G [W/m <sup>2</sup> ]	V <sub>pv</sub> [V]	I <sub>pv</sub> [V]	P <sub>pv</sub> [W]	P <sub>rede</sub> [W]	R <sub>end</sub> [%]	TDH [%]
T = 298 K (25°C)	1200	412	9,5	3915	3834	0,978	0,60
	1000	410	7,9	3240	3200	0,989	0,72
	800	405	6,3	2566	2511	0,979	0,89
	600	400	4,7	1894	1890	0,998	1,19
G = 1000 W/ m <sup>2</sup>	T [°C]	V <sub>pv</sub> [V]	I <sub>pv</sub> [V]	P <sub>pv</sub> [W]	P <sub>rede</sub> [W]	R <sub>end</sub> [%]	TDH [%]
	20	419	7,9	3315	3240	0,977	0,70
	45	372	7,89	2935	2875	0,980	0,78
	65	336	7,86	2640	2619	0,992	1,41
	75	317	7,85	2490	2457	0,987	1,65

Tabela 4 – Parâmetros do sistema utilizados para simulação.

## 5 I CONCLUSÃO

O trabalho analisa a operação de um sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica, a partir da topologia de estágio único, utilizando a técnica de rastreamento de máxima potência com

algoritmo P&O para obtenção da máxima potência do sistema, evidenciando a necessidade do algoritmo para aumentar o desempenho nos sistemas de geração fotovoltaica.

Dependendo das condições de geração e aplicações dos sistemas FV, a escolha da topologia para a conexão do sistema à rede elétrica é fundamental, e proporciona uma melhor eficiência na extração de potência, logo o sistema de topologia de único estágio apresentou um alto rendimento para essa aplicação dentre as variáveis analisadas.

A estratégia de controle proposta é composta por duas malhas em cascata: uma malha de controle de corrente gerada pelo conversor e uma para o controle do barramento CC. Ao serem analisados os resultados obtidos com a implementação dos controladores do sistema a partir da estratégia em coordenada d-q, projetados a partir do método de resposta em frequência, apresentou um bom desempenho no comportamento dinâmico do sistema.

Além disso, verifica-se que os resultados de TDHs estiveram dentro dos critérios, como orientado pela norma do IEEE-519 sobre os limites máximos de injeção de harmônicos na rede elétrica pelo consumidor, no ponto de acoplamento comum, que recomenda níveis inferiores à 5%. Outra variável importante analisada, foi o fator de potência do sistema FV que deve estar entre 0,92 e 1,00 indutivo e 0,92 e 1,00 capacitivo a segundo norma do módulo 8 de 2018 do PRODIST.

Foram analisadas as influências da variação da temperatura que apresenta uma maior influência na tensão e nas TDHs do sistema. Por outro lado, observou-se que a irradiação afeta principalmente na corrente do sistema FV. Além disso, constatou-se o quanto essas variáveis afetam na potência máxima gerada pelo sistema.

## REFERÊNCIAS

ABSOLAR. Infográfico ABSOLAR. 2019. Disponível em: <<http://www.absolar.org.br/infografico-absolar.html>>. Acesso em: 25 nov. 2019.

A. K. Barnes, J. C. Balda and C. M. Stewart, "Selection of converter topologies for distributed energy resources," 2012

*Twenty-Seventh Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC)*, Orlando, FL, 2012, pp. 1418-1423.

B. Subudhi and R. Pradhan, "A Comparative Study on Maximum Power Point Tracking Techniques for Photovoltaic

Power Systems," in *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, vol. 4, no. 1, pp. 89-98, Jan. 2013.

Daniel Tudor Cotfas, Petru Adrian Cotfas, and Octavian Mihai Machidon, "Study of Temperature Coefficients for Parameters of Photovoltaic Cells," *International Journal of Photoenergy*, vol. 2018, Article ID 5945602, 12 pages, 2018.



E. Koutroulis, K. Kalaitzakis and N. C. Voulgaris, "Development of a microcontroller-based, photovoltaic maximum power point tracking control system," in *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 16, no. 1, pp. 46-54, Jan. 2001.

Hacke, Peter, Lokanath, Sumanth, Williams, Paul, Vasan, Arvind, Sochor, Paul, TamizhMani, GovindaSamy,

Shinohara, Hirofumi, Kurtz, Sarah, 2018. A status review of photovoltaic power conversion equipment reliability, safety, and quality assurance protocols. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 82 (1), 1097–1112.

H. Patel and V. Agarwal, "MATLAB-Based Modeling to Study the Effects of Partial Shading on PV Array Characteristics," in *IEEE Transactions on Energy Conversion*, vol. 23, no. 1, pp. 302-310, March 2008.

IEA-PVPS. International Energy Agency Photovoltaic Power Systems Programme. IEA-PVPS. 2019. Disponível em: <<http://www.iaea-pvps.org/>>. Acesso em: 25 nov. 2019.

M. G. Villalva, J. R. Gazoli and E. R. Filho, "Modeling and circuit-based simulation of photovoltaic arrays," 2009 Brazilian Power Electronics Conference, Bonito-Mato Grosso do Sul, 2009, pp. 1244-1254.

MOREIRA, A. B. Propostas de controle de um sistema de geração de energia elétrica a partir de energia eólica com gerador de indução duplamente alimentado com mitigação de correntes harmônicas na rede elétrica geradas por carga não linear. 2017. 156 f. Dissertação (Doutorado em Engenharia Elétrica) — Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2017.

N. Femia, G. Petrone, G. Spagnuolo and M. Vitelli, "Optimization of perturb and observe maximum power point tracking method," in *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 20, no. 4, pp. 963-973, July 2005.

POWERSIM. PSIM tutorial: How to use solar model physical model. 2016. Disponível em: <<https://powersimtech.com/drive/uploads/2016/04/Tutorial-Solar-Module-physical-model.pdf>>.

R. D. Tapakis, A. G. Charalambides, "Performance evaluation of a photovoltaic park in Cyprus using irradiance sensors", *Journal of Power Technologies*, vol. 94, no. 4, pp. 296-305, 2014.

Teodorescu, R., Liserre, M., Rodriguez, P., 2011. *Grid Converters for Photovoltaic and Wind Power Systems*, vol. 29 John Wiley & Sons.

T. ESRAM and P. L. Chapman, "Comparison of Photovoltaic Array Maximum Power Point Tracking Techniques," in *IEEE Transactions on Energy Conversion*, vol. 22, no. 2, pp. 439-449, June 2007.

## 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](http://www.atenaeditora.com.br)

 [contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)

 @atenaeditora

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

# ENGENHARIA ELÉTRICA: O MUNDO SOB PERSPECTIVAS AVANÇADAS

 [www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)

 [contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)

 @atenaeditora

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