

# Energia Solar e Eólica

Paulo Jayme Pereira Abdala  
(Organizador)

 **Atena**  
Editora

Ano 2019

**Paulo Jayme Pereira Abdala**  
(Organizador)

# Energia Solar e Eólica

Atena Editora  
2019

2019 by Atena Editora

Copyright © da Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação e Edição de Arte: Geraldo Alves e Karine de Lima

Revisão: Os autores

#### Conselho Editorial

Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília  
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa  
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista  
Profª Drª Deusilene Souza Vieira Dall’Acqua – Universidade Federal de Rondônia  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice  
Profª Drª Juliane Sant’Ana Bento – Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense  
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista  
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

#### Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)

E56 Energia solar e eólica [recurso eletrônico] / Organizador Paulo Jayme Pereira Abdala. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2019. – (Energia Solar e Eólica; v. 1)

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-85-7247-066-7

DOI 10.22533/at.ed.667192201

1. Energia – Fontes alternativas. 2. Energia eólica. 3. Energia solar. I. Abdala, Paulo Jayme Pereira.

CDD 621.042

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores.

2019

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.

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

## APRESENTAÇÃO

As chamadas energias renováveis, também conhecidas como energias alternativas ou ainda energias limpas são três denominações possíveis para qualquer forma de energia obtida por meio de fontes renováveis, e que não produzem grandes impactos ambientais negativos. Atualmente, com a grande preocupação mundial em compensar as emissões de CO<sub>2</sub>, o consumo deste tipo de energia tem sido o foco de governos e empresas em todo globo.

Neste sentido, o Brasil possui uma matriz energética bastante limpa, onde predomina o uso de hidrelétricas, apesar do crescimento do uso de termelétricas, as quais são abastecidas por combustível fóssil. No Brasil, o setor energético é responsável por grande parte das emissões de CO<sub>2</sub>, ficando atrás somente do setor agrícola que reapresenta a maior contribuição para o efeito estufa brasileiro.

A energia proveniente do sol é a alternativa renovável mais promissora para o futuro e, por este motivo tem recebido maior atenção e também mais investimentos. A radiação solar gratuita fornecida pelo sol pode ser captada por placas fotovoltaicas e ser posteriormente convertida em energia elétrica. Esses painéis usualmente estão localizados em construções, como indústrias e casas, o que proporciona impactos ambientais mínimos. Esse tipo de energia é uma das mais fáceis de ser implantada em larga escala. Além de beneficiar os consumidores com a redução na conta de energia elétrica reduzem as emissões de CO<sub>2</sub>.

Com relação à energia eólica, o Brasil faz parte do grupo dos dez países mais importantes do mundo para investimentos no setor. As emissões de CO<sub>2</sub> requeridas para operar esta fonte de energia alternativa são extremamente baixas e é uma opção atrativa para o país não ser dependente apenas das hidrelétricas. Os investimentos em parques eólicos vem se tornando uma ótima opção para neutralização de carbono emitidos por empresas, indústrias e etc.

Neste contexto, este EBOOK apresenta uma importante contribuição no sentido de atualizar os profissionais que trabalham no setor energético com informações extremamente relevantes. Ele está dividido em dois volumes contendo artigos práticos e teóricos importantes para quem deseja informações sobre o estado da arte acerca do assunto.

Paulo Jayme Pereira Abdala

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>10</b>
UMA REVISÃO SOBRE AS TECNOLOGIAS FOTOVOLTAICAS ATUAIS	
Alexandre José Bühler Ivan Jorge Gabe Fernando Hoefling dos Santos	
<b>DOI 10.22533/at.ed.6671922011</b>	
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>26</b>
VALIDAÇÃO DE MODELOS DE COMPORTAMENTO TÉRMICO DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS PARA O SEMIÁRIDO BRASILEIRO	
Bruna de Oliveira Busson Pedro Henrique Fonteles Dias Ivonne Montero Dupont Pedro Hassan Martins Campos Paulo Cesar Marques de Carvalho Edylla Andressa Queiroz Barroso	
<b>DOI 10.22533/at.ed.6671922012</b>	
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>41</b>
A GERAÇÃO SOLAR DE CALOR DE PROCESSOS INDUSTRIAIS NA PRODUÇÃO DE GESSO BETA DO POLO GESSEIRO DO ARARIPE	
André Vitor de Albuquerque Santos Kenia Carvalho Mendes	
<b>DOI 10.22533/at.ed.6671922013</b>	
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>58</b>
A UTILIZAÇÃO DO SILÍCIO NACIONAL PARA A FABRICAÇÃO DE PLACAS SOLARES: UMA REFLEXÃO DAS DIFICULDADES TECNOLÓGICA E FINANCEIRA	
Felipe Souza Davies Gustavo Luiz Frisso Matheus Vinícius Brandão	
<b>DOI 10.22533/at.ed.6671922014</b>	
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>72</b>
AEROPORTO DE VITÓRIA/ES: ESTUDO DO POTENCIAL DE GERAÇÃO DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA	
Ana Luiza Guimarães Valory Sidney Schaeffer Warley Teixeira Guimarães	
<b>DOI 10.22533/at.ed.6671922015</b>	
<b>CAPÍTULO 6</b> .....	<b>87</b>
ANÁLISE ENERGÉTICA E EXERGÉTICA DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS DE SILÍCIO MONOCRISTALINO E POLICRISTALINO	
Suellen Caroline Silva Costa Janaína de Oliveira Castro Silva Cristiana Brasil Maia Antônia Sônia Alves Cardoso Diniz	
<b>DOI 10.22533/at.ed.6671922016</b>	

<b>CAPÍTULO 7 .....</b>	<b>1043</b>
ANÁLISE HARMÔNICA NOS INVERSORES FOTOVOLTAICOS DE UMA MICROGERAÇÃO FOTOVOLTAICA	
Alessandro Bogila Joel Rocha Pinto Thales Prini Franchi Thiago Prini Franchi	
<b>DOI 10.22533/at.ed.6671922017</b>	
<b>CAPÍTULO 8 .....</b>	<b>120</b>
ANÁLISE TÉCNICA E ECONÔMICA DA IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO NO MODELO DE UMA ÁRVORE NA FACULDADE DE TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA	
Bárbara de Luca De Franciscis Gouveia	
<b>DOI 10.22533/at.ed.6671922018</b>	
<b>CAPÍTULO 9 .....</b>	<b>139</b>
ANÁLISE FINANCEIRA DE SISTEMAS DE MICROGERAÇÃO FOTOVOLTAICA FINANCIADOS EM PALMAS - TO	
Brunno Henrique Brito Maria Lúcia Feitosa Gomes de Melo	
<b>DOI 10.22533/at.ed.6671922019</b>	
<b>CAPÍTULO 10 .....</b>	<b>152</b>
APLICAÇÃO DE SISTEMA FOTOVOLTAICO EM ESCOLAS MUNICIPAIS DA CIDADE DE CRUZ ALTA/RS: ANÁLISE DE IMPLANTAÇÃO E POTENCIAL DE ENERGIA GERADA	
Alessandra Haas Franciele Rohr Ísis Portolan dos Santos	
<b>DOI 10.22533/at.ed.66719220110</b>	
<b>CAPÍTULO 11 .....</b>	<b>165</b>
APLICAÇÃO DO ALGORITMO DE RASTREAMENTO DO PONTO DE MÁXIMA POTÊNCIA (MPPT) EM MÓDULOS FOTOVOLTAICOS	
Augusto Hafemeister João Batista Dias Leonel Augusto Calliari Poltosi	
<b>DOI 10.22533/at.ed.66719220111</b>	
<b>CAPÍTULO 12 .....</b>	<b>181</b>
AR CONDICIONADO SOLAR – CICLO DE ADSORÇÃO	
Rafael de Oliveira Barreto Pollyanne de Oliveira Carvalho Malaquias Matheus de Mendonça Herzog Luciana Carvalho Penha Lucio Cesar de Souza Mesquita Elizabeth Marques Duarte Pereira	
<b>DOI 10.22533/at.ed.66719220112</b>	
<b>CAPÍTULO 13 .....</b>	<b>194</b>
AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DO COLETOR SOLAR PLANO ACOPLADO EM SECADOR HÍBRIDO	
Raphaela Soares da Silva Camelo	

Ícaro da Silva Misquita  
Thais Andrade de Paula Lovisi  
Lizandra da Conceição Teixeira Gomes de Oliveira  
Juliana Lobo Paes  
Camila Lucas Guimarães

**DOI 10.22533/at.ed.66719220113**

**CAPÍTULO 14 ..... 212**

AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE NOVO PROTÓTIPO DE FOTOBIORREATOR NÃO TRANSPARENTE PARA CULTIVO DE MICROALGAS COM ILUMINAÇÃO INTERNA ATRAVÉS DE POFS QUE RECEBEM A LUZ DE LENTES MONTADAS EM SISTEMA DE RASTREAMENTO SOLAR

Gisel Chenard Díaz  
Yordanka Reyes Cruz  
Rene Gonzalez Carliz  
Fabio Toshio Dino  
Maurílio Novais da Paixão  
Donato A. Gomes Aranda  
Marina Galindo Chenard

**DOI 10.22533/at.ed.66719220114**

**CAPÍTULO 15 ..... 225**

AVALIAÇÃO DE WEBSITES BRASILEIROS PARA SIMULAÇÃO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE: PARÂMETROS DE ENTRADA E RESULTADOS

Marina Calcagnotto Mascarello  
Letícia Jenisch Rodrigues

**DOI 10.22533/at.ed.66719220115**

**CAPÍTULO 16 ..... 241**

AVALIAÇÕES DE CUSTO E DESEMPENHO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS TIPO SIGFI COM DIFERENTES PERÍODOS DE AUTONOMIA

Marta Maria de Almeida Olivieri  
Leonardo dos Santos Reis Vieira  
Marco Antonio Galdino  
Márcia da Rocha Ramos

**DOI 10.22533/at.ed.66719220116**

**CAPÍTULO 17 ..... 257**

AVALIAÇÃO DO POTENCIAL EÓLICO CONSIDERANDO O EFEITO DA ESTEIRA AERODINÂMICA DE TURBINAS ATRAVÉS DO MODELO DO DISCO ATUADOR

Luiz Fernando Pezzi  
Adriane Prisco Petry

**DOI 10.22533/at.ed.66719220117**

**CAPÍTULO 18 ..... 272**

COMPARAÇÃO DE RESULTADOS DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA ATRAVÉS DE DIFERENTES BASES DE DADOS DE IRRADIAÇÃO - ESTUDO DE CASO EM CURITIBA

Danilo Carvalho de Gouveia  
Jeanne Moro  
Muza Iwanow  
Rebecca Avença  
Jair Urbanetz Junior

**DOI 10.22533/at.ed.66719220118**

<b>CAPÍTULO 19</b> .....	<b>284</b>
DESENVOLVIMENTO DE SUPERFÍCIES SUPERHIDROFÓBICAS COM EFEITO AUTOLIMPANTE PARA APLICAÇÕES EM MÓDULOS FOTOVOLTAICOS	
Lucélio Oliveira Lemos	
Magnum Augusto Moraes Lopes de Jesus	
Aline Geice Vitor Silva	
Angela de Mello Ferreira	
<b>DOI 10.22533/at.ed.66719220119</b>	
<b>CAPÍTULO 20</b> .....	<b>297</b>
DESENVOLVIMENTO DE UM APLICATIVO PARA DIMENSIONAMENTO DE SISTEMAS DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICA	
Stéphane Rodrigues da Silva	
Érica Tiemi Anabuki	
Luis Cláudio Gambôa Lopes	
<b>DOI 10.22533/at.ed.66719220120</b>	
<b>CAPÍTULO 21</b> .....	<b>312</b>
DO PETRÓLEO À ENERGIA FOTOVOLTAICA: A INSERÇÃO DO BRASIL NESTE NOVO MERCADO	
Emilia Ribeiro Gobbo	
Maria Antonia Tavares Fernandes da Silva	
Rosemarie Bröker Bone	
<b>DOI 10.22533/at.ed.66719220121</b>	
<b>CAPÍTULO 22</b> .....	<b>330</b>
EFEITO DO SOMBREAMENTO EM MÓDULOS FOTOVOLTAICOS	
José Rafael Cápua Proveti	
Daniel José Custódio Coura	
Carlos Roberto Coutinho	
Adriano Fazolo Nardoto	
<b>DOI 10.22533/at.ed.66719220122</b>	
<b>CAPÍTULO 23</b> .....	<b>342</b>
ESTIMATIVA DA PRODUÇÃO ENERGÉTICA E DE DESEMPENHO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO INTEGRADO AO COMPLEXO AQUÁTICO DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA	
Helena Flávia Napolini	
Gustavo Xavier de Andrade Pinto	
Julio Boing Neto	
Ricardo Rütther	
<b>DOI 10.22533/at.ed.66719220123</b>	
<b>CAPÍTULO 24</b> .....	<b>354</b>
ESTUDO DA SECAGEM INTERMITENTE DA MANGA UTILIZANDO SECADOR HÍBRIDO SOLAR-ELÉTRICO	
Camila Lucas Guimarães	
Juliana Lobo Paes	
Raphaela Soares da Silva Camelo	
Madelon Rodrigues Sá Braz	
Ícaro da Silva Misquita	
Lizandra da Conceição Teixeira Gomes de Oliveira	
<b>DOI 10.22533/at.ed.66719220124</b>	

<b>CAPÍTULO 25</b> .....	<b>367</b>
ANÁLISE PRÉVIA DO VALOR DA DEPENDÊNCIA DO SOLO PARA AS ATIVIDADES AGRÍCOLAS COM A POSSÍVEL IMPLANTAÇÃO DO PARQUE EÓLICO DA SERRA, EM SÃO FRANCISCO DE PAULA, RS	
Antonio Robson Oliveira da Rosa Leonardo Beroldt Rafael Haag	
<b>DOI 10.22533/at.ed.66719220125</b>	
<b>CAPÍTULO 26</b> .....	<b>379</b>
APLICAÇÃO DE UM DVR EM AEROGERADORES SCIG E DFIG PARA AUMENTO DE SUORTABILIDADE FRENTE A AFUNDAMENTOS DE TENSÃO	
Edmar Ferreira Cota Renato Amorim Torres Victor Flores Mendes	
<b>DOI 10.22533/at.ed.66719220126</b>	
<b>CAPÍTULO 27</b> .....	<b>398</b>
AVALIAÇÃO DO POTENCIAL EÓLICO DE UMA REGIÃO COM TOPOGRAFIA COMPLEXA UTILIZANDO DINÂMICA DOS FLUIDOS COMPUTACIONAL	
William Corrêa Radünz Alexandre Vagtinski de Paula Adriane Prisco Petry	
<b>DOI 10.22533/at.ed.66719220127</b>	
<b>CAPÍTULO 28</b> .....	<b>410</b>
EDIFICAÇÃO DE ENERGIA POSITIVA: ANÁLISE DE GERAÇÃO E CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA NO ESCRITÓRIO VERDE DA UTFPR EM CURITIBA	
Larissa Barbosa Krasnhak Elis Almeida Medeiros de Mello Jair Urbanetz Junior Eloy Casagrande Junior	
<b>DOI 10.22533/at.ed.66719220128</b>	
<b>CAPÍTULO 29</b> .....	<b>422</b>
ESTAÇÃO METEOROLÓGICA WIFI DE BAIXO CUSTO BASEADO EM THINGSPEAK	
Renan Tavares Figueiredo Odélsia Leonor Sanchez de Alsina Diego Lopes Coriolano Eurípes Lopes de Almeida Neto Ladjane Coelho dos Santos Iraí Tadeu Ferreira de Resende Ana Claudia de Melo Oliveira	
<b>DOI 10.22533/at.ed.66719220129</b>	
<b>SOBRE O ORGANIZADOR</b> .....	<b>431</b>

## APLICAÇÃO DO ALGORITMO DE RASTREAMENTO DO PONTO DE MÁXIMA POTÊNCIA (MPPT) EM MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

### Augusto Hafemeister

Universidade do Vale do Rio dos Sinos –  
UNISINOS, Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia Mecânica – PPGEM  
São Leopoldo – Rio Grande do Sul

### João Batista Dias

Universidade do Vale do Rio dos Sinos –  
UNISINOS, Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia Mecânica – PPGEM  
São Leopoldo – Rio Grande do Sul

### Leonel Augusto Calliari Poltosi

Universidade do Vale do Rio dos Sinos –  
UNISINOS, Departamento de Engenharia Elétrica  
São Leopoldo – Rio Grande do Sul

**RESUMO:** Este trabalho apresenta a aplicação do algoritmo de rastreamento do ponto de máxima potência (MPPT) em módulos fotovoltaicos. O sistema foi modelado e simulado com base nas características de um módulo específico. Também foi desenvolvido um protótipo para aplicação do conceito estudado, baseado em um microcontrolador PIC18F4550, um conversor CC/CC de topologia Boost e circuitos eletrônicos que monitoram, de maneira eficaz, a tensão e a corrente do módulo, para posterior cálculo e análise da potência gerada. Para atingir as metas estabelecidas, o sistema foi modelado utilizando-se o algoritmo de Perturbação e Observação (P&O), que trata-se de um método

tradicional estudado por diversos autores. Contudo, o principal diferencial dessa pesquisa está na aplicação prática do conceito, através de um protótipo experimental, o qual permite realizar ensaios para validar os resultados encontrados e comparar, submetendo-o às mesmas condições de operação, a eficiência do sistema operando com e sem o algoritmo. Enfim, a motivação para o desenvolvimento deste projeto está em apresentar a importância da utilização de algoritmos MPPT em conversores CC/CC para aumentar em até 73% a potência gerada pelo módulo e manter sempre constante a tensão que carrega baterias, se transformando numa alternativa viável para sistemas isolados, usados em locais onde a extensão da rede elétrica apresenta-se inviável; ou também em sistemas para conexão à rede elétrica, pois atualmente muitas unidades de geração estão sendo conectadas ao sistema de distribuição e os índices dos sinais gerados deverão estar dentro dos limites especificados pelo órgão regulador.

**PALAVRAS-CHAVE:** Rastreamento do Ponto de Máxima Potência (MPPT). Algoritmos. Conversores CC/CC.

**ABSTRACT:** This work presents the application of the maximum power point tracking (MPPT) algorithm for photovoltaic panels. The system was modeled and simulated based on the

specific characteristics of a PV module and has also developed a prototype for application of the concept studied, based on PIC18F4550 microcontroller, a DC/DC Boost converter and electronic circuits that monitor, effectively, the voltage and the current of the solar panel for further calculation and analysis of power generated. To achieve the study goals, the system was modeled using the Perturb and Observe (P&O) algorithm, a traditional method and studied by several authors. However, the main difference of this research is on the practical application of the concept through an experimental prototype, which allows to perform tests to validate the results and to compare, subjecting it to the same working conditions; the efficiency of the system operating with and without the algorithm. Finally, the motivation for the development of this project is to present the importance of using MPPT algorithms in DC/DC converters to increase 73% the power generated by the module and always keep a constant voltage that charges batteries and to be a viable alternative at isolated systems, as areas where extension of power grid presents unfeasible; or also in systems for power grid connection, because nowadays many power generation units will be connected to the distribution system and the indices of the generated signals must be within the limits specified by the energy regulator.

**KEYWORDS:** Maximum Power Point Tracking (MPPT). Algorithms. DC/DC Converters.

## 1 | INTRODUÇÃO

O aumento acelerado da demanda de energia elétrica em todo o mundo, em contraste com a necessidade de diminuir a dependência dos combustíveis fósseis, está fazendo com que os investimentos em fontes de energia renovável sejam cada vez maiores. A base mundial de geração de energia continua sendo as grandes usinas hidrelétricas, termelétricas a carvão e petróleo e usinas nucleares, porém já se tem observado um crescimento expressivo nas fontes alternativas, como energia eólica e energia solar. Esse crescimento é motivado pela redução nos custos de implantação e a adesão às novas políticas para minigeração e microgeração residencial. De acordo com Luque (2011), as principais vantagens da energia solar fotovoltaica são: a energia do Sol é abundante, acessível e infinita; os painéis fotovoltaicos não geram resíduos, ou seja, não contribuem para as mudanças globais do clima; os módulos fotovoltaicos apresentam vida útil elevada, devido à inexistência de partes móveis (sem desgaste), podendo chegar a 30 anos de operação; os painéis fotovoltaicos têm estrutura modular, ou seja, o sistema pode ser ampliado facilmente.

O principal fator que limita a utilização da energia proveniente do Sol é a baixa eficiência das células solares. Entre as soluções para esse fato, pode-se citar os sistemas de rastreamento da posição solar, a otimização da configuração e novas tecnologias. Uma característica que dificulta a extração da energia dos painéis solares é o comportamento não linear da tensão e corrente fornecidos pelo mesmo. Para

cada valor de irradiação solar existe apenas um ponto em que a máxima potência é entregue para carga, conhecido como MPP (*Maximum Power Point*). Logo, é importante que os equipamentos atuem sempre buscando o melhor rendimento, para viabilizar financeiramente o investimento no sistema fotovoltaico. Além disso, a geração de energia através de painéis solares é muito dependente das condições climáticas do ambiente em que estão instalados. Devido a este fato, um sistema fotovoltaico deve ter uma ótima resposta às variações na baixa irradiação solar e também à alta temperatura, pois ambas as características diminuem seu desempenho. Os equipamentos comerciais destinados a aplicações de baixa capacidade, como por exemplo os importados e não certificados pelo INMETRO, não possuem um controle muito apurado, fazendo com que os padrões de qualidade para sincronismo com a rede de distribuição, especificados pela ANEEL, não sejam alcançados e, a energia injetada, prejudique os outros aparelhos que estão utilizando esse mesmo potencial.

Com base na motivação e no contexto apresentado, este trabalho tem como objetivo modelar e simular um sistema fotovoltaico isolado com rastreamento do ponto de máxima potência (MPPT) para comprovar o ganho real da aplicação do algoritmo em conversores CC/CC e desenvolver um protótipo para aplicar o conceito na prática.

## 2 | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

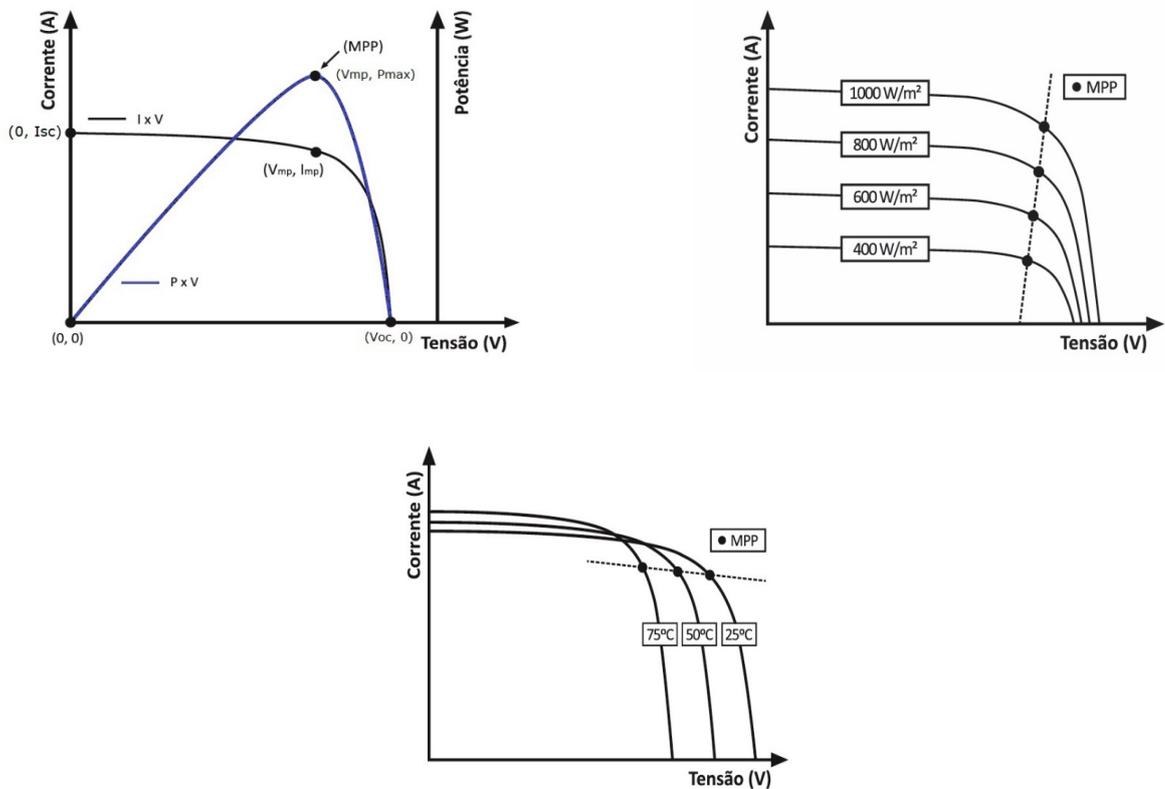
Apesar de o Sol ser a principal fonte de energia de nosso planeta, apenas uma pequena parcela desse imenso potencial é explorada. Contudo, praticamente toda a energia utilizada atualmente tem origem no Sol. Hoje em dia, o ser humano precisa da energia para quase tudo, seja no local de trabalho ou em sua própria casa, para utilizar eletrodomésticos, computadores, celulares, entre outros. Porém, essa utilização massiva tem um alto custo para o planeta, pois a matriz energética ainda depende muito de fontes não renováveis, as quais prejudicam o ecossistema. A relação direta existente entre a disponibilidade de eletricidade e a melhoria do desenvolvimento social reafirma a importância das fontes energéticas para a humanidade.

### 2.1 Energia Solar Fotovoltaica

O efeito fotovoltaico é o fenômeno físico que permite a conversão direta da radiação solar em eletricidade, sendo que tudo ocorre quando radiação incide sobre uma célula composta de materiais semicondutores com propriedades específicas. Uma célula fotovoltaica típica e com radiação solar intensa produz uma tensão de 0,4 a 0,7 V, tipicamente 0,6 V, e uma intensidade de corrente de 3 A ou maior. Para se obter uma tensão maior, ligam-se as células em série e, para se obter maior corrente, ligam-se as células em paralelo, constituindo o módulo fotovoltaico. Por exemplo, um módulo com 36 células associadas em série, apresenta uma tensão de circuito aberto de, aproximadamente, 21,6 V.

Um módulo fotovoltaico não se comporta como uma fonte elétrica convencional,

pois a tensão de saída não é constante e depende também da corrente. Tudo depende da carga que está conectada aos terminais do módulo, pois quanto maior for a corrente consumida, menor será a tensão. O comportamento do módulo fotovoltaico é algo entre uma fonte de corrente e tensão, conforme mostra a Figura 1, adaptada de Cupertino *et al.* (2012). Para cada curva de tensão versus corrente, existe uma curva de tensão versus potência gerada. No exemplo mostrado na Figura 1a, existe um ponto identificado como MPP (*Maximum Power Point*), ou seja, esse local representa a melhor relação de tensão vezes a corrente elétrica gerada pelo módulo fotovoltaico. Além disso, quanto menor a irradiância solar, menor é a corrente, mantendo-se a tensão quase estabilizada (Figura 1b). Quanto maior a temperatura do módulo, menor a tensão, sendo que a corrente se mantém estabilizada, com um leve incremento (Figura 1c).



**Figura 1** - Curva característica do módulo (a), Efeito de irradiância incidente (b), Efeito da temperatura (c).

Conforme ilustra a Figura 2, adaptada de Cupertino *et al.* (2012), uma fonte de corrente  $I_{fv}$  com um diodo em paralelo é a representação mais simples de um módulo solar fotovoltaico. O valor de  $I_{fv}$  é proporcional ao nível de radiação solar incidente e temperatura sobre a célula. A tensão de saída  $V$  apresenta um comportamento não linear devido à presença do diodo no modelo equivalente. A resistência série  $R_s$  surge devido às soldas internas no substrato do material semiconductor e a junção nos terminais externos de saída, além da resistência do próprio material semiconductor. A

resistência paralela  $R_p$  modela as correntes de fuga na superfície do material, o qual devido ao seu alto valor, pode ser desconsiderado na maioria das vezes. Tanto  $R_s$  como  $R_p$  influenciam diretamente na curva tensão versus corrente do módulo.

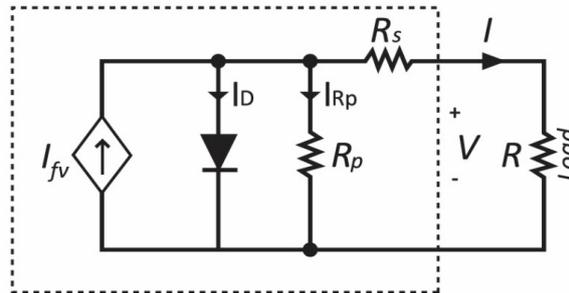


Figura 2 - Modelo equivalente de um módulo fotovoltaico.

## 2.2 Rastreamento do Ponto de Máxima Potência (MPPT)

O rastreamento do ponto de máxima potência, denominado em Inglês como *Maximum Power Point Tracking* (MPPT), é muito utilizado na indústria de inversores para conexão de sistemas fotovoltaicos à rede elétrica. De acordo com Carvalho (2012), os controladores do ponto de máxima potência (MPP) começaram a ser desenvolvidos em 1968 com o intuito de melhorar o desempenho de sistemas constituídos por uma fonte não linear e uma carga arbitrária. A utilização de técnicas de rastreamento em sistemas fotovoltaicos produz um acréscimo de rendimento em torno de 15% a 30%, sendo que os principais requisitos são a convergência, a rápida resposta dinâmica, o pequeno erro em regime permanente, a robustez a distúrbios e a mesma eficiência em diferentes níveis de potência (Carvalho, 2012).

O controle de tensão e corrente é fundamental em qualquer fonte de energia para que seja possível manter os mesmos adequados com a variação da carga. No caso da energia solar isso não é diferente, pois é comum a utilização de conversores CC/CC (corrente contínua para corrente contínua) conectados diretamente ao módulo, seja para controle da máxima potência fornecida como também para conexão com baterias. Conforme visto anteriormente na Figura 1a, o módulo solar possui uma curva característica de tensão-corrente e o mesmo pode operar em diferentes pontos de acordo com a carga do sistema. Caso essa seja abaixo da potência instalada, o módulo estará operando num ponto abaixo de sua capacidade máxima, desperdiçando energia. Logo, para que seja possível obter a máxima eficiência, se faz necessária aplicar técnicas de controle para manter o módulo operando no seu ponto de potência máxima (MPP).

Diversas técnicas de rastreamento do ponto de máxima potência do módulo já foram publicadas, sendo que as principais análises abordadas são: fácil compreensão do algoritmo, aplicação prática e eficiência de rastreamento para um determinado

conjunto de condições de operação (Faranda *et al.*, 2008). Os principais métodos existentes são: Método da Tensão Constante, Método da Perturbação e Observação (P&O), Método da Condutância Incremental (INC), Método da Correlação de *Ripple* (RCC), Método por Lógica *Fuzzy* (Nebulosa) e Método por Rede Neural.

### 2.3 Método da Perturbação e Observação (P&O)

Apesar de confundir-se com variações bruscas de temperatura e radiação solar (Femia, 2005) e apresentar perdas de energia devido ao desligamento do conversor e tempo de estabilização elevado (Villalva, 2010), o algoritmo de Perturbação e Observação é um dos mais utilizados, devido a sua praticidade de implementação e ótimo custo-benefício. De acordo com Carvalho (2012), esse método opera “perturbando” a tensão de saída do módulo periodicamente. Conforme mostra o fluxograma da Figura 3, adaptado de Brito *et al.* (2010), para cada novo valor de tensão é calculada a potência de saída, sendo então comparada com o valor anterior armazenado. Caso a potência aumente, o sistema de controle continuará a atuar naquele sentido; caso contrário, o sistema atuará no sentido oposto. Quando o ponto de máxima potência é alcançado, a tensão do módulo oscila continuamente em torno deste. O passo de variação da tensão é um parâmetro que deve ser ajustado para possibilitar o balanço entre a resposta mais rápida com a menor oscilação em regime permanente.

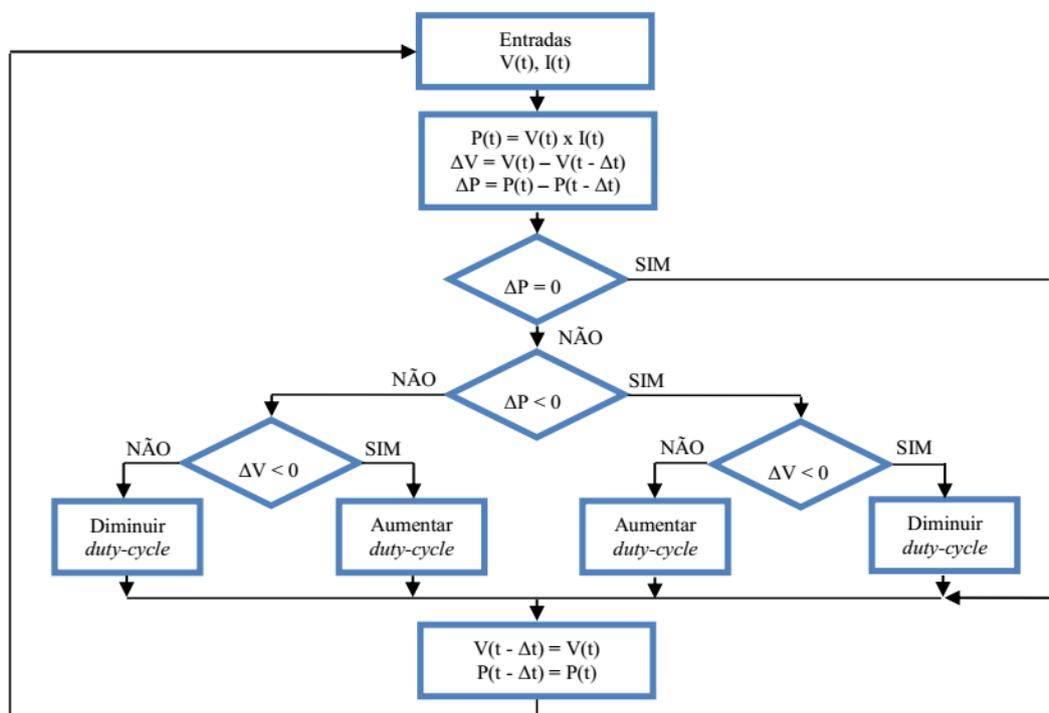


Figura 3 - Fluxograma do método de Perturbação e Observação.

## 3 | MATERIAIS E MÉTODOS

Conforme apresentado anteriormente, o presente trabalho tem por objetivo

modelar e simular um sistema fotovoltaico com rastreamento do ponto de máxima potência (MPPT) para comprovar o ganho real da aplicação desse tipo de algoritmo e desenvolver um protótipo para aplicar o conceito na prática. Para viabilizar o projeto, a seguinte metodologia foi adotada.

### 3.1 Topologia do Estudo de Caso

Seguindo os estudos abordados na revisão bibliográfica, a topologia do sistema implementado tanto no software de simulação MATLAB/SIMULINK®, como também na prática, está exemplificada na Figura 4.

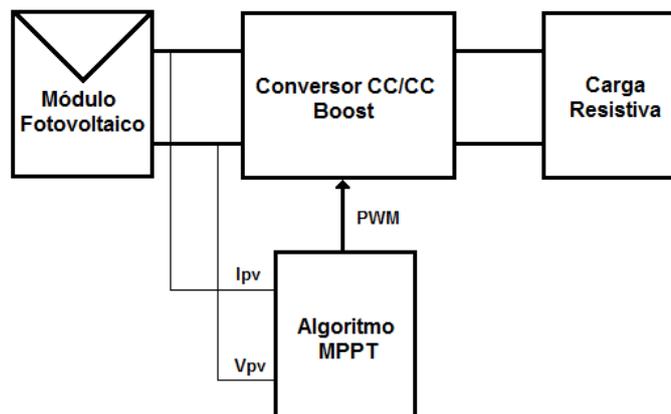


Figura 4 - Topologia do estudo de caso.

### 3.2 Modelagem do Sistema Fotovoltaico

A modelagem do sistema fotovoltaico é baseada na curva de corrente em função da tensão (I-V) de uma célula fotovoltaica (Figura 1a), a qual pode ser obtida através de um conjunto de equações (Kumar, 2012), desde que sejam conhecidas as características dos componentes elétricos que representam o seu circuito elétrico equivalente (Figura 2). Então, se faz necessário analisar as características técnicas das células, ou módulos fotovoltaicos, que são utilizados no desenvolvimento desse trabalho. O módulo fotovoltaico a ser utilizado é o modelo SY-60M, do fabricante Shenzhen Suoyang New Energy, que possui 36 células de silício monocristalino. Suas principais características técnicas são demonstradas na Tabela 1, sendo aferidas pelo Laboratório de Energia Solar da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – LABSOL. Para a modelagem do sistema, se faz necessária a análise da Figura 2, onde a corrente da célula fotovoltaica é obtida através da corrente fotogerada  $I_{fv}$ , da corrente do diodo  $I_D$  e da corrente da resistência em paralelo  $I_{Rp}$ . Para os cálculos são atribuídas as constantes definidas na Tabela 2.

CARACTERÍSTICA	VALOR	REFERÊNCIAS	VALOR
Máxima Potência	60 W	Temperatura ambiente de referência ( $T_{ref}$ )	25°C
Tensão de Máxima Potência	18,53 V	Temperatura ambiente ( $T_{amb}$ )	25°C
Corrente de Máxima Potência	3,59 A	Constante de Boltzmann (k)	$1,38 \times 10^{-23}$ J/K
Tensão de Circuito Aberto ( $V_{oc}$ )	22,65 V	Carga elementar do elétron (q)	$1,602 \times 10^{-19}$ C
Corrente de Curto-Circuito ( $I_{sc}$ )	3,80 A	Fator de idealidade do diodo (a)	1,25
Coeficiente de Temperatura ( $K_i$ )	$1,15 \times 10^{-2}$ A/K	Energia de gap ( $E_g$ )	1,12 eV

**Tabela 1** - Especificações elétricas do módulo SY-60M para a condição padrão (irradiância de 1000 W/m<sup>2</sup>, temperatura de célula de 25°C e espectro AM 1,5)

**Tabela 2** - Constantes e referências para os cálculos

A temperatura da célula  $T_{cel}$  é calculada em função da temperatura ambiente  $T_{amb}$ , a irradiância solar  $G$  e a temperatura nominal de operação da célula  $T_{noc}$ . Para avaliar os impactos da temperatura na curva I-V e comparar a simulação com a Figura 1c, calculou-se os valores de  $\alpha_i$  e  $\alpha_v$  para temperaturas específicas (25, 50 e 75°C). Como os fabricantes dos módulos fotovoltaicos não disponibilizam alguns dados intrínsecos do modelo equivalente, torna-se necessária à análise de imagem da curva I-V no software MATLAB® para identificação do valor aproximado das resistências  $R_s$  e  $R_p$  e assim ser possível simular o modelo.

Com essas informações, já é possível realizar a modelagem que representa o módulo fotovoltaico diretamente no SIMULINK®. As constantes e referências foram salvas em script no MATLAB® e o modelo foi desenvolvido em função da irradiância solar  $G$ , tendo como saída os valores de tensão, corrente e potência, conforme mostra a Figura 5.

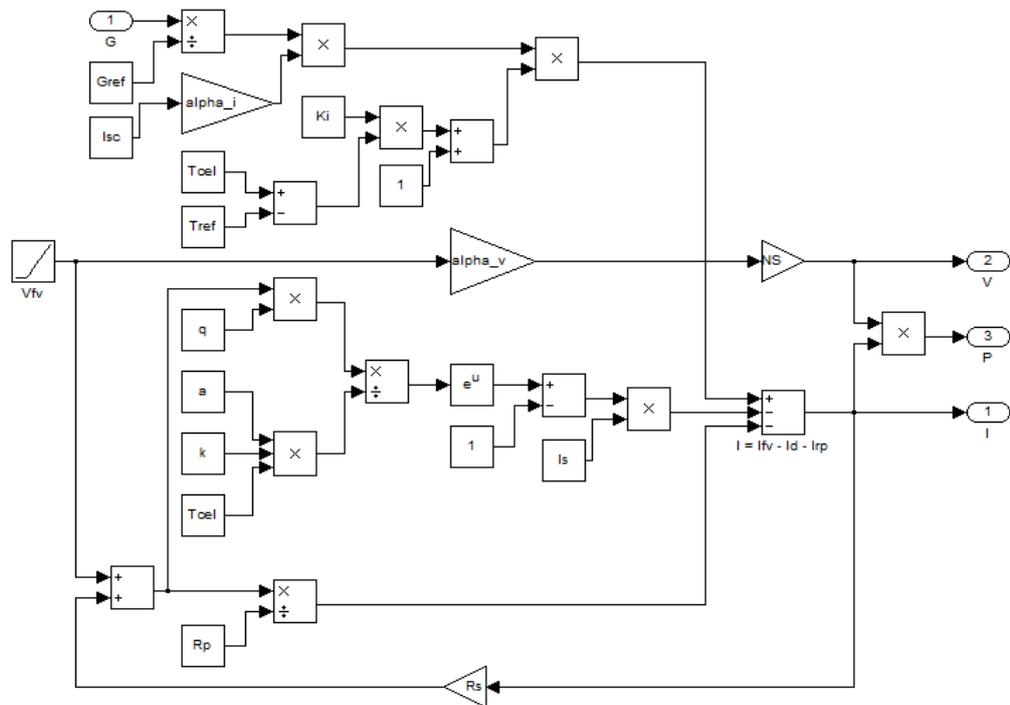


Figura 5 - Modelagem do módulo fotovoltaico modelo SY-60M.

Para que fosse possível conectar o modelo equivalente do módulo fotovoltaico aos componentes eletrônicos da simulação, foram necessárias algumas adaptações, como a inserção de uma fonte de corrente controlada pelo valor gerado pelo modelo e a realimentação da tensão medida na fonte de corrente, afim de garantir um comportamento dinâmico do arranjo. Além disso, foi modelado um conversor CC/CC com topologia *Boost* e também o algoritmo P&O descrito na Figura 3.

Após a modelagem individual de todas as etapas, pode-se fazer a junção das mesmas e criar um ambiente de simulação integrado, conforme mostra a Figura 6. Os sinais de tensão e corrente provenientes do módulo fotovoltaico e da carga são multiplicados para descobrir a potência e inseridos na janela de monitoração. Para que seja possível observar a resposta do sistema às variações na irradiância solar, divide-se o valor de  $G$  por 10 (adequar à escala) e coloca-se o mesmo para a monitoração também.

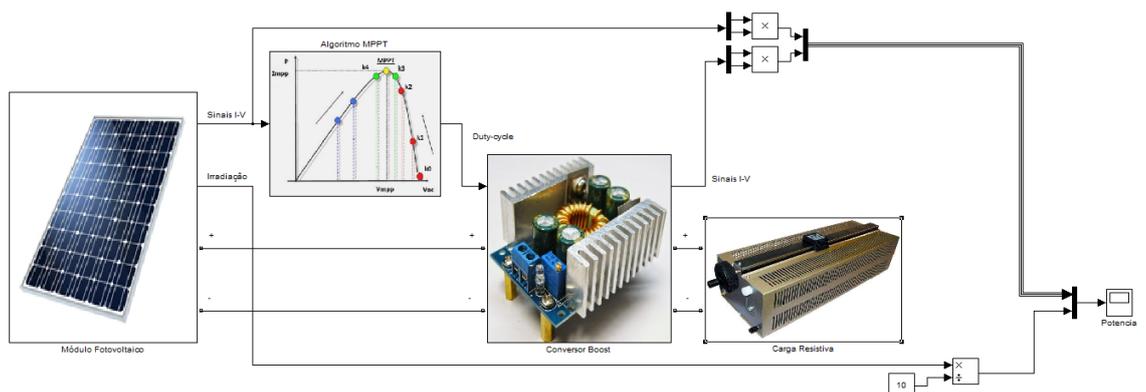


Figura 6 - Modelagem do sistema fotovoltaico no MATLAB/SIMULINK®.

### 3.3 Protótipo Experimental

Para aplicar o conceito estudado na prática, optou-se por desenvolver um protótipo experimental, aplicando a topologia do conversor *Boost* e implementando o algoritmo MPPT em linguagem C para embarcar em um microcontrolador. No projeto do hardware utilizou-se o PIC18F4550, ligado a um sensor de corrente de Efeito *Hall* ACS712 do fabricante *Allegro Microsystems* e um circuito divisor de tensão, ambos com filtro ativo passa-baixa para eliminar ruídos. A saída *PWM* do microcontrolador foi conectada ao conversor *Boost* com *duty-cycle* operando de 10 a 50%, afim de se extrair a maior eficiência do módulo fotovoltaico. É importante salientar que a utilização da carga resistiva, se deve ao fato da disponibilidade em laboratório de um reostato para potências elevadas. Além disso, a análise do impacto de cargas indutivas e capacitivas não fazem parte deste estudo.

### 3.4 Topologias para Execução dos Testes

Os testes do protótipo experimental foram divididos em duas partes, sendo a primeira para verificar a eficiência do conversor *Boost* e validar o programa desenvolvido para o microcontrolador *PIC* (Figura 7a). A segunda parte foi à verificação técnica do protótipo conectado ao módulo fotovoltaico, sendo o mesmo instalado em frente ao laboratório de Energia Solar Fotovoltaica da Unisinos, orientado ao norte geográfico e com ângulo de inclinação de  $34^\circ$  em relação ao plano horizontal, conforme mostra a Figura 7b e a Figura 7c. Nesse local, a incidência direta de raios solares, no período do ensaio, ocorreu das 10 h às 17h30min.

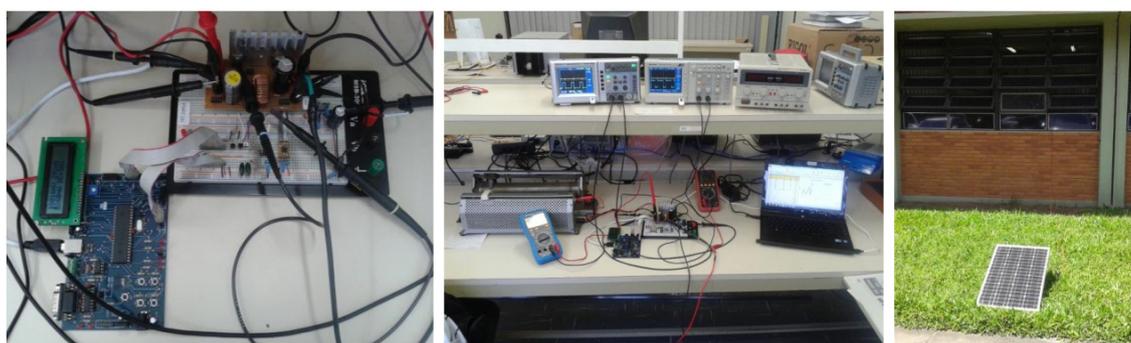


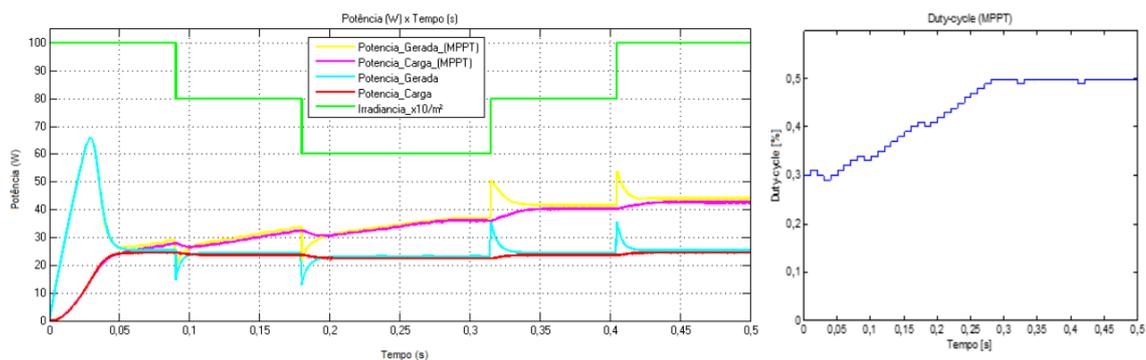
Figura 7 - Protótipo experimental (a), Bancada de testes (b), Módulo fotovoltaico (c).

## 4 | ANÁLISE DOS RESULTADOS

A análise de resultados foi obtida por meio de testes realizados, tanto no modelo teórico como na prática, seguida de uma discussão dos mesmos.

## 4.1 Resultados do Modelo

A modelagem do módulo fotovoltaico, do conversor *Boost* e do algoritmo MPPT de Perturbação e Observação (P&O) já foram validados durante a metodologia. Inclusive a resposta do modelo equivalente da célula fotovoltaica também já foi confrontada com os dados fornecidos pelo fabricante. Para a verificação do modelo de controlador do ponto de máxima potência estudado, foram propostos alguns estudos de caso, sendo o principal simulando um sombreamento em um módulo fotovoltaico, com o valor de irradiância solar  $G$  inicial de  $1000 \text{ W/m}^2$ , reduzindo para  $800 \text{ W/m}^2$ , depois  $600 \text{ W/m}^2$ , após retornando a origem. Essa curva ocorre durante o período da simulação (0,5 segundos) e pode ser observada na Figura 8a, através da linha cor verde. A linha na cor amarela representa a potência gerada pelo módulo com a aplicação do algoritmo MPPT, sendo a linha na cor rosa a potência entregue à carga. A linha na cor azul *cyan* representa a potência gerada pelo módulo sem a aplicação do algoritmo MPPT (*duty-cycle* fixo), sendo a linha na cor vermelha a potência entregue à carga. O regime transitório observado no início da simulação representa o módulo partindo para a potência máxima, porém sem carga. Quando o conversor chaveado começa a operar corretamente, a potência gerada cai para valores de acordo com a carga aplicada. A cada variação no valor da irradiância ocorre um transitório na potência gerada pelo módulo, mas que devido à rápida atuação do algoritmo MPPT, pouco se percebe na potência entregue à carga. No regime final da simulação, pode-se verificar um acréscimo de 73,22% tanto na potência gerada pelo módulo, como também na potência entregue à carga (como não existem perdas por dissipação térmica na simulação, a eficiência fica próxima de 100%). Ou seja, com a utilização do algoritmo de MPPT está se utilizando 18,6 W a mais do módulo fotovoltaico e entregando 18,1 W a mais para a carga do sistema.



**Figura 8** - Simulação de sombreamento no módulo (a), Comportamento do *duty-cycle* (b).

Observa-se na Figura 8b que o algoritmo detecta as variações na irradiação solar e busca o ponto de máxima potência. Quando a derivada da curva se torna positiva, o algoritmo gera uma rampa de incrementos até o valor máximo e permanece com *duty-cycle* de 50%, variando apenas quando ocorre um transitório no nível de irradiação

solar, mas logo estabilizando.

## 4.2 Resultados Experimentais em Bancada

Para verificar a eficiência do conversor projetado, foi fixada uma tensão de entrada na fonte de alimentação linear, igual a 22,65 V, ou seja, a tensão de circuito-aberto do módulo – máxima tensão gerada. Após, o *duty-cycle* do sinal *PWM* foi sendo incrementado, de 30% a 50%, e os valores da corrente de entrada e tensão de saída foram devidamente registrados para calcular a eficiência do circuito. Após a montagem do gráfico, concluiu-se que a eficiência do *Boost* varia de 75% a 67% (carga e *duty-cycle* máximos).

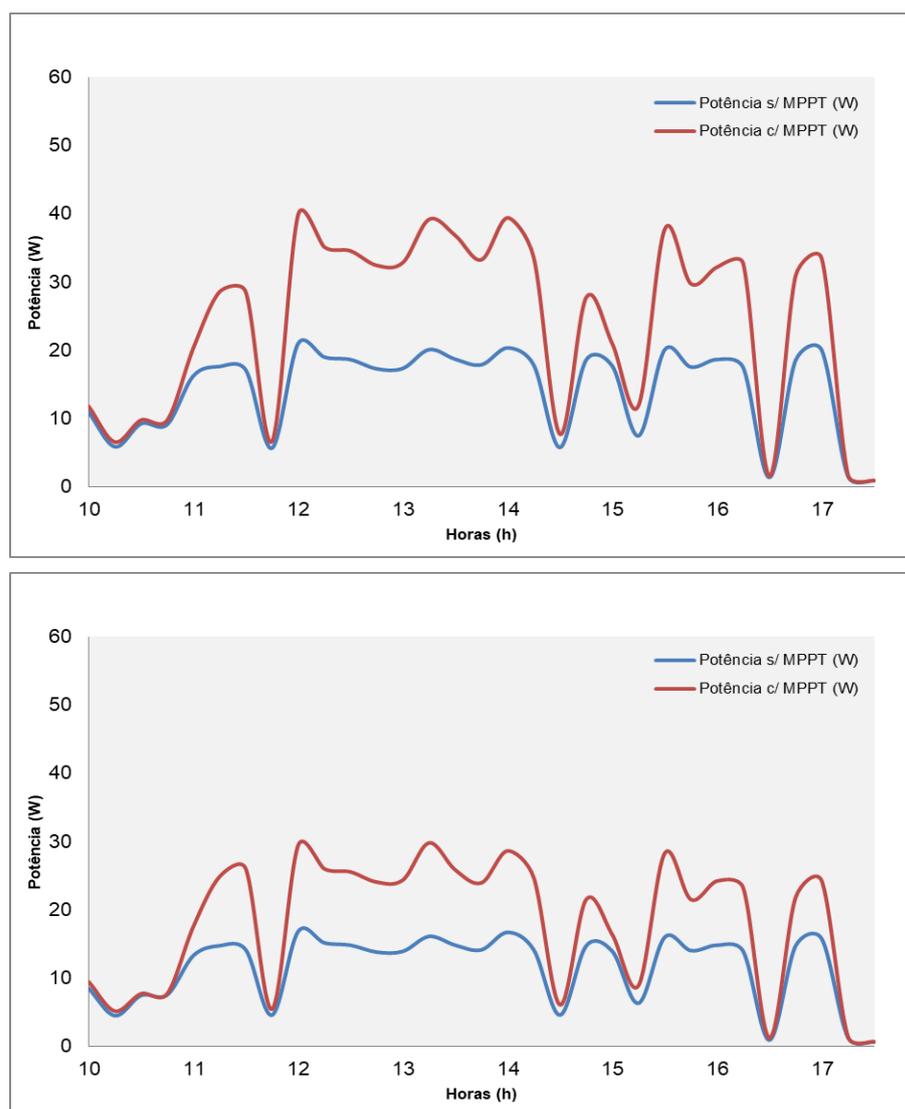
## 4.3 Resultados Experimentais com o Módulo Fotovoltaico

O dia utilizado para testes do protótipo experimental começou com temperatura de, aproximadamente, 14°C às 6 horas, se estabelecendo em 18,1°C às 10 h. Havia bastante nebulosidade no início da manhã, sendo que o Sol apareceu com mais intensidade somente a partir das 11 h. O pico de temperatura foi de 24,7°C e ocorreu às 16h15min. Os dados do protótipo sem o algoritmo MPPT (*duty-cycle* fixo em 30%) e com o algoritmo MPPT (*duty-cycle* variando de 10% a 50%) foram obtidos simultaneamente. A partir das 10 h, a cada intervalo de 15 minutos, as medições eram realizadas e armazenadas em uma planilha. O ensaio foi concluído às 17h30min, pois após este horário já não se têm mais incidência de raios solares sobre os módulos devido à sombra dos prédios e árvores no local.

Através dos dados práticos obtidos nesse dia, pode-se constatar que com a utilização do algoritmo MPPT, foi possível obter um acréscimo médio de potência gerada pelo módulo fotovoltaico, na ordem de 56%. Isso ocorre, pois nos momentos de baixa radiação solar, o algoritmo identifica a baixa geração de energia e reduz o *duty-cycle* do conversor *Boost*, fazendo que estresse menos o módulo. Do mesmo modo, quando o nível de radiação solar é elevado, o algoritmo MPPT eleva o valor do *duty-cycle* ao máximo, pois percebe que o módulo pode gerar mais energia. Os picos de rendimento (até 97% superior ao sistema sem a execução do algoritmo) justificam-se pelos altos níveis de irradiância solar naquele instante (entre 1111 e 1130 W/m<sup>2</sup>). A Figura 9a mostra o gráfico criado a partir dos dados adquiridos durante o dia, onde pode-se perceber que a potência gerada pelo painel é muito maior quando o algoritmo MPPT está sendo executado.

Seguindo o mesmo comportamento que a potência fornecida pelo módulo fotovoltaico, a potência entregue à carga também é superior quando o algoritmo MPPT está sendo executado (Figura 9b). Através dos dados práticos obtidos nesse dia, pode-se constatar que, com a utilização do algoritmo, foi possível obter um acréscimo médio de 50% na potência entregue à carga. O valor foi um pouco abaixo do anterior, devido

à redução da eficiência do conversor *Boost* para potências elevadas.



**Figura 9** - Gráfico da potência gerada pelo módulo (a), Gráfico da potência entregue à carga (b)

Após a realização do ensaio, foram adquiridos os dados da estação meteorológica da Unisinos, a fim de se comparar o desempenho do protótipo experimental. Foram coletados dados de irradiância solar ( $W/m^2$ ) e temperatura ( $^{\circ}C$ ), a cada 15 minutos, sendo o mesmo intervalo de tempo utilizado nos testes. A partir do gráfico da variação da irradiância no tempo, pode-se constatar que o comportamento foi muito semelhante ao protótipo, apresentando os mesmos picos entre 12 h e 14h, conforme mostra a Figura 10. É importante ressaltar que a estação meteorológica está localizada a uma distância de aproximadamente 40 metros do local do experimento, adquirindo dados de irradiância solar na horizontal, sendo que os ensaios foram realizados com o módulo fotovoltaico orientado para o norte geográfico, com ângulo de inclinação de  $34^{\circ}$ . Contudo, a análise realizada no presente trabalho é qualitativa, ou seja, somente para verificar o comportamento do mesmo, não sendo necessária à correção do ângulo. Algumas diferenças de comportamento podem ser observadas as 11h45min, 14h30min e 16h30min, oriundas de um sombreamento no protótipo, o qual não ocorreu

na estação.

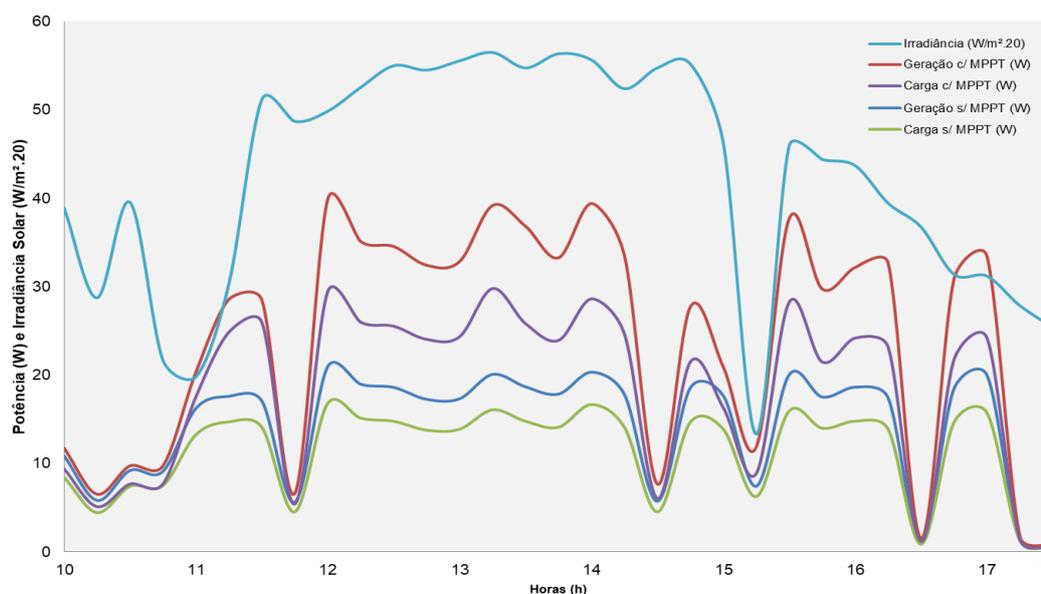


Figura 10 - Gráfico comparando o ensaio com os dados da estação meteorológica.

## 5 | CONCLUSÃO

O objetivo principal do trabalho foi alcançado mediante a comprovação da maior eficiência do sistema com a aplicação do algoritmo MPPT, em comparação ao sistema que não possui controle sobre a razão cíclica do conversor *Boost*, principalmente em dias com muitas nuvens e até mesmo nublados, quando o módulo fornece pouca potência. O sistema fotovoltaico modelado, com a aplicação do algoritmo, apresentou um ganho expressivo de eficiência de até 73,22% na potência gerada pelo módulo e entregue à carga. Nos ensaios práticos, a aplicação do MPPT extraiu, em média, 56% a mais de energia do módulo fotovoltaico e entregou 50% a mais de potência para a carga. Em determinadas situações, como às 13h15min, o ganho na geração de potência chegou há um pico de diferença de 19,1 W, que representa 32% da potência máxima do módulo fotovoltaico. Além disso, os resultados do protótipo experimental foram muito semelhantes ao modelo simulado, principalmente nos períodos de elevada irradiância solar em que a potência gerada foi de, aproximadamente, 40 W em ambos os casos. A partir do desenvolvimento do projeto, comprovou-se que o algoritmo de Perturbação e Observação (P&O) é simples de se implementar e pode oferecer resultados significativos na eficiência e na energia gerada pelo sistema fotovoltaico. Além disso, o método possui estrutura de controle simples e necessita de poucos parâmetros para funcionar (sinais de tensão e corrente gerados pelo módulo). Outra vantagem é o fato de não estar vinculado às características de um módulo solar específico para o processo de rastreamento, ou seja, pode ser aplicado a qualquer tipo de módulo fotovoltaico. Para fins demonstrativos de eficiência não se considerou

o consumo elétrico do protótipo, tendo em vista que em sistemas com maiores proporções são colocados inversores para corrente alternada que necessitam de um conversor CC/CC interno para elevar o nível de tensão dos módulos. Assim como também em aplicações com módulos ligados a baterias, as quais necessitam de um conversor para controlar a tensão de carga (importante ressaltar que bastam algumas pequenas alterações no projeto para que o protótipo desenvolvido possa executar as funções de um controlador de carga).

Enfim, conclui-se que o presente trabalho se apresenta como uma forma eficaz para o aumento da geração de potência elétrica utilizando sistemas fotovoltaicos, fazendo com que seja possível um melhor aproveitamento da energia solar captada pelo módulo. Dentro deste contexto, o estudo apresentado surge como uma alternativa viável para utilização em sistemas isolados (*Off-Grid*), como zonas rurais ou locais em que a extensão da rede elétrica apresenta-se inviável; ou também para conexão à rede elétrica (*Grid-Tie*), aumentando a energia injetada na rede, visto que com o advento das resoluções Nº. 482 e Nº. 687 da ANEEL, muitas unidades de geração serão conectadas ao sistema de distribuição e os índices dos sinais gerados deverão estar dentro dos limites especificados pelo órgão regulador.

## 6 | REFERÊNCIAS

ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução Normativa Nº. 482, de 17 de abril de 2012**. Brasília: ANEEL, 2012.

ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução Normativa Nº. 687, de 24 de novembro de 2015**. Brasília: ANEEL, 2015.

Brito, M. A. G., Junior, L. G., Sampaio, L., Canesin, C. **Avaliação das Principais Técnicas para Obtenção de MPPT de Painéis Fotovoltaicos**. 9th IEEE/IAS International Conference on Industry Applications (Induscon), p. 1-6, São Paulo, 2010.

Carvalho, E. P. **Uma Nova Abordagem de Rastreamento do Ponto de Máxima Potência em Painéis Fotovoltaicos**. Taubaté: Universidade de Taubaté, 2012.

Cupertino, A. F., Resende, J. T., Pereira, H. A., Seleme Jr, S. I. **A Grid-Connected Photovoltaic System with a Maximum Power Point Tracker using Passivity-Based Control applied in a Boost Converter**. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2012.

Datasheet, **Datasheet do Microcontrolador PIC18F4550**, 2006. 430 p. Disponível em: <<http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/39632c.pdf>>. Acesso em: 15 out 2017.

Datasheet, **Datasheet do Sensor de Corrente Baseado no Efeito Hall ACS712**, 2007. 14 p. Disponível em: <<http://www.allegromicro.com/~media/Files/Datasheets/ACS712-Datasheet.ashx>>. Acesso em: 15 out 2017.

Faranda, R., Leva, S., Maugeri, V. **MPPT Techniques for PV Systems: energetic and cost comparison**. IEEE Power and Energy Society General Meeting – Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century, Pittsburgh, PA, p. 1-6, 20-24, 2008.

Femia, N. et al. **Optimization of Perturb and Observe Maximum Power Point Tracking Method**. IEEE Transactions on Power Electronics, v. 20, n. 4, p. 963-973, 2005.

IEA, International Energy Agency. **World Energy Outlook 2012**. Paris: IEA Publications, 2012.

IEA, International Energy Agency. **World Energy Outlook 2012 – Renewable Energy Outlook**. Paris: IEA Publications, 2012.

Kumar, M. **Simulation and Analysis of Grid Connected Photovoltaic System with MPPT**. Electr. Dept., N.I.T., Kurukshetra, India. IEEE - Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2012.

Luque, A., Hegedus, S. **Handbook of Photovoltaic and Engineering**. 2. ed. United Kingdom: John Wiley & Sons Ltd, 2011.

Villalva, M. G. **Conversor Eletrônico de Potência Trifásico para Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede Elétrica**. Tese (Doutorado). Faculdade de Engenharia e de Computação, Universidade Estadual de Campinas: Campinas, 2010.

## **SOBRE O ORGANIZADOR:**

**Paulo Jayme Pereira Abdala** possui graduação em Engenharia Eletrônica pelo Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca - RJ (1988), mestrado em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (2005) e pós-graduação em Gestão de Aviação Civil pela Universidade de Brasília (2003). Entre 1989 e 2008 foi Chefe do Laboratório de Ruído Aeronáutico e Emissões de Motores do DAC/ANAC, tendo desenvolvido centenas de estudos sobre poluição sonora e atmosférica oriundas da atividade aeronáutica. Foi representante oficial do Brasil em diversos Fóruns Internacionais sobre meio ambiente promovidos pela Organização de Aviação Civil Internacional OACI - Agência da ONU. Foi Coordenador dos Cursos de Engenharia de Produção, Elétrica, Civil e Mecânica na UNOPAR/PG entre 2013 e 2018. Atualmente é Consultor Independente para a AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL, OACI e INFRAERO. Tem experiência na área de Engenharia Eletrônica, atuando principalmente nos seguintes temas: acústica, meio ambiente e pedagogia (metodologia TRAINAIR/OACI).

Agência Brasileira do ISBN  
ISBN 978-85-7247-066-7

