

# Energia Solar e Eólica 2

Paulo Jayme Pereira Abdala  
(Organizador)

 **Atena**  
Editora

Ano 2019

**Paulo Jayme Pereira Abdala**  
(Organizador)

# Energia Solar e Eólica 2

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 2 [recurso eletrônico] / Organizador Paulo Jayme Pereira Abdala. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2019. – (Energia Solar e Eólica; v. 2)

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-85-7247-067-4

DOI 10.22533/at.ed.674192201

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>
ESTUDO DA VIABILIDADE ECONÔMICA PARA A INSTALAÇÃO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS NOS CAMPI IFG ITUMBIARA E URUAÇU	
Sergio Batista da Silva Olívio Carlos Nascimento Souto Fernando Nunes Belchior Ghunter Paulo Viajante Elias Barbosa Macedo Vera Ferreira Souza	
<b>DOI 10.22533/at.ed.6741922011</b>	
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>24</b>
ESTUDO DE VIABILIDADE PARA IMPLEMENTAÇÃO DE UMA PLANTA FOTOVOLTAICA INTEGRADA EM UM SHOPPING CENTER DE FORTALEZA - CE	
Sofia da Costa Barreto Paulo Cesar Marques de Carvalho	
<b>DOI 10.22533/at.ed.6741922012</b>	
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>41</b>
ESTUDO DO COMPORTAMENTO E QUALIDADE FÍSICO-QUÍMICA DO ABACAXI SECADO EM SECADOR HÍBRIDO SOLAR-ELÉTRICO	
Raphaela Soares da Silva Camelo Juliana Lobo Paes Milena Araujo Silva Madelon Rodrigues Sá Braz Dhiego Santos Cordeiro da Silva Camila Lucas Guimarães	
<b>DOI 10.22533/at.ed.6741922013</b>	
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>54</b>
ESTUDOS TEÓRICOS E EXPERIMENTAIS SOBRE O CUINSE <sub>2</sub> E SUA APLICAÇÃO EM DISPOSITIVOS FOTOVOLTAICOS	
Yuri Hamayano Lopes Ribeiro Denis Gilbert Francis David Marcus Vinícius Santos da Silva Jailton Souza de Almeida	
<b>DOI 10.22533/at.ed.6741922014</b>	
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>66</b>
EXPERIÊNCIA DE CURSO GRATUITO DE INSTALADOR DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE OFERECIDO PELO IFTO CAMPUS PALMAS	
Claudio Silva dos Santos Abimael Ribeiro Martins Adail Pereira Carvalho Brunno Henrique Brito	
<b>DOI 10.22533/at.ed.6741922015</b>	
<b>CAPÍTULO 6</b> .....	<b>78</b>
IMPACTO DA LEI PALMAS SOLAR NA ANÁLISE FINANCEIRA DA MICROGERAÇÃO FOTOVOLTAICA EM PALMAS - TO	
Isamara Quirino de Castro Carlos Brunno Henrique Brito	

Felipe Tozzi Bittencourt  
DOI 10.22533/at.ed.6741922016

**CAPÍTULO 7 ..... 91**

IMPACTOS DOS INCENTIVOS DOS GOVERNOS DO ESTADO E DO MUNICÍPIO NA MICROGERAÇÃO SOLAR FOTOVOLTAICA EM PALMAS - TO

Allan Carlos do Nascimento Silva  
Brunno Henrique Brito

DOI 10.22533/at.ed.6741922017

**CAPÍTULO 8 ..... 104**

IMPLANTAÇÃO E AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE DOIS GERADORES FOTOVOLTAICOS CONECTADOS DIRETAMENTE NO BARRAMENTO C.C. DO LABORATÓRIO DE SISTEMAS HÍBRIDOS/MINIRREDES (GEDAE/UFPA)

Jorge Augusto Leal Corrêa  
Claudomiro Fábio de Oliveira Barbosa  
Marcos André Barros Galhardo  
João Paulo Alves Veríssimo  
Israel Hidai Lobato Lemos  
Edinaldo José da Silva Pereira  
João Tavares Pinho

DOI 10.22533/at.ed.6741922018

**CAPÍTULO 9 ..... 121**

INFLUÊNCIA DA SUJEIRA NA GERAÇÃO FOTOVOLTAICA

Elismar Ramos Barbosa  
Merlim dos Santos Ferreira de Faria  
Fabio de Brito Gontijo

DOI 10.22533/at.ed.6741922019

**CAPÍTULO 10 ..... 132**

INFLUÊNCIA DO ESPECTRO SOLAR EM MÓDULOS FOTOVOLTAICOS SOB CÉU LIMPO, CÉU PARCIALMENTE NUBLADO E CÉU NUBLADO

Guilherme Marques Neves  
Waldeir Amaral Vilela  
Enio Bueno Pereira  
Luiz Angelo Berni

DOI 10.22533/at.ed.67419220110

**CAPÍTULO 11 ..... 146**

INTENSIFICAÇÃO DA TRANSFERÊNCIA DE CALOR EM COLETOR SOLAR DE PLACA PLANA ATRAVÉS DE GERADOR DE VÓRTICE LONGITUDINAL DO TIPO DELTA

Felipe Augusto Santos da Silva  
Leandro Oliveira Salviano

DOI 10.22533/at.ed.67419220111

**CAPÍTULO 12 ..... 161**

METODOLOGIA COMPUTACIONAL DE CONTROLE DE QUALIDADE DE DADOS DE IRRADIÂNCIA SOLAR

Marcus Vinícius Contes Calça  
Matheus Rodrigues Raniero  
Alexandre Dal Pai  
Carlos Roberto Pereira Padovani  
Domingos Mario Zeca Fernando

**CAPÍTULO 13 ..... 174**

PROJETO DE SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA ABRIGOS DE PONTOS DE ÔNIBUS NA AV. ALMIRANTE BARROSO – BELÉM/PA

Ana Laura Pinheiro Ruivo Monteiro  
Edinaldo José da Silva Pereira  
Everton Leandro Santos Amaral  
Ítalo de Sousa  
Magda Tayane Abraão de Brito

**DOI 10.22533/at.ed.67419220113**

**CAPÍTULO 14 ..... 191**

PROJETO PRELIMINAR DE UM RADIÔMETRO ABSOLUTO PARA MEDIR A IRRADIÂNCIA SOLAR TOTAL

Franciele Carlesso  
Jenny Marcela Rodriguez Gomez  
Luiz Angelo Berni  
Graziela da Silva Savonov  
Luis Eduardo Antunes Vieira  
Waldeir Amaral Vilela  
Edson Luiz de Miranda

**DOI 10.22533/at.ed.67419220114**

**CAPÍTULO 15 ..... 200**

PROJETO, DESENVOLVIMENTO E TESTE DE FOGÕES SOLARES

Diego Lopes Coriolano  
Erico Diogo Lima da Silva  
Iraí Tadeu Ferreira de Resende  
Vanina Cardoso Viana Andrade  
Denilson Pereira Gonçalves  
Renan Tavares Figueiredo  
Odésia Leonor Sanchez de Alsina

**DOI 10.22533/at.ed.67419220115**

**CAPÍTULO 16 ..... 213**

PROPOSTA DE RETROFIT NO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO E ESTUDO DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICA EM UM DOS BLOCOS DA UTFPR EM CURITIBA

Larissa Barbosa Krasnhak  
Jair Urbanetz Junior

**DOI 10.22533/at.ed.67419220116**

**CAPÍTULO 17 ..... 229**

PROPOSTA DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA OTIMIZAÇÃO DO GASTO PÚBLICO COM O CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA DE UMA UNIDADE DE ENSINO FEDERAL IMPLANTADA NA REGIÃO DO VALE DO SÃO FRANCISCO

Adriano Moraes da Silva  
Rebeca Lorena Santos Maia e Silva  
Danielle Bandeira de Mello Delgado

**DOI 10.22533/at.ed.67419220117**

**CAPÍTULO 18 ..... 246**

PLATAFORMA PORTÁTIL E DE BAIXO CUSTO PARA A AQUISIÇÃO DA CURVA CARACTERÍSTICA

DE CÉLULAS SOLARES FOTOVOLTAICAS

Júlio César Madureira Silva  
Augusto César da Silva Bezerra  
Claudinei Rezende Calado  
Ana Luiza F. Maia  
Amanda Ribeiro Amorim

**DOI 10.22533/at.ed.67419220118**

**CAPÍTULO 19 ..... 255**

SISTEMA DE AQUISIÇÃO PARA PAINÉIS FOTOVOLTAICOS COM ARMAZENAMENTO DE DADOS EM SERVIDOR REMOTO UTILIZANDO PLATAFORMAS OPEN SOURCE RASPBERRY PI E ARDUINO

José Ilton de Oliveira Filho  
Wilk Coelho Maia

**DOI 10.22533/at.ed.67419220119**

**CAPÍTULO 20 ..... 263**

SUJIDADE DEPOSITADA SOBRE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS INSTALADOS EM GOIÂNIA: MORFOLOGIA E COMPOSIÇÃO QUÍMICA

Pedro Victor Valadares Romanholo  
Bernardo Pinheiro de Alvarenga  
Enes Gonçalves Marra  
Sérgio Pires Pimentel

**DOI 10.22533/at.ed.67419220120**

**CAPÍTULO 21 ..... 275**

TRATAMENTO E ANÁLISE DE DADOS SOLARIMÉTRICOS DA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DA EMC/UFG

Jéssica Alice Alves da Silva  
Bernardo Pinheiro de Alvarenga  
Sérgio Pires Pimentel  
Enes Gonçalves Marra

**DOI 10.22533/at.ed.67419220121**

**CAPÍTULO 22 ..... 290**

TESTES DE SENSIBILIDADE PARA DIFERENTES PARAMETRIZAÇÕES CUMULUS DO MODELO WRF PARA MELHORAR AS ESTIMATIVAS DE VENTO

Lucia Iracema Chipponelli Pinto  
Francisco Jose Lopes de Lima  
Fernando Ramos Martins  
Enio Bueno Pereira

**DOI 10.22533/at.ed.67419220122**

**CAPÍTULO 23 ..... 303**

O ENSINO SOBRE ENERGIAS RENOVÁVEIS NOS CURSOS DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA NAS UNIVERSIDADES BRASILEIRAS

André Barra Neto  
Ana Paula Pinheiro Zago  
Márcia Helena da Silva  
Mirian Sousa Moreira  
José Eduardo Ferreira Lopes

**DOI 10.22533/at.ed.67419220123**

<b>CAPÍTULO 24</b> .....	<b>317</b>
POTENCIALIDADE DO BIOGÁS GERADO PELA CODIGESTÃO ENTRE DEJETO BOVINO E SUÍNO	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Juliana Lobo Paes</li> <li>Camila Ferreira Matos</li> <li>Gabriel Araújo e Silva Ferraz</li> <li>Giancarlo Bruggianesi</li> <li>Camila Kelly de Queiroz</li> <li>Caroline Stephanie Gomes de Castro Soares</li> </ul>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.67419220124</b>	
<b>CAPÍTULO 25</b> .....	<b>333</b>
SIMULAÇÃO DE UMA PLANTA OTEC DE CICLO FECHADO OPERANDO NO BRASIL	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Marcus Godolphim de Castro Neves</li> <li>Hélio Henrique Rivabene Ferreira Dias</li> <li>Cassio Roberto Macedo Maia</li> <li>Ricardo Alan Verdú Ramos</li> </ul>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.67419220125</b>	
<b>CAPÍTULO 26</b> .....	<b>344</b>
ANÁLISE DA PRODUÇÃO DE 24 MESES DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE NO ESTADO DO TOCANTINS	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Brunno Henrique Brito</li> <li>Thálisson Câmara Belém</li> <li>Márcio Serafim de Almeida</li> <li>Felipe Tozzi Bittencourt</li> </ul>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.67419220126</b>	
<b>CAPÍTULO 27</b> .....	<b>359</b>
ESTUDO TECNOLÓGICO DE SISTEMAS DE CULTIVO DE MICROALGAS	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Robson de Souza Santiago</li> <li>Bruno Lindbergh Sousa</li> <li>Yordanka Reyes Cruz</li> <li>Estevão Freire</li> <li>Suely Pereira Freitas</li> <li>Gisel Chenard Díaz</li> </ul>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.67419220127</b>	
<b>CAPÍTULO 28</b> .....	<b>376</b>
INFLUÊNCIA DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS EM AEROPORTOS SOBRE A SEGURANÇA DAS OPERAÇÕES AERONÁUTICAS	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Francisco Wilson Falcão Júnior</li> <li>Paulo Cesar Marques de Carvalho</li> <li>Wilson Cabral de Sousa Júnior</li> </ul>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.67419220128</b>	
<b>SOBRE O ORGANIZADOR</b> .....	<b>390</b>

## IMPLANTAÇÃO E AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE DOIS GERADORES FOTOVOLTAICOS CONECTADOS DIRETAMENTE NO BARRAMENTO C.C. DO LABORATÓRIO DE SISTEMAS HÍBRIDOS/ MINIRREDES (GEDAE/UFPA)

### **Jorge Augusto Leal Corrêa**

Universidade Federal do Pará, Instituto de Tecnologia, Grupo de Estudos e Desenvolvimento de Alternativas Energéticas.  
Belém – PA.

### **Claudio Fábio de Oliveira Barbosa**

Universidade Federal do Pará, Instituto de Tecnologia, Grupo de Estudos e Desenvolvimento de Alternativas Energéticas.  
Belém – PA.

### **Marcos André Barros Galhardo**

Universidade Federal do Pará, Instituto de Tecnologia, Grupo de Estudos e Desenvolvimento de Alternativas Energéticas.  
Belém – PA.

### **João Paulo Alves Veríssimo**

Universidade Federal do Pará, Instituto de Tecnologia, Grupo de Estudos e Desenvolvimento de Alternativas Energéticas.  
Belém – PA.

### **Israel Hidaí Lobato Lemos**

Universidade Federal do Pará, Instituto de Tecnologia, Grupo de Estudos e Desenvolvimento de Alternativas Energéticas.  
Belém – PA.

### **Edinaldo José da Silva Pereira**

Universidade Federal do Pará, Instituto de Tecnologia, Grupo de Estudos e Desenvolvimento de Alternativas Energéticas.  
Belém – PA.

### **João Tavares Pinho**

Universidade Federal do Pará, Instituto de

Tecnologia, Grupo de Estudos e Desenvolvimento de Alternativas Energéticas.  
Belém – PA.

**RESUMO:** Este trabalho discorre sobre o processo de implantação de dois geradores fotovoltaicos conectados ao barramento de 48 Vc.c. do Laboratório de Sistemas Híbridos/Minirredes localizado no Grupo de Estudos e Desenvolvimento de Alternativas Energéticas (GEDAE). Para tanto, são descritos os principais objetivos e componentes do Laboratório. As informações do processo de montagem, instalação e comissionamento dos subsistemas introduzidos são também aqui apresentadas de forma sucinta. Os resultados dos ensaios operacionais mostram a produção, perdas, e eficiências de cada subsistema. Avaliando-se os resultados obtidos, verificam-se alguns valores abaixo do esperado, como, por exemplo, a eficiência dos controladores com valores de aproximadamente 90 % (sob condições de carregamento acima de 20 %) e as *Performance Ratio* dos subsistemas, com valores um pouco abaixo de 80 %. Sombreamentos parciais, tensões de entrada dos controladores de carga e a dispersão de parâmetros entre módulos são alguns fatores que podem justificar tais resultados.

**PALAVRAS-CHAVE:** Sistemas Fotovoltaicos,

**ABSTRACT:** This work discusses the process of implantation of two photovoltaic generators connected to the 48 VDC bus of the Laboratory of Hybrid Systems/Mini-grids located in the Group of Studies and Development of Energy Alternatives (GEDAE). Therefore, the main objectives and components of the Laboratory are described. The information about the process of assembly, installation and commissioning of the introduced subsystems are also briefly described. The results of the operational tests show the production, losses, and efficiency of each subsystem. Evaluating the results obtained, it is verified that there are some values lower than expected, such as the efficiency of the controllers with values of approximately 90 % (under loading conditions above 20 %), and the performance ratio of the subsystem with values a little below 80 %. Partial shading, input voltage of the load controllers and the dispersion of parameters between modules are some factors that may justify such results.

**KEY WORDS:** Photovoltaic Systems, Hybrid Energy Systems, Mini-grids.

## 1 | INTRODUÇÃO

A energia elétrica é um bem indispensável para o processo de desenvolvimento da sociedade e, para isso, deve estar acessível para todos de forma confiável, segura e com qualidade. De acordo com a Agência Internacional de Energia, existem hoje no mundo, cerca de 1,1 bilhão de pessoas sem acesso à energia elétrica (IEA, 2017).

No Brasil, um dos principais motivos da ausência de energia elétrica está relacionado à condição de pobreza, em conjunto com a situação de isolamento geográfico e a baixa densidade populacional, o que é verificado principalmente em vários locais das regiões Norte, Nordeste e Centro Oeste. Deste modo, torna-se economicamente inviável a conexão dessas localidades com a rede convencional de energia elétrica.

Deparando-se com esse problema, outras formas de geração de eletricidade precisam ser exploradas. No campo de abrangência dos sistemas isolados, uma alternativa eficiente são os sistemas híbridos de energia, os quais comumente utilizam as fontes renováveis de energia como, por exemplo, solar fotovoltaica e eólica e, como complementação, grupos geradores a óleo combustível, e realizam a distribuição da energia por intermédio de minirredes.

Entretanto, existe uma carência de profissionais especializados no desenvolvimento de projetos, instalação, comissionamento, monitoração e avaliação de desempenho de sistemas híbridos de energia no Brasil. Além disso, são poucas as informações referentes ao desempenho real de tais sistemas (acompanhamento da operação), o que dificulta uma análise técnica e econômica mais precisa e, conseqüentemente, sua implementação prática.

Com o objetivo de contribuir para a redução desse déficit de profissionais, bem

como difundir as tecnologias alternativas para geração de eletricidade e disseminar o conhecimento sobre energias renováveis, sistemas híbridos e minirredes, este trabalho propõe-se a descrever o processo de implantação de dois geradores fotovoltaicos (GFVs) de 3 kWp cada, conectados diretamente no barramento c.c. de um sistema híbrido fotovoltaico/diesel com armazenamento de energia em baterias e acoplamento c.a. Em termos de operação, o trabalho avalia o desempenho dos geradores fotovoltaicos e dos controladores de carga.

## 2 | IMPLANTAÇÃO DE DOIS GFVS NO LABORATÓRIO DE SISTEMAS HÍBRIDOS DE ENERGIA/MINIRREDES

### 2.1 DESCRIÇÃO DO LABORATÓRIO

A implementação do Laboratório visa promover a pesquisa sobre sistemas fotovoltaicos e sistemas híbridos, através da realização de experimentos e ensaios operacionais, cujos resultados servirão de base para avaliação do desempenho de tais sistemas. O Laboratório possibilita ainda a capacitação de recursos humanos, por intermédio da realização de cursos, treinamentos, palestras, visitas técnicas com demonstrações práticas, tendo como público alvo engenheiros, técnicos, professores e estudantes de ensino superior, técnico e médio.

O Laboratório, implementado no Campus Universitário da Universidade Federal do Pará, Município de Belém, nas dependências do GEDAE, consiste de um conjunto de equipamentos que compõem um sistema elétrico autossuficiente de fornecimento de energia, com ênfase no recurso renovável. Sendo assim, o Laboratório é atualmente composto em sua essência por (Barbosa *et al.*, 2016), (Barbosa *et al.*, 2017) e (Corrêa, 2017):

- Sistema de geração: subdividido em 7 geradores fotovoltaicos (GFV-01, GFV-02, GFV-03, GFV-04, GFV-05, GFV-06 e GFV-07) e 1 grupo gerador diesel (GGD). Os GFVs reunidos possuem uma capacidade nominal de 13,125 kWp; e o GGD têm capacidade nominal de 12 kVA.
- Sistema de condicionamento de potência: composto por 6 inversores de tensão bidirecionais de 4,5 kW cada (INVB-01A, INVB-02A, INVB-03A, INVB-01B, INVB-02B e INVB-03B), resultando em uma capacidade total de 27 kW; 3 inversores de tensão conectados à rede de 700 W cada (INVG-01, INVG-02 e INVG-03); 2 inversores de tensão conectados à rede de 2 kW cada (INVG-04 e INVG-05), totalizando 6,1 kW; e 2 controladores de carga (CCA-01 e CCA-02) conectados respectivamente ao GFV-04 e GFV-05 (somando 6 kWp).
- Sistema de armazenamento: composto por 2 bancos de baterias (BB-01 e

BB-02) com capacidade de 48 kWh cada.

- Quadros de distribuição e comando (QDC): destinados à fácil e segura conexão entre os componentes dos sistemas. Dentre eles: 1 QDC- *Cluster A* (ou *Multicluster Box*), 1 QDC- *Cluster B*, 2 QDC-FV (Quadro de Distribuição e Comando – Fotovoltaica) e 2 *string boxes*.
- Dispositivos de proteção (DP): 21 chaves seccionadoras-fusíveis destinadas à proteção dos equipamentos e à realização segura de manobras ou ações de manutenção; e 10 disjuntores termomagnéticos, sendo 3 tripolares, 4 bipolares e 3 monopolares; 7 DPS c.a. 275V/45 kA e 2 DPS c.c. 600 Vc.c./40kA.
- Minirrede de distribuição (MD): rede de distribuição trifásica, isolada e composta por cabos multiplex de alumínio.
- Cargas elétricas: 11 refletores LED de 20 W cada, 1 carga bifásica programável com capacidade de até 3,6 kW; 1 carga trifásica resistiva com capacidade de dissipação de até 20 kW e o próprio prédio do GEDAE com seus diversos tipos de cargas de iluminação e tomadas/equipamentos.
- Sistema de monitoramento (SM): *data logger*, sensores e gerenciadores de comunicação e controle.
- Chave estática de transferência: chave estática trifásica de transferência automática, com capacidade de 30 kVA.

A Figura 1 apresenta o diagrama esquemático atual dos principais componentes do Laboratório de Sistemas Híbridos/Minirredes. Em seguida é apresentada uma caracterização sucinta dos principais componentes do sistema.

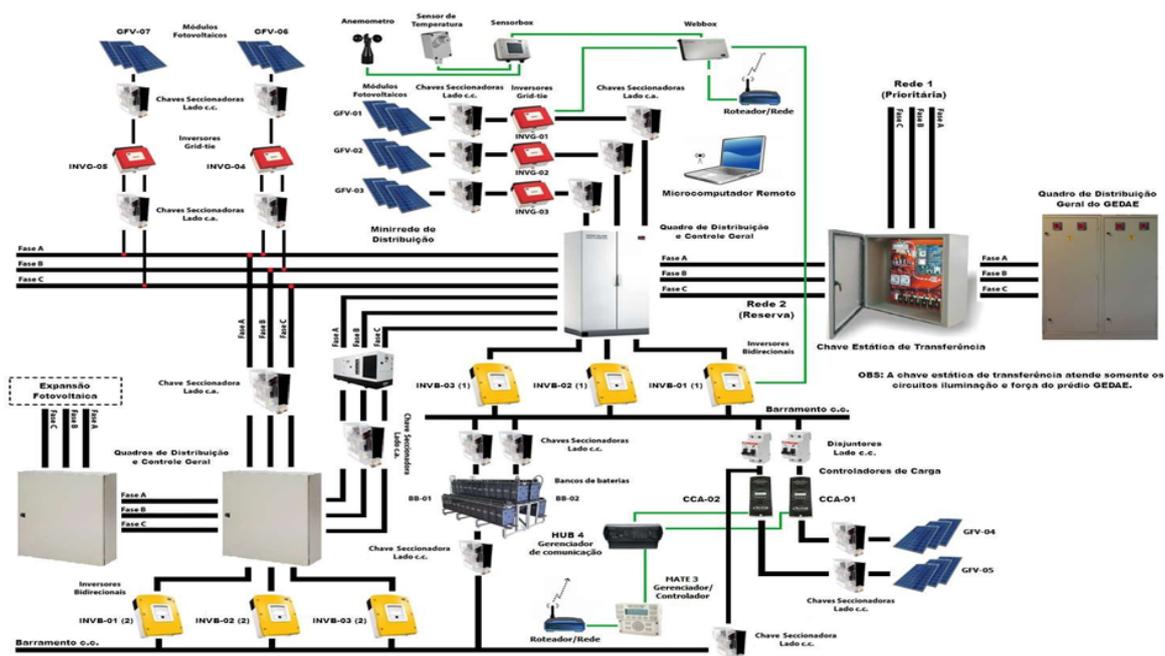


Figura 1 - Diagrama esquemático atual do sistema.

GFV-01 – composto por 5 módulos YL 185 P-23b/ YINGLI conectados em série,

resultando em: 117,5 V (Vmp); 147,5 V (Voc); 7,87 A (Imp); 8,45 A (Isc); 0,925 kWp).

**GFV-02 e GFV-03** – idênticos, compostos cada um por 5 módulos SPR-220-BLK-U/SUNPOWER conectados em série, resultando em: 205 V (Vmp); 243 V (Voc); 5,37 A (Imp); 5,85 A (Isc); 1,1 kWp.

**GFV-04 e GFV-05** – idênticos, compostos cada um por 12 módulos de silício policristalino KD250GH-4FB2/ KYOCERA. Cada gerador é formado pela conexão em paralelo de 3 *strings*, as quais possuem 4 módulos interligados em série, resultando em: 119,2 V (Vmp); 147,6 V (Voc); 25,17 A (Imp); 27,27 A (Isc); 3 kWp.

**GFV-06 e GFV-07** – idênticos, compostos cada um por 8 módulos de silício policristalino KD250GH-4FB2/ KYOCERA conectados em série, resultando em: 238,4 V (Vmp); 295,2 V (Voc); 8,39 A (Imp); 9,09 A (Isc); 2 kWp.

**GGD** – unidade fabricada pela Leon Heimer, sendo cabinada e insonorizada e com potência emergencial (*standby*) 12 kVA; potência contínua (*prime*) de 10 kVA; tensão de 220 V fase-fase; 127 V fase-neutro; fator de potência de 0,8; comando e controle automático e microprocessado.

**INVB-01A, INVB-02A e INVB-03A** – unidades de inversão (modelo 4548-US SMA) de 4,5 kW cada, alocados no *Cluster A*, sendo destinados à formação da minirrede de distribuição de energia (fornecimento de sinal de tensão) para atendimento das cargas elétricas. São utilizados tanto para inverter o sinal de tensão c.c. para c.a (atendimento de cargas típicas), como retificar o sinal de tensão c.a. para c.c (carregamento do banco de baterias).

**INVB-01B, INVB-02B e INVB-03B** – unidades de inversão (modelo 4548-US SMA) de 4,5 kW cada alocados no *Cluster B*, sendo destinados às mesmas funções dos que compõem o *Cluster A*.

**INVG-01, INVG-02 e INVG-03** – unidades de inversão (modelo 700U SMA) de 0,7 kW cada; ao contrário dos INVBs, esses só permitem a conversão de energia em um único sentido, convertendo o sinal de tensão c.c. dos GFVs para c.a, visando à conexão com a minirrede elétrica (atendimento de cargas típicas).

**INVG-04 e INVG-05** – unidades de inversão (modelo 2000HF SMA) de 2 kW cada, possuindo as mesmas funções do modelo 700U SMA.

**CCA-01 e CCA-02** – conversores c.c./c.c. (modelo FlexMax 60), cuja função é gerenciar e controlar o fluxo de energia transportado para as baterias, protegendo-as contra cargas e descargas excessivas.

**BB-01 e BB-02** – idênticos, compostos cada um por 24 baterias (2 Vc.c./1.000 Ah – modelo 17TFS-1000 Fulguris) interligadas em série, totalizando 48 kWh de capacidade (podem ser conectados em paralelo, duplicando a capacidade de armazenamento para 96 kWh).

**QDC-Cluster A** – unidade fabricada pela SMA America (modelo MCB-12U) como um sistema integrado de distribuição c.a. para os INVBs, INVGs e GGD, mantendo conexão com a minirrede que, no caso em questão, é vista pelo QDC como a própria carga. Atende, apenas, um *cluster* (denominado *Cluster A*) com 3 inversores

bidirecionais (INVB-01A, INVB- 02A e INVB-03A) e 3 inversores conectados à rede (INVG-01, INVG-02 e INVG-03).

**QDC-Cluster B** – feito em chapa de aço tratado à base de fosfato de ferro com grau de proteção IP 54 e IK 10. De forma análoga ao QDC-Cluster A, o QDC Cluster B acondiciona as conexões com os inversores bidirecionais (INVB-01B, INVB-02B e INVB-03B), grupo gerador a diesel e a minirrede (cargas).

**QDC-FV** – possui características construtivas semelhantes ao QDC-Cluster B, sendo responsável por alocar a geração fotovoltaica do Cluster B. Outro QDC-FV foi projetado para abrigar os dispositivos de proteção, barramentos e conexões elétricas dos GFV-04 e GFV-05.

**STRING BOXES** – com as mesmas características construtivas dos QDC-FV, destinadas à proteção e seccionamentos dos circuitos do lado c.c. e lado c.a. do GFV-06 e GFV-07.

**MD** – minirrede de distribuição de energia elétrica aérea com cerca de 1 km de comprimento linear, sendo projetada de modo a emular uma rede de distribuição isolada. Para tanto, além da disposição dos 18 postes de concreto armado de 7 m de altura e do cabeamento com cabos multiplexados de alumínio de 35 mm<sup>2</sup> (4 condutores - 3 fases e 1 neutro), com chaves contadoras e auxiliares (em fase de instalação) posicionadas em pontos estratégicos, as quais, dependendo do modo de operação (*ON/OFF*), determinam as diferentes configurações de rede, como longa, curta, anel ou radial.

**SM** - acompanhamento do desempenho do sistema através do uso de sensores e equipamentos de aquisição de dados da SMA e OutBack Power. São estes, o *Sunny SensorBox* (em conjunto com o sensor de irradiância solar, sensor de temperatura da parte posterior do módulo, sensor de temperatura ambiente e anemômetro, é destinado especificamente à aquisição de dados meteorológicos); *Sunny WebBox* (destinado à coleta e disponibilização de informações de operação do INVB-01A (mestre), dos INVG-01, INVG-02 e INVG-03 e do próprio *Sunny SensorBox*). Salienta-se que para energização do *Sunny SensorBox* utiliza-se um dispositivo auxiliar, o *Power Injector*; *MATE3* (responsável por monitorar os parâmetros elétricos dos controladores de carga CCA-01 e CCA-02); e o *HUB4* (gerencia a comunicação de sistemas, permitindo que o *MATE3* e os controladores de carga se conectem e se integrem em um ponto através de cabeamento CAT5). Vale ressaltar que o *Sunny WebBox* e o *MATE3* estão conectados a um computador por meio de um roteador de internet *wireless*.

**CHAVE ESTÁTICA DE TRANSFERÊNCIA** – modelo trifásico de 30 kVA, fabricado pela Amplimag, tem como função manter a carga prioritária alimentada a partir de duas redes de alimentação, sendo, em condições normais, a energia da rede de distribuição da UFPA (entrada 1). Na ausência ou falha de energia desta rede, o Laboratório (entrada 2) de forma automática passar a suprir a demanda das cargas prioritárias do prédio (circuitos de força e iluminação).

As Figuras 2 a 10 apresentam os principais componentes anteriormente

mencionados.



Figura 2 - GFV-01.



Figura 3 - GGD.



Figura 4 - GFV-02 e GFV-03.



Figura 5 - GFV-04 e GFV-05.



Figura 6 - GFV-06 e GFV-07.



Figura 7 - Bancos de baterias.



Figura 8 - MATE3 (Cinza) e HUB4 (preto).



Figura 9 - INVBs (amarelo), CCAs (preto).

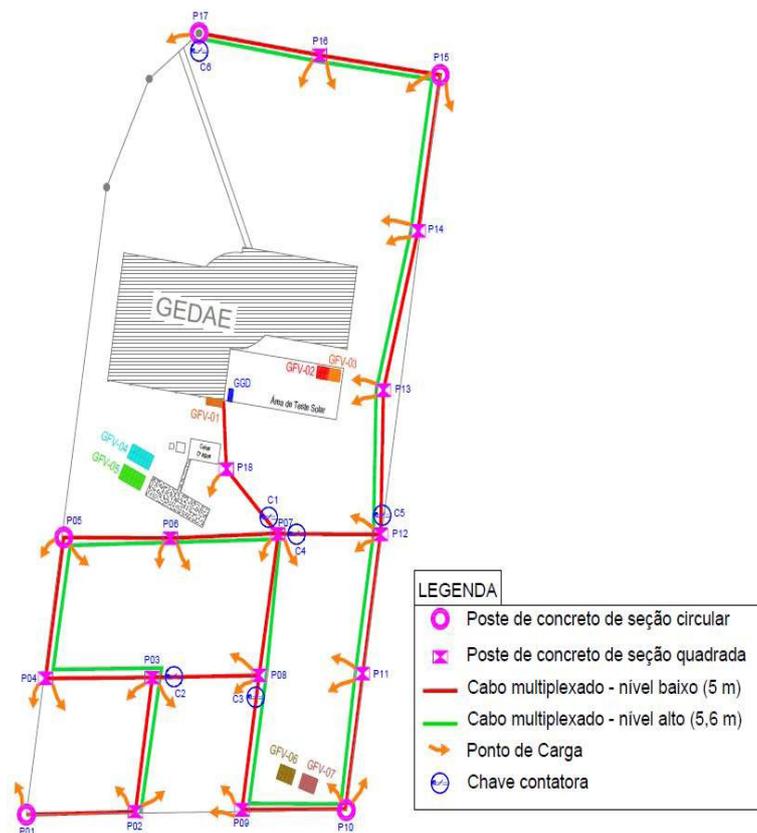


Figura 10 - Croqui da disposição dos geradores e da minirrede de distribuição.

## 2.2 MONTAGEM, INSTALAÇÃO E COMISSONAMENTO DOS GFV-04 E GFV-05

O primeiro passo foi identificar um local adequado para a montagem e instalação dos geradores, onde houvesse área disponível suficiente e não houvesse, em seu entorno, nenhum obstáculo que pudesse sombrear os geradores total ou parcialmente.

Na seleção do local para montagem e instalação dos geradores fotovoltaicos foram considerados: disponibilidade de área; inexistência de obstáculos causadores de sombra sobre a face dos GFVs; proximidade com a sala Central de Energia (CE) do Laboratório. Salienta-se que a sala CE foi escolhida como o espaço para a instalação dos CCAs e do sistema de monitoramento, devido à mesma ser ampla, iluminada, ventilada e protegida de influências climáticas diretas (como chuva e vento forte). Ademais, o referido espaço garante o acesso restrito, bem como a circulação segura de pessoas autorizadas, visando à execução de procedimentos de operação e manutenção. Após a escolha do local, foi elaborado um desenho técnico tridimensional das estruturas de sustentação dos geradores fotovoltaicos, com o intuito de guiar os processos de montagem e instalação das estruturas e de fixação dos módulos nas mesmas.

A fim de obter uma maior durabilidade das estruturas perante as condições climáticas locais, decidiu-se utilizar perfis de alumínio tipo L para a confecção das mesmas, sendo cada uma capaz de acomodar até 12 módulos fotovoltaicos modelo KD250H – Kyocera. Ademais, os elementos de fixação, como parafusos, porcas e arruelas, foram escolhidos em aço inoxidável, pois apresentam ótima resistência à

corrosão e possuem alta durabilidade.

O terreno destinado à construção dos geradores apresenta diversas irregularidades e partes alagadiças em determinados períodos do ano. Portanto, antes do processo de montagem das estruturas na área em questão, necessitou-se construir sapatas isoladas de concreto armado para suportar a carga dos geradores e nivelar horizontalmente as bases das estruturas. Após a concretagem e nivelamento das sapatas foram instalados os pilares das estruturas, as travessas e as demais vigas de sustentação, seguido pela etapa de fixação e conexão dos módulos fotovoltaicos. Vale ressaltar que, em busca de obter um melhor aproveitamento energético dos geradores, os módulos foram orientados para o norte geográfico. Para evitar acúmulos de poeira, folhas ou outros materiais que venham a reduzir a eficiência dos geradores, os módulos foram posicionados com uma inclinação de 12° em relação ao plano horizontal, tendo em vista que, para esta inclinação, as chuvas são capazes de promover a “autolimpeza” dos módulos, retirando boa parte destes materiais de suas superfícies (CRESESB, 2014).

No que diz respeito às conexões elétricas, ambos os geradores são formados por 3 *strings* em paralelo, cada uma com 4 módulos em série. Em cada gerador, os terminais das strings foram conectados a uma chave seccionadora fusível (CSF) instalada dentro do QDC-FV. As saídas das chaves foram conectadas aos barramentos c.c. que, por sua vez, estão conectados aos CCAs.

Em relação ao processo de fabricação do QDC-FV, utilizaram-se barras chatas de cobre para confecção dos barramentos c.c. e foram instaladas duas CSFs, destinadas a proteção e manobra. Para garantir a segurança do operador foi criada uma proteção de acrílico, de modo a impedir o toque acidental nos barramentos energizados. Por fim, o QDC-FV foi fixado em um dos pilares frontais da estrutura de alumínio do GFV-04.

Em seguida, procedeu-se com o aterramento das estruturas, dos módulos e do QDC-FV, de modo a garantir a segurança dos usuários e dos equipamentos em questão. Nesta etapa foram utilizadas 2 hastes de cobre, cada uma para um gerador. Após serem fincadas no solo ao lado de seus respectivos geradores, foram conectadas às estruturas de alumínio. Logo após, foram feitos o aterramento módulo a módulo e o aterramento do QDC-FV.

Os controladores de carga (CCA-01 e CCA-02) foram instalados na sala Central de Energia do GEDAE. Como o fabricante não especificava o espaçamento mínimo necessário para permitir a ventilação durante a operação, os dois CCAs foram instalados lado a lado, porém respeitando a distância mínima requerida pelos outros equipamentos ao redor.

Com relação às conexões elétricas, os condutores que saem dos barramentos c.c. do QDC-FV foram conectados na entrada dos CCAs. O aterramento destes equipamentos foi realizado no barramento “terra” do QDC-Cluster A (*Multicluster*). A saída de cada CCA foi conectada a um disjuntor e, posteriormente, ao barramento

c.c. do banco de baterias. Estes disjuntores foram abrigados dentro de uma caixa termoplástica com tampa transparente, a qual foi fixada na parede, próxima ao barramento c.c. do banco de baterias.

Os equipamentos responsáveis pelo monitoramento das grandezas elétricas do barramento c.c. são o *HUB4* e o *MATE3*. Ambos foram fixados dentro da sala Central de Energia, logo acima dos CCAs e, por fim, foram realizadas as conexões necessárias entre os dispositivos de monitoramento e os CCAs.

Posteriormente, iniciou-se o processo de comissionamento. Tal etapa consistiu na realização de um conjunto de atividades de inspeção e testes mecânicos controlados, com o intuito de verificar se as conexões dos condutores estavam seguras, se os bornes, parafusos e porcas estavam bem apertados, etc. Ademais, realizaram-se testes elétricos, como, por exemplo, o teste de continuidade em toda a extensão dos circuitos, confirmação das polaridades, verificação do aterramento, etc. Com isso, foi possível confirmar que o sistema estava devidamente instalado e apto para funcionar com segurança, garantindo a integridade física do Laboratório e de pessoas que o utilizam. As Figuras 11 a 14 apresentam parte dos procedimentos de montagem, instalação e comissionamento dos equipamentos supracitados.



**Figura 11** - Montagem das estruturas.



**Figura 12** - Instalação dos GFV-04 e GFV-05.



**Figura 13** - QDC-FV.



**Figura 14** - CCA-01 e CCA-02.

## 2.3 ENSAIOS OPERACIONAIS

Para obtenção dos parâmetros elétricos necessários para análise do sistema,

foram realizadas medições *in loco* através de um osciloscópio digital Fluke com exatidão na medição de potência ativa de 3 %, o qual foi conectado na entrada e na saída dos CCAs. Com o auxílio de um computador e do *software FlukeView ScopeMeter* foi possível registrar medições pontuais dos parâmetros elétricos dos CCAs.

Quanto ao registro dos dados, em intervalos de 10 minutos, realizaram-se duas medições consecutivas, sendo uma no CCA-01 e outra no CCA-02. Ao final de cada medição também foram gerados registros das informações de temperatura e irradiância contidas no *Sunny WebBox*.

O ensaio foi realizado durante quatro dias consecutivos (08/09/2017 a 11/09/2017), com seu início às 06h40 e seu término às 18h00. No decorrer do ensaio, utilizou-se uma carga resistiva trifásica de 3,3 kW conectada à minirrede dos sistemas híbridos. Neste caso, a carga trifásica simula uma demanda de potência elétrica ativa fixa na minirrede, o que impediu o carregamento total dos bancos de baterias do sistema.

**Eficiência dos controladores de carga** - Neste ensaio são mostrados gráficos das curvas de eficiência dos CCAs em função da potência de saída normalizada, bem como as perdas de conversão c.c./c.c. em função do carregamento. Vale ressaltar que a potência de saída normalizada é a razão entre a potência de saída medida e potência nominal do controlador, mas, neste caso, adotou-se a potência nominal do GFV.

As Figuras 15 a 26 apresentam, em ordem cronológica, as curvas de eficiência em função da potência normalizada, bem como a variação das perdas em função da potência de saída normalizada.

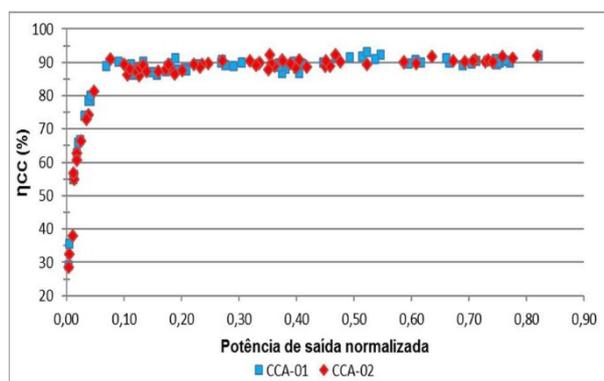


Figura 15 - Curva de eficiência dos CCA (08/08/17).

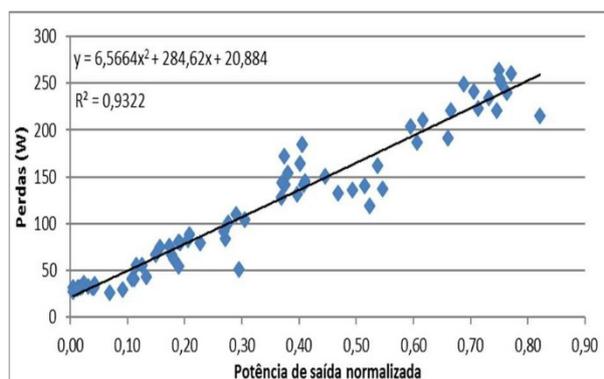


Figura 16 - Perdas de conversão CCA-01 (08/08/17).

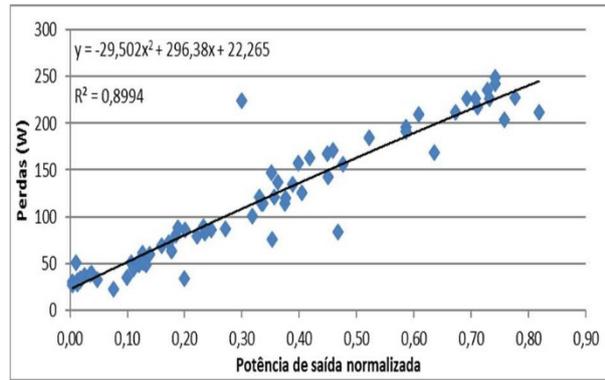


Figura 17 - Perdas de conversão CCA-02 (08/08/17).

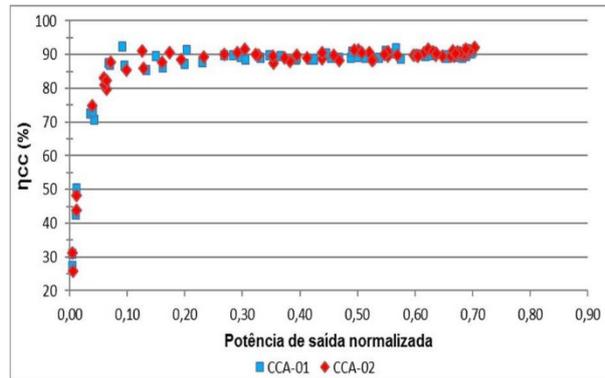


Figura 18 - Curva de eficiência dos CCA (09/08/17).

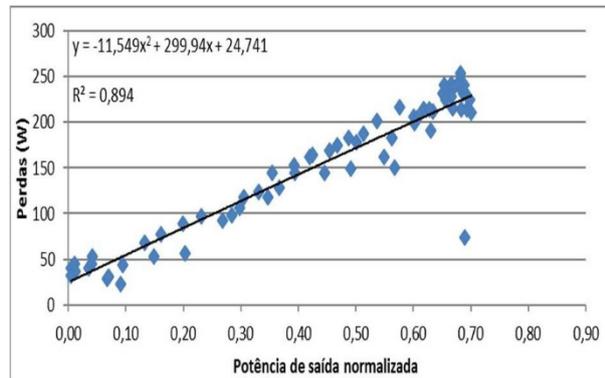


Figura 19 - Perdas de conversão CCA-01 (09/08/17).

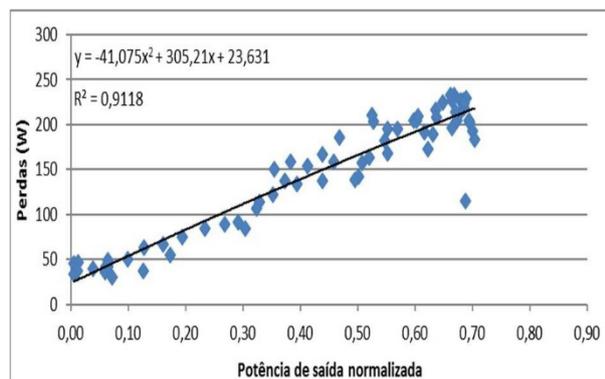


Figura 20 - Perdas de conversão CCA-02 (09/08/17).

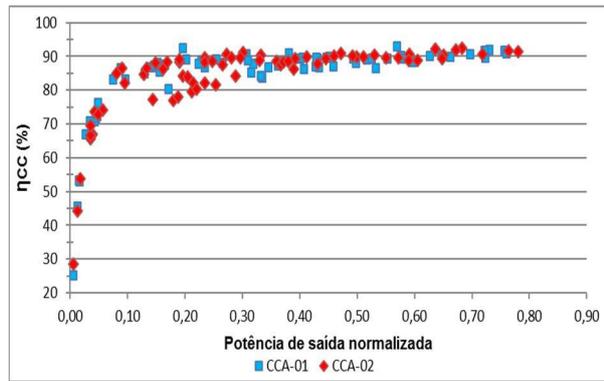


Figura 21 - Curva de eficiência dos CCA (10/08/17).

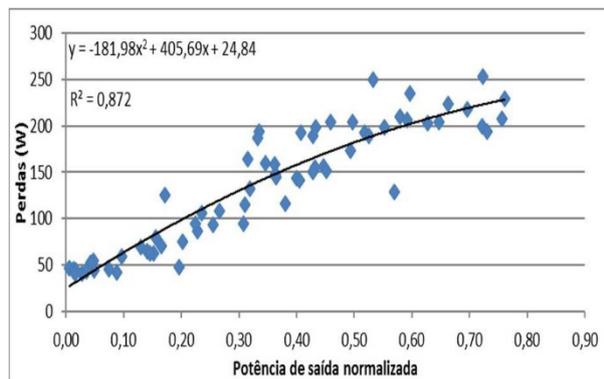


Figura 22 - Perdas de conversão CCA-01 (10/08/17).

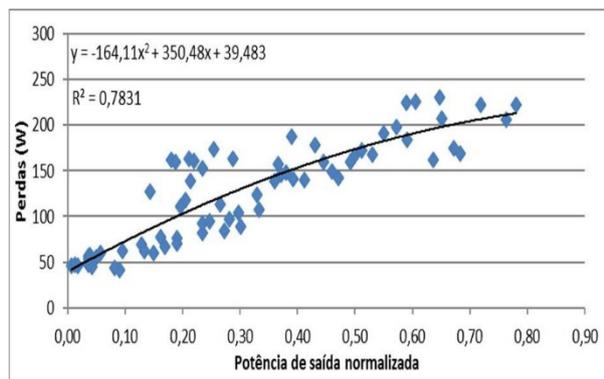


Figura 23 - Perdas de conversão CCA-02 (10/08/17).

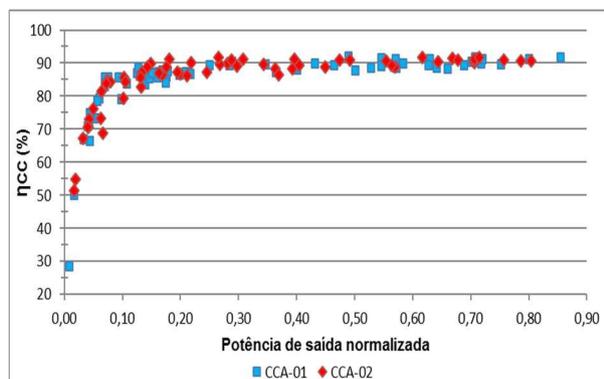


Figura 24 - Curva de eficiência dos CCA (11/08/17).

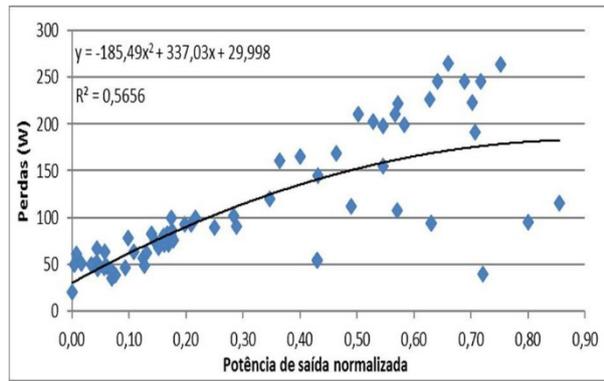


Figura 25 - Perdas de conversão CCA-01 (11/08/17).

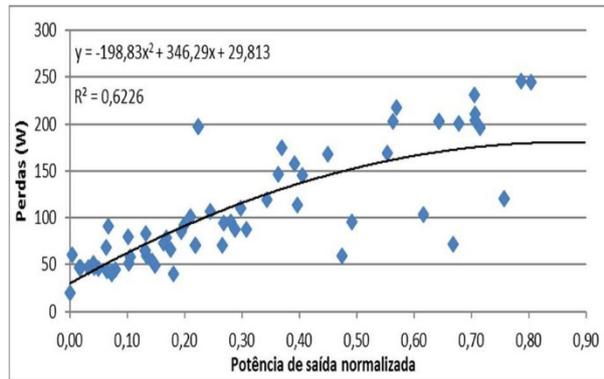


Figura 26 - Perdas de conversão CCA-02 (11/08/17).

Para avaliar a eficiência dos controladores, o fabricante OutBack Power (2013) disponibiliza algumas curvas de eficiência. No caso em questão, a curva escolhida (Figura 27) foi baseada em um sistema com tensão de saída (banco de baterias) igual a 48 V e tensão de entrada (gerador fotovoltaico) constante de 100 V (caso semelhante ao aplicado no Laboratório).

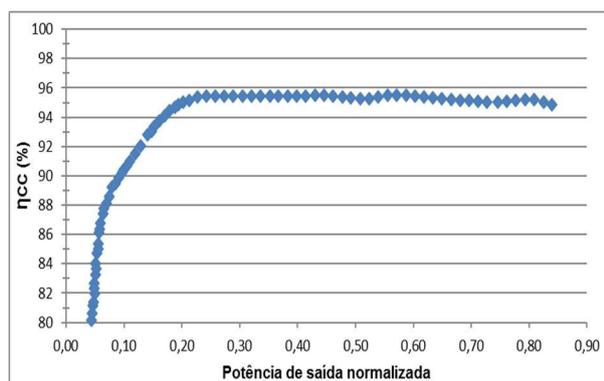


Figura 27 - Curva de eficiência dada pelo fabricante.

De acordo com as curvas de eficiência medidas dos CCAs, é possível observar que as eficiências estabilizam em aproximadamente 90%, que ficou abaixo do valor fornecido pelo fabricante (aproximadamente 95%). Tal resultado era esperado, levando em consideração que a curva de eficiência do fabricante foi realizada em Laboratório, sob as condições padrão de ensaio (STC) e com tensão de entrada do CCA constante.

Os CCAs operam em um ambiente não climatizado artificialmente (sala CE do GEDAE) e em determinados momentos do dia, possivelmente, a temperatura interna dos equipamentos atinge valores superiores a 40 °C, o que pode ser uma das causas de diferença de eficiência encontrada quando comparada com os dados do fabricante. Outra possível causa para essa discrepância de eficiência está relacionada à exatidão dos aparelhos utilizados nas medições.

Com relação às perdas de conversão dos CCAs, constatam-se valores bem diferenciados para cada dia de ensaio. No entanto, para todos os dias analisados, nota-se uma perda superior a 160 W para valores de carregamento acima dos 70 %. Quanto às perdas por autoconsumo, ou seja, estando a potência de saída normalizada igual a zero, correspondem a aproximadamente 30 W. O manual do fabricante não disponibiliza informações a respeito do autoconsumo de operação dos controladores de carga; logo, não foi possível elaborar um comparativo com os valores obtidos.

**Produtividade e perdas por captura dos GFVs** - Neste tópico são apresentadas figuras de mérito comumente empregadas para avaliação de sistemas fotovoltaicos. A Tabela 1 apresenta valores de energia produzida ( $E_p$ ), rendimento global do sistema (PR), produtividade de referência ( $Y_R$ ), produtividade de arranjo ( $Y_A$ ), produtividade final do sistema ( $Y_F$ ), e perdas por captura ( $L_C$ ).

Tabela 1 - Desempenho do sistema: energia produzida ( $E_p$ ), rendimento global do sistema (PR), produtividade de referência ( $Y_R$ ), produtividade de arranjo ( $Y_A$ ), produtividade final do sistema ( $Y_F$ ), e perdas por captura ( $L_C$ ).

Dia	GFV	$E_p$ (kWh)	PR (%)	$Y_R$ (kWh/ kWp/dia)	$Y_A$ (kWh/kWp/ dia)	$Y_F$ (kWh/kWp/dia)	$L_C$ (%)
08/08/17	GFV-04	11,96	73,88	5,39	4,45	3,99	17,54
	GFV-05	11,30	73,57	5,12	4,21	3,77	17,85
09/08/17	GFV-04	15,13	74,50	6,77	5,63	5,04	16,82
	GFV-05	15,13	74,45	6,77	5,61	5,04	17,21
10/08/17	GFV-04	11,80	75,78	5,19	4,44	3,93	14,41
	GFV-05	10,91	70,80	5,14	4,12	3,64	19,75
11/08/17	GFV-04	11,26	77,90	4,82	4,17	3,75	13,46
	GFV-05	10,88	78,60	4,61	4,03	3,63	12,67
Média	GFV-04	12,54	75,51	5,54	4,67	4,18	15,56
	GFV-05	12,06	74,36	5,41	4,49	4,02	16,87

Percebe-se que as médias de produtividade de ambos os geradores foram bem próximas entre si. No entanto, a média de energia produzida, eficiência global e, conseqüentemente, as perdas por captura do GFV-04 (CCA-01) foram melhores em comparação com o GFV-05 (CCA-02). Tal diferença pode ser justificada pela radiação solar disponível no plano de cada GFV no momento da medição (obtenção não simultânea dos dados), a exatidão dos aparelhos utilizados, bem como operação das células fora das condições padrão de ensaio, sombreamentos parciais, dispersão

de parâmetros entre módulos e sujeiras.

Durante o período de medições foram produzidos cerca de 98,3 kWh de energia; gerada pelos dois GFVs. A fim de avaliar a produtividade do sistema, estimou-se a energia dos dois GFVs para os quatro dias de ensaio, resultando em 107,68 kWh. Nota-se que o valor da energia medida obtida ao longo dos ensaios foi bem próximo do valor de energia estimado, o que comprova a efetividade da produção de energia dos geradores.

### 3 | COMENTÁRIOS FINAIS

O Laboratório de Sistemas Híbridos/Minirredes detém um amplo potencial para disseminar estudos, pesquisas e capacitação de profissionais da área de energias renováveis, com enfoque em sistemas fotovoltaicos e sistemas híbridos de energia. No presente trabalho descreveram-se as etapas desde a montagem até os testes operacionais para efetivação de um sistema composto por dois geradores fotovoltaicos conectados diretamente ao barramento c.c. de 48 V.

Os resultados apresentados neste trabalho mostraram que os dois subsistemas inseridos apresentaram um desempenho satisfatório, tendo como base os dados fornecidos pelos fabricantes dos equipamentos e as figuras de mérito utilizadas. Entretanto, alguns resultados apresentaram valores abaixo do esperado, como, por exemplo, a eficiência dos controladores, que apresentaram valores de aproximadamente 90 % (sob condições de carregamento acima de 20 %) e a *Performance Ratio* dos subsistemas, que abrangeram valores um pouco abaixo de 80 %. Contudo, conforme foi descrito, constataram-se diversos fatores que podem justificar os resultados obtidos, como, por exemplo, exatidão dos aparelhos utilizados nas medições, bem como a operação do subsistema fora das condições padrão de teste, sombreamentos parciais, tensão de entrada do CCA e dispersão de parâmetros entre módulos.

### 4 | AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio do CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) para a realização do presente trabalho, no âmbito do projeto “Estudo de Minirredes Inteligentes Aplicadas a Sistemas Isolados e Interconectados”, aprovado na Chamada MCTI/CNPq/CT-ENERG N° 33/2013 – Tecnologia em *Smart Grids*.

### REFERÊNCIAS

BARBOSA, C. F. O., CORRÊA, J. A. L., VERÍSSIMO, J. P. A., LEMOS, I. H. L., GALHARDO, M. A. B., PEREIRA, E. J. S., PINHO, J. T., MANITO, A. R. A. **Laboratory of Hybrid Systems and Mini-Grids.**

33rd European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Amsterdam, Holanda, 2017.

BARBOSA, C. F. O., VERÍSSIMO, P. H. A., PINHO, J. T., CORRÊA, J. A. L., GALHARDO, M. A. B. **Laboratório de Sistemas Híbridos de Energia e Minirredes (Implementação e Ensaios Operacionais)**. VI CBENS – VI Congresso Brasileiro de Energia Solar, Belo Horizonte, 2016.

CORRÊA, J. A. L. **Implantação e Avaliação de Desempenho de Dois Geradores Fotovoltaicos Conectados Diretamente no Barramento c.c. de um Sistema Híbrido de Energia**. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal do Pará, 2017.

CRESESB – Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito. Grupo de Trabalho de Energia Solar – GTES. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. Rio de Janeiro, 2004.

IEA (International Energy Agency). **World Energy Outlook Special Report**. OECD/IEA, Paris, 2017.

OUTBACK POWER. **Owner's Manual: FLEXmax Series Charge Controllers (FLEXmax 80, FLEXmax 60)**, Version C. Arlington, Washington, USA, 2013.

## **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 978-85-7247-067-4



9 788572 470674