

# 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	
Raphaella 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>

## ANÁLISE HARMÔNICA NOS INVERSORES FOTOVOLTAICOS DE UMA MICROGERAÇÃO FOTOVOLTAICA

**Alessandro Bogila**

Facens - Faculdade de Engenharia de Sorocaba

Sorocaba – São Paulo

**Joel Rocha Pinto**

Facens - Faculdade de Engenharia de Sorocaba

Sorocaba – São Paulo

**Thales Prini Franchi**

Facens - Faculdade de Engenharia de Sorocaba

Sorocaba – São Paulo

**Thiago Prini Franchi**

Facens - Faculdade de Engenharia de Sorocaba

Sorocaba – São Paulo

**RESUMO:** Este artigo apresenta um estudo sobre qualidade da energia elétrica na micro usina fotovoltaica do Campus da Facens. As análises se concentram nas distorções harmônicas das correntes e tensões no sistema composto por quatro inversores fotovoltaicos (Fronius), com as respectivas potências de 20 kW; 17,5 kW; 15 kW e 12,5 kW, totalizando 64 kW. Estes inversores fotovoltaicos são responsáveis pela transformação da energia em corrente contínua (CC), que é gerada pelos painéis fotovoltaicos, em energia de corrente alternada (CA) para ser acoplada na rede de distribuição do Campus da Facens. Esta micro usina de geração fotovoltaica é on-

grid e é composta por uma parte com sistema fixo e uma parte com sistema móvel, através de um rastreador solar. A potência total do sistema é 64 kWp, sendo 10 kWp do sistema advindo do rastreador solar e o restante do sistema fixo. A energia gerada pelo sistema fotovoltaico representa aproximadamente 15% do consumo total da conta de energia elétrica da Facens. Para o desenvolvimento do estudo, foi instalado um medidor de qualidade da energia elétrica do fabricante Fluke (438-II), permitindo analisar o comportamento harmônico das correntes e tensões de forma individualizada nos inversores fotovoltaicos e no computo total da micro usina. O estudo tem o propósito de verificar se está havendo injeção de correntes e tensões distorcidas na rede de distribuição, além dos valores pré-estabelecidos pelas regulamentações vigentes. Serão apresentadas as análises do conteúdo harmônico total e também das frequências harmônicas individuais que mais se destacaram em termos de amplitude.

**PALAVRAS-CHAVE:** Energia Fotovoltaica, Inversor Fotovoltaico, Qualidade da Energia Elétrica.

**ABSTRACT:** This paper presents a research about the quality of electric power in photovoltaic micro power plant at Facens. The analysis focuses on the harmonic distortions of currents

and voltages in the system composed by four photovoltaic inverters (Fronius), with respective powers of 20 kW; 17.5 kW; 15 kW and 12.5 kW, figuring up 64 kW. These inverters are responsible for transforming the energy produced in Direct Current (DC), which was generated by photovoltaic panels, into AC power to be coupled to the distribution network at Facens. This photovoltaic micro power plant is on-grid and is composed by a part in a fixed system and a part in a mobile system known as Tracker. The total power of the system is 64 kWp, from which 10 kWp from the Tracker system and the rest from the fixed system. The energy generated by the photovoltaic system represents approximately 15% of the total electricity consumption invoice of Facens. For the development of the study, an electric power quality meter of Fluke 438-II model was installed, allowing the analyses of the harmonic behavior of the currents and voltages in an individualized way in the inverters and in the total reckoning of the micro power plant. The study aims at verifying if there is an injection of distorted currents and voltages in the distribution network, above the values established by the regulatory norms. The analyses of the total harmonic content are shown and also the individual harmonic frequencies that are the most outstanding in terms of amplitude.

**KEYWORDS:** Photovoltaic Energy, Photovoltaic Inverter, Electric Power Quality.

## 1 | INTRODUÇÃO

Os sistemas fotovoltaicos de uma microgeração diretamente conectados à rede elétrica da concessionária permitem que parte da geração de energia elétrica seja disponibilizada para a instalação elétrica em questão e o excedente seja devolvido para a concessionária local. A medição do excedente é feita por um relógio bidirecional (ANEEL – Micro e Minigeração Distribuída, 2016).

O elemento responsável pela conversão da energia elétrica contínua, proveniente dos módulos fotovoltaicos, em energia elétrica alternada, com as características ideais de amplitude e frequência, para ser entregue no ponto de conexão da concessionária, são os inversores fotovoltaicos (Macêdo, 2015). No entanto, com o crescente aumento das instalações fotovoltaicas torna-se necessário verificar a qualidade da energia elétrica que os inversores fotovoltaicos estão produzindo. Uma vez que os mesmos podem gerar índices de harmônicos na rede elétrica e causar grandes impactos na qualidade da energia elétrica (Fortes, 2017). Toda conexão de micro e minigeração distribuída deverá atender os requisitos explicitados nas regulamentações da Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL (ANEEL – Resolução 687, 2015; ANEEL – PRODIST- Módulo 8 – Qualidade da Energia Elétrica, 2017).

Em relação aos painéis fotovoltaicos integrados, os principais distúrbios causados que serão analisados nesse artigo são:

## ***Distorção harmônica***

A qualidade da energia elétrica pode ser afetada quando suas formas de onda das correntes e tensões em relação à onda senoidal da frequência fundamental apresentam deformações. As distorções harmônicas são fenômenos associados a essas deformações. A Tab. 1 apresenta a terminologia aplicável ao cálculo das distorções harmônicas, segundo o Módulo 8 do PRODIST (ANEEL – PRODIST- Módulo 8 – Qualidade da Energia Elétrica, 2017). O valor de referência para a distorção harmônica total de tensão, de acordo com o Módulo 8 do PRODIST pode ser visualizado pela Tab. 2 (ANEEL – PRODIST- Módulo 8 – Qualidade da Energia Elétrica, 2017).

<b>Identificação da Grandeza</b>	<b>Símbolo</b>
Distorção harmônica individual de tensão de ordem h	DTT <sub>h</sub> %
Distorção harmônica total de tensão	DTT%
Distorção harmônica total de tensão para as componentes pares não múltiplas de 3	DTT <sub>P</sub> %
Distorção harmônica total de tensão para as componentes ímpares não múltiplas de 3	DTT <sub>I</sub> %
Distorção harmônica total de tensão para as componentes múltiplas de 3	DTT <sub>3</sub> %
Tensão harmônica de ordem h	V <sub>h</sub>
Ordem harmônica	h
Ordem harmônica máxima	h <sub>máx</sub>
Ordem harmônica mínima	h <sub>mín</sub>
Tensão fundamental medida	V <sub>1</sub>
Valor do indicador DTT% que foi superado em apenas 5 % das 1008 leituras válidas	DTT <sub>95</sub> %
Valor do indicador DTT <sub>P</sub> % que foi superado em apenas 5 % das 1008 leituras válidas	DTT <sub>P,95</sub> %
Valor do indicador DTT <sub>I</sub> % que foi superado em apenas 5 % das 1008 leituras válidas	DTT <sub>I,95</sub> %
Valor do indicador DTT <sub>3</sub> % que foi superado em apenas 5 % das 1008 leituras válidas	DTT <sub>3,95</sub> %

**Tabela 1** – Terminologia das distorções harmônicas segundo o Módulo 8 do PRODIST.

Fonte: Módulo 8 – PRODIST.

<b>Indicador</b>	<b>Tensão nominal</b>		
	<b>V<sub>n</sub> ≤ 1,0 kV</b>	<b>1,0 kV &lt; V<sub>n</sub> &lt; 69 kV</b>	<b>69 kV ≤ V<sub>n</sub> &lt; 230kV</b>
DTT <sub>95</sub> %	10,0%	8,0%	5,0%
DTT <sub>P,95</sub> %	2,5%	2,0%	1,0%
DTT <sub>I,95</sub> %	7,5%	6,0%	4,0%
DTT <sub>3,95</sub> %	6,5%	5,0%	3,0%

**Tabela 2** – Valores de referência para a distorção harmônica total de tensão.

Fonte: Módulo 8 – PRODIST.

## ***Variação de frequência***

A fonte geradora de energia elétrica que será conectada à rede elétrica deverá

operar em condições normais na faixa de frequência de 59,9 a 60,1 Hz. Se ocorrer um distúrbio no sistema de distribuição a fonte geradora poderá operar na faixa de 59,5 a 60,5 Hz para recuperação do equilíbrio carga-geração e terá 30 segundos para deixar esta faixa e também atender os seguintes quesitos conforme o módulo 8 do PRODIST (ANEEL – PRODIST- Módulo 8 – Qualidade da Energia Elétrica, 2017):

- a) não pode exceder 66 Hz ou ser inferior a 56,5 Hz em condições extremas;
- b) pode permanecer acima de 62 Hz por no máximo 30 (trinta) segundos e acima de 63,5 Hz por no máximo 10 (dez) segundos;
- c) pode permanecer abaixo de 58,5 Hz por no máximo 10 (dez) segundos e abaixo de 57,5 Hz por no máximo 05 (cinco) segundos.

## 2 | EQUIPAMENTOS E METODOLOGIA

Para o desenvolvimento do estudo, foi instalado um medidor de qualidade da energia elétrica do fabricante Fluke, modelo Fluke 438-II, permitindo analisar o comportamento harmônico das correntes e tensões de forma individualizada nos inversores fotovoltaicos e no computo total da micro usina. A Fig. 1 indica no diagrama unifilar os pontos onde o medidor fora instalado. É importante salientar que o medidor utilizado atende os requisitos previstos no módulo 8 do PRODIST no que refere a: possuir classe de exatidão de 0,1% de tensão e de 0,5% para a corrente, taxa amostral de 500 amostras por ciclo e conversor analógico digital de 16 Bits (ANEEL – PRODIST- Módulo 8 – Qualidade da Energia Elétrica, 2017; Silva, 2014).

As grandezas principais medidas foram registradas em intervalos de integração de um minuto: frequência, tensão, corrente, distorção harmônica total de tensão (DHT-V), distorções harmônicas individuais de tensão e corrente (pares até 50<sup>a</sup> e ímpares até a 49<sup>a</sup>), distorção harmônica total de corrente (DHT-I) com os respectivos ângulos de fase e outros indicadores de qualidade da energia.

O procedimento para efetuar as medições também segue os requisitos definidos no Módulo 8 do PRODIST que compreendem (ANEEL – PRODIST- Módulo 8 – Qualidade da Energia Elétrica, 2017):

- O conjunto de leituras para gerar os indicadores individuais deve compreender o registro de 1008 (mil e oito) leituras válidas obtidas em intervalos consecutivos (período de integralização) de 10 minutos cada.

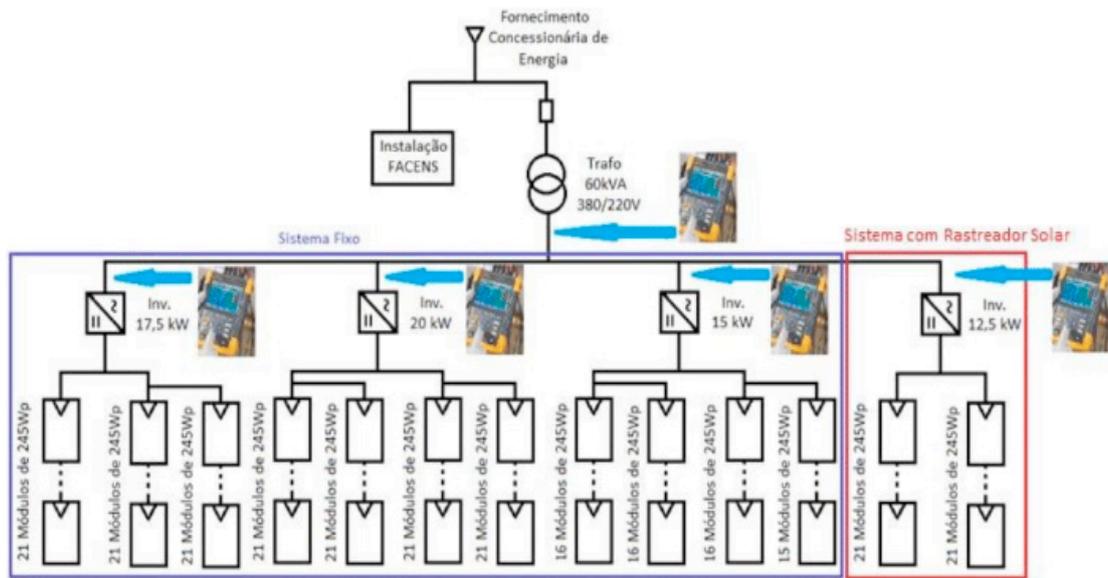


Figura 1 – Diagrama unifilar da micro usina e os pontos de medições.

Através das medições, os estudos das análises se concentraram no perfil de tensão, frequência, distorção harmônica total e individual de tensão e distorção harmônica total e individual de corrente. Tais análises visam a verificação dos índices de qualidade da energia elétrica da micro usina fotovoltaica em conformidade com o Módulo 8 do PRODIST e da norma IEEE Std 519-2014 referente a distorção harmônica de corrente, sendo os valores de referência da distorção de demanda total (TDD) conforme a relação da corrente de curto-circuito pela corrente de demanda da carga, na frequência fundamental no Ponto de Acoplamento Comum (PAC) da Rede, apresentados na Tab. 3 (IEEE Std 519-2014; IEEE 1159-1992).

A conexão da micro usina fotovoltaica com a rede no Campus da Facens, apresenta uma corrente de curto-circuito de 7,57 kA, com isso a relação  $I_{sc}/I_L$  no PAC é de 78, o que é evidenciado na Tab. 3 (IEEE Std 519-2014).

Maximum harmonic current distortion in percent of $I_L$ Current distortion limits for systems rated 120 V through 69 kV						
Individual harmonic order (odd harmonics) <sup>a, b</sup>						
$I_{sc}/I_L$	$3 \leq h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h \leq 50$	TDD
$< 20^c$	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
$20 < 50$	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
$50 < 100$	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
$100 < 1000$	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
$> 1000$	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0

<sup>a</sup>Even harmonics are limited to 25% of the odd harmonic limits above.

<sup>b</sup>Current distortions that result in a dc offset, e.g., half-wave converters, are not allowed.

<sup>c</sup>All power generation equipment is limited to these values of current distortion, regardless of actual  $I_{sc}/I_L$ .

where

$I_{sc}$  = maximum short-circuit current at PCC

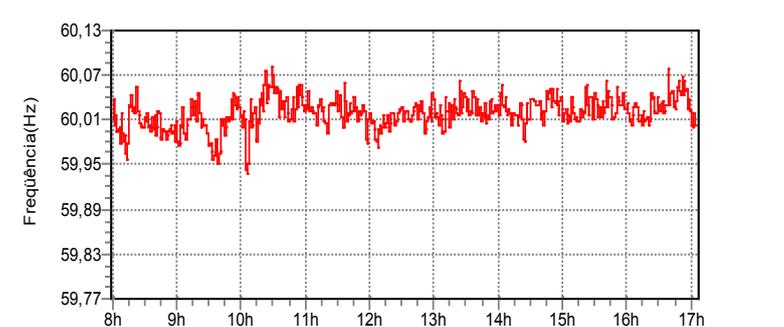
$I_L$  = maximum demand load current (fundamental frequency component) at the PCC under normal load operating conditions

### 3 | RESULTADOS OBTIDOS

Através das medições e do software Power Log 5.3 obteve-se as figuras para o norteamento das análises da qualidade da energia elétrica da micro usina fotovoltaica do Campus da Facens (STAROSTA, 2015). Na sequência serão apresentados os resultados obtidos de cada inversor fotovoltaico individualmente e de todos os inversores funcionando ao mesmo tempo.

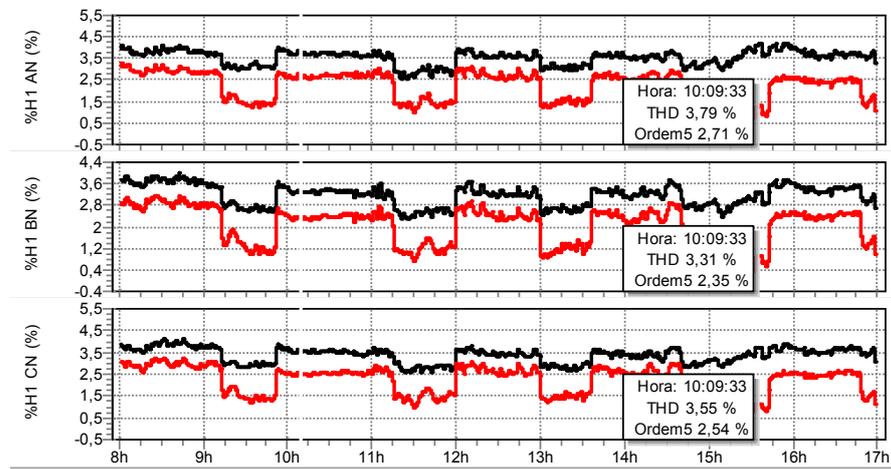
#### 3.1 Análises do inversor fotovoltaico de 20 kW

A Fig. 2 mostra a frequência da rede registrada pelo inversor fotovoltaico de 20 kW. Nota-se que a frequência da rede é praticamente 60 Hz, garantindo o acoplamento desse e dos demais inversores fotovoltaicos na rede.

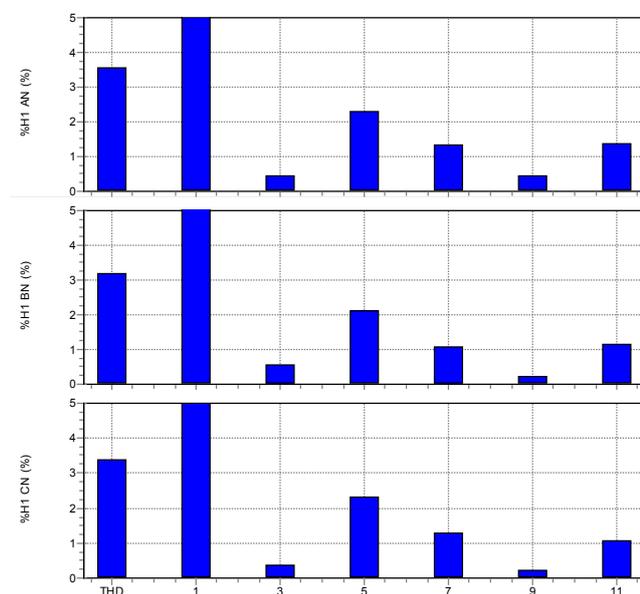


**Figura 2** – Frequência da rede registrada pelo inversor de 20 kW no dia 16/11/2017.

A Fig. 3 apresenta o comportamento temporal da distorção harmônica total de tensão e a distorção harmônica de tensão de 5ª ordem, sendo possível verificar que a maior contribuição da distorção harmônica total de tensão é proveniente em grande parte pela 5ª harmônica. A Fig. 4 mostra o histograma da DHT-V e das distorções harmônicas individuais de tensão, corroborando com a Fig. 3 e atendendo os valores de referência do Módulo 8 do PRODIST.



**Figura 3** – Comportamento temporal da distorção harmônica total de tensão (em preto) e a distorção harmônica de tensão de 5ª ordem (em vermelho) do inversor fotovoltaico de 20 kW obtido no dia 16/11/2017.



**Figura 4** – Histograma da DHT-V e das distorções harmônicas individuais de tensão do inversor fotovoltaico de 20 kW no dia 16/11/2017.

A Fig. 5 e a Fig. 6 evidenciam o atendimento do índice da DHT-V com os valores de referência do Módulo 8 do PRODIST, tanto no horário da geração máxima às 12h15 quanto no horário da mínima geração às 17h05, diferentemente do que se contata na distorção harmônica total de corrente DHT-I, pois no período de menor geração a corrente fundamental é menor, o que traduz o maior índice da DHT-I no horário das 17h05. E mesmo quando o índice DHT-I é menor, na melhor condição de geração, o mesmo não atende na plenitude os limites de valores para distorção de corrente, conforme mostra a Tab. 3.

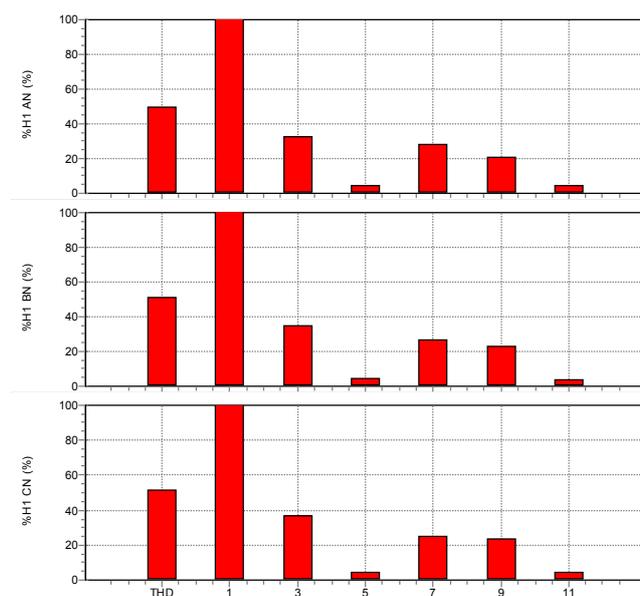
A Fig. 7 mostra o histograma da DHT-I e das distorções harmônicas individuais de corrente com valores acima dos limites de distorção de corrente conforme mostra a Tab. 3, principalmente para a 3ª harmônica de corrente.

Data	Função	AN(V) / A(A) Méd.	BN(V) / B(A) Méd.	CN(V) / C(A) Méd.
16/11/2017 12:15:33 484msec	Tensão Fundamental	229,9 V (f)	229,3 V (f)	230,2 V (f)
16/11/2017 12:15:33 484msec	Corrente Fundamental	25,4 A (f)	25,6 A (f)	25,8 A (f)
16/11/2017 12:15:33 484msec	Tensão Phi	0 °	-119,92 °	-239,98 °
16/11/2017 12:15:33 484msec	Corrente Phi	-180,54 °	-60,86 °	-300,9 °
16/11/2017 12:15:33 484msec	THD V	3,63 % (f)	3,25 % (f)	3,56 % (f)
16/11/2017 12:15:33 484msec	THD A	29,65 % (f)	31,1 % (f)	30,23 % (f)
16/11/2017 12:15:33 484msec	Frequência	59,988 Hz (f)		

**Figura 5** – Distorção harmônica total da tensão e da corrente do inversor fotovoltaico de 20 kW no dia 16/11/2017 às 12h15.

Data	Função	AN(V) / A(A) Méd.	BN(V) / B(A) Méd.	CN(V) / C(A) Méd.
16/11/2017 17:05:33 484msec	Tensão Fundamental	219,4 V (f)	219,3 V (f)	219,9 V (f)
16/11/2017 17:05:33 484msec	Corrente Fundamental	4,4 A (f)	4,8 A (f)	4,4 A (f)
16/11/2017 17:05:33 484msec	Tensão Phi	0 °	-119,76 °	-239,74 °
16/11/2017 17:05:33 484msec	Corrente Phi	-175,24 °	-151,52 °	-210,68 °
16/11/2017 17:05:33 484msec	THD V	3,21 % (f)	2,69 % (f)	3,05 % (f)
16/11/2017 17:05:33 484msec	THD A	327,67 % (f)	157,29 % (f)	327,67 % (f)
16/11/2017 17:05:33 484msec	Frequência	59,991 Hz (f)		

**Figura 6** – Distorção harmônica total da tensão e da corrente do inversor fotovoltaico de 20 kW no dia 16/11/2017 às 17h05.

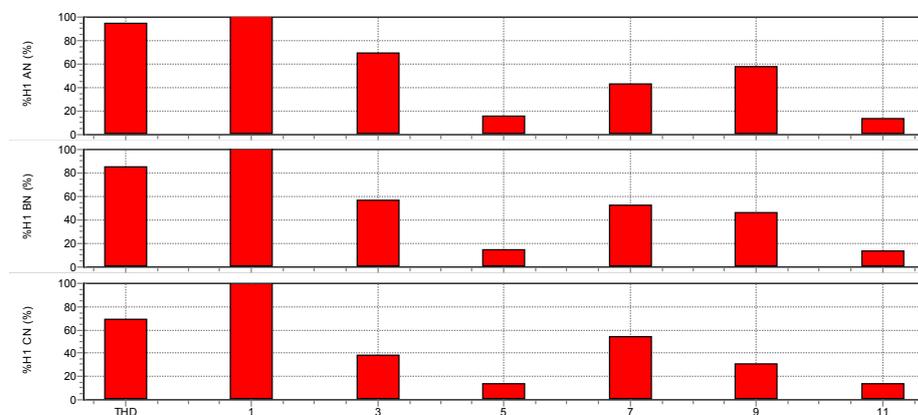


**Figura 7** – Histograma da DHT-I e das distorções harmônicas individuais de corrente do inversor fotovoltaico de 20 kW no dia 16/11/2017.

### 3.2 Análises do inversor fotovoltaico de 17,5 kW

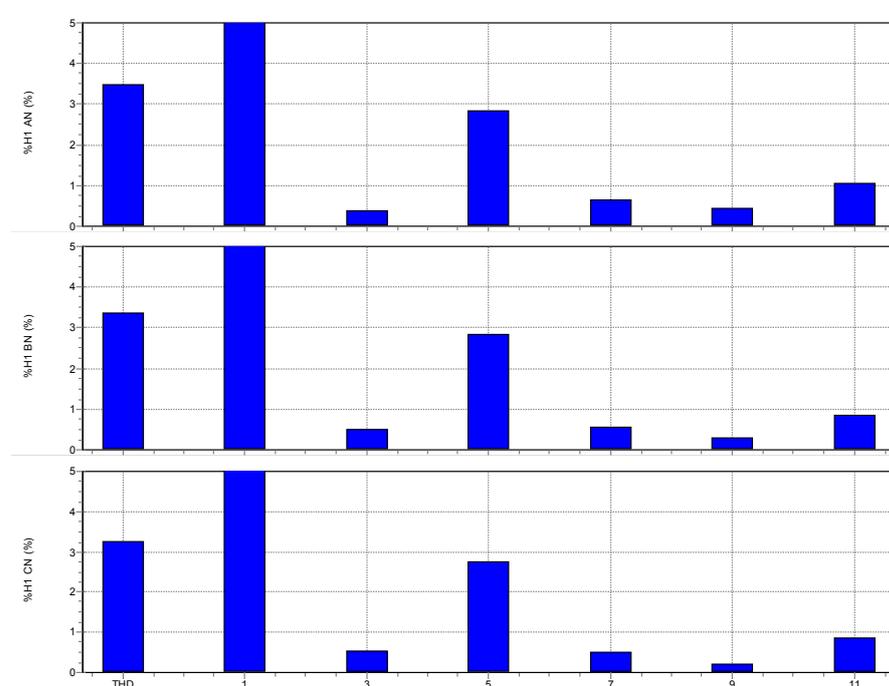
A análise do inversor fotovoltaico de 17,5 kW será feita através de histograma de tensão e corrente para verificar as distorções harmônicas geradas pelo inversor fotovoltaico. Também serão apresentadas na Tab. 4 as medições em alguns instantes de tempo para verificar o comportamento instantâneo da geração de energia elétrica. Da mesma maneira serão feitas as análises para os inversores de 15 kW e 12,5 kW.

A Fig. 8 mostra o histograma das distorções harmônicas de corrente do inversor fotovoltaico de 17,5 kW. Os valores variam de acordo com a seleção da amostragem do período de medições. Este histograma contém valores do dia 01/11/2017, das 7h às 18h. Nota-se através do histograma da DHT-I e das distorções harmônicas individuais de corrente que os valores estão acima dos limites de distorção de corrente, conforme mostra a Tab. 3.



**Figura 8** – Histograma da DHT-I e das distorções harmônicas individuais de corrente do inversor fotovoltaico de 17,5 kW no dia 01/11/2017.

A Fig. 9 mostra o histograma das distorções harmônicas de tensão do inversor fotovoltaico de 17,5 kW. Nota-se que as distorções harmônicas de tensão estão abaixo de 3%.



**Figura 9** – Histograma da DHT-V e das distorções harmônicas individuais de tensão do inversor de 17,5 kW no dia 01/11/2017.

A Tab. 4 apresenta os valores das distorções harmônicas pontuais para verificar o comportamento instantâneo. Os horários escolhidos têm objetivo de mostrar a

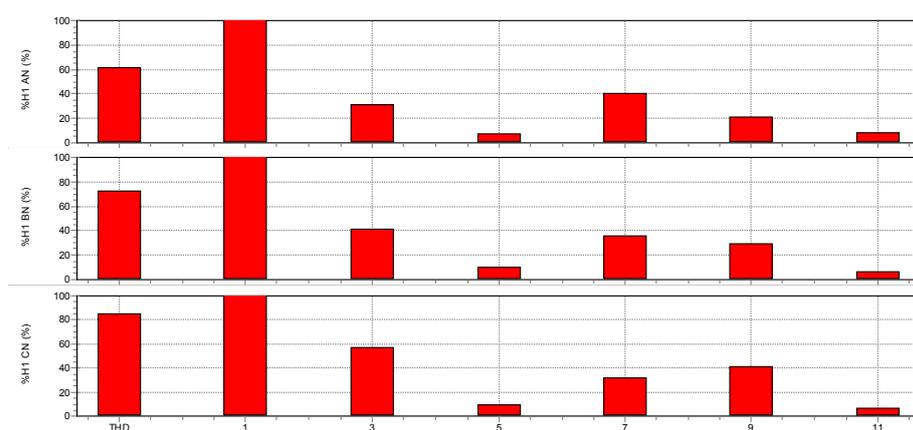
variação da intensidade solar. Nota-se que os valores das DHT-I têm valores bastante elevados. No entanto, a tensão apresenta valores de acordo com as regulamentações vigentes, independente do horário de geração de energia elétrica.

Data	Hora	I (A)	DHT-I – a (%)	DHT-I – b (%)	DHT-I – c (%)	DHT-V-a (%)	DHT-V-b (%)	DHT-V-c (%)
01/11/17	09h00	10,2	167,31	128,83	111,43	3,13	3,38	3,17
01/11/17	12h51	26,2	102,51	88,81	69,17	3,52	3,37	3,21
01/11/17	15h00	18,6	126,25	96,45	72,58	3,62	3,53	3,39
01/11/17	17h01	7,40	78,51	80,04	62,21	4,07	4,08	3,92

**Tabela 4** – Valores de DHT-V e DHT-I em função da corrente fundamental do inversor fotovoltaico de 17,5 kW.

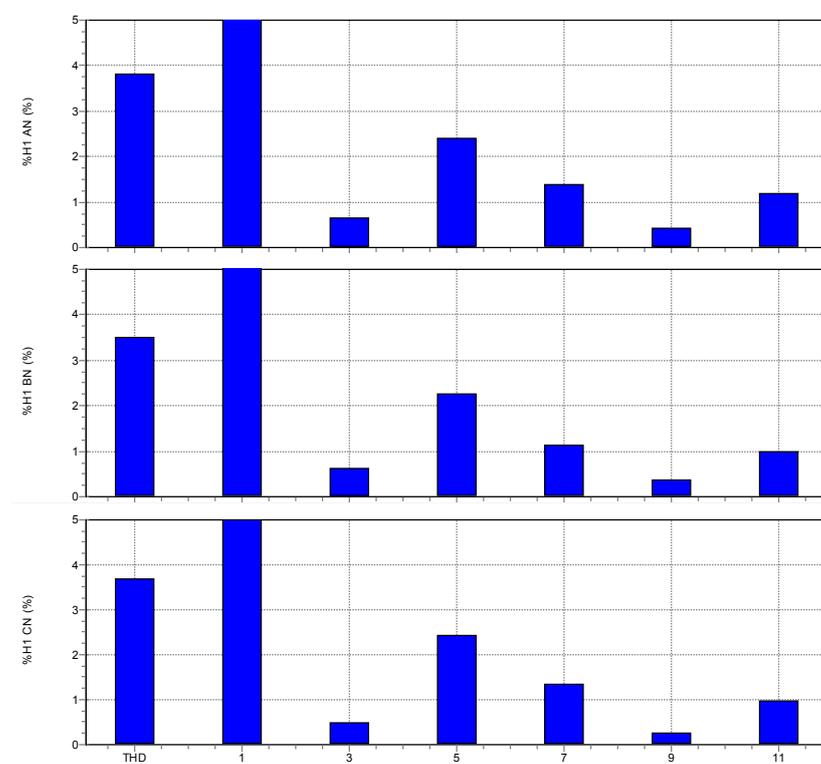
### 3.3 Análises do inversor fotovoltaico de 15 kW

A Fig. 10 mostra o histograma das distorções harmônicas de corrente do inversor fotovoltaico de 15 kW. Nota-se que o resultado obtido é próximo dos valores obtidos no inversor fotovoltaico de 17,5 kW e as distorções harmônicas apresentam valores acima dos limites de distorção de corrente, conforme mostra a Tab. 3.



**Figura 10** – Histograma da DHT-I e das distorções harmônicas individuais de corrente do inversor fotovoltaico de 15 kW no dia 09/11/2017.

A Fig. 11 mostra o histograma das distorções harmônicas de tensão do inversor fotovoltaico de 15 kW. O comportamento harmônico é muito próximo do inversor fotovoltaico de 17,5 kW.



**Figura 11** – Histograma da DHT-V e das distorções harmônicas individuais de tensão do inversor fotovoltaico de 15 kW no dia 09/11/2017.

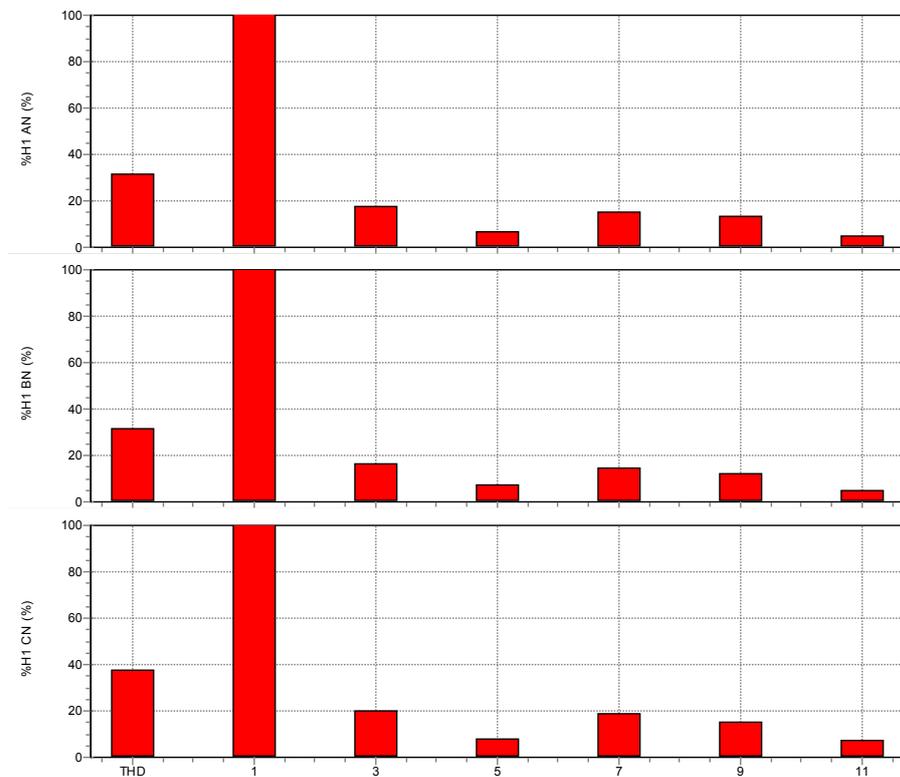
A Tab. 5 mostra que este inversor fotovoltaico apresenta valores de distorções harmônicas de corrente acima dos limites de distorção de corrente recomendado pela IEE-519. As distorções harmônicas da tensão têm valores abaixo de 5%, atendendo os valores de referência do Módulo 8 do PRODIST.

Data	Hora	I (A)	DHT-I -a (%)	DHT-I -b (%)	DHT-I -c (%)	DHT-V-a (%)	DHT-V-b (%)	DHT-V-c (%)
09/11/17	10h29	18,8	134,13	168,22	223,23	3,51	3,32	3,13
09/11/17	12h03	26,0	77,34	97,44	131,03	3,42	3,11	3,22
09/11/17	16h00	21,4	84,71	102,47	123,83	3,70	3,43	3,53
09/11/17	17h58	20,4	116,81	145,87	193,34	4,31	3,92	4,38

**Tabela 5** – Valores de DHT-V e DHT-I em função da corrente fundamental do inversor fotovoltaico de 15 kW.

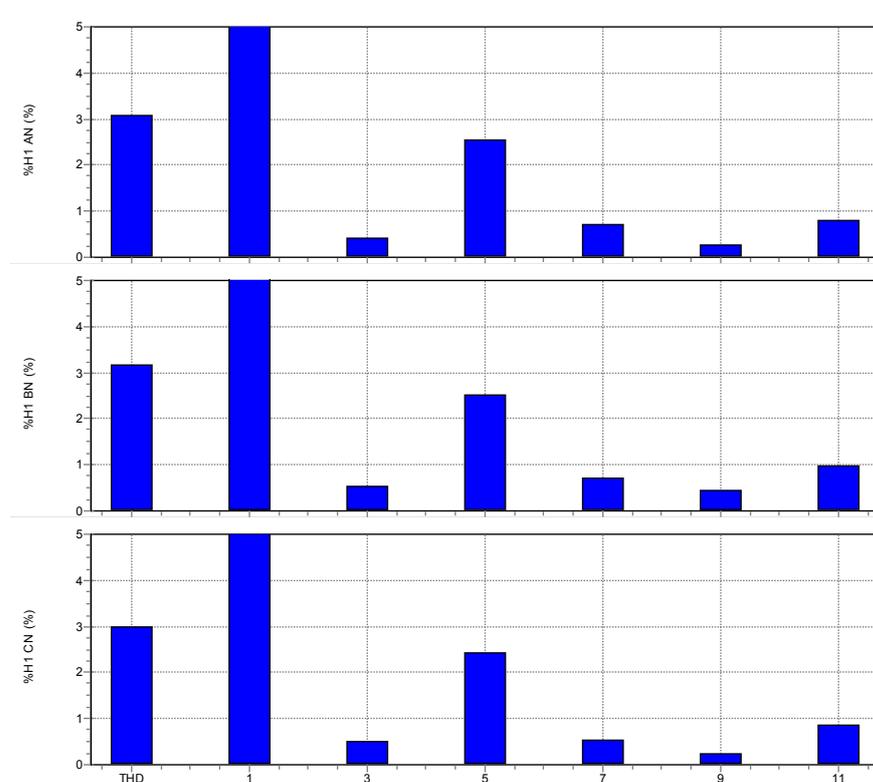
### 3.4 Análises do inversor fotovoltaico de 12,5 kW

A Fig. 12 mostra o histograma das distorções harmônicas de corrente do inversor de 12,5 kW. Nota-se que as distorções harmônicas têm valores melhores do que os inversores de 17,5 kW e 15 kW. Porém, com valores acima do valor máximo desejado.



**Figura 12** – Histograma da DHT-I e das distorções harmônicas individuais de corrente do inversor fotovoltaico de 12,5 kW no dia 14/11/2017.

A Fig. 13 mostra o histograma das distorções harmônicas de tensão do inversor fotovoltaico de 12,5 kW. O comportamento harmônico é muito semelhante dos inversores fotovoltaicos de 17,5 kW e 15 kW, com valores de acordo com o Módulo 8 do PRODIST.



**Figura 13** – Histograma da DHT-V e das distorções harmônicas individuais de tensão do inversor fotovoltaico de 12,5 kW no dia 14/11/2017.

A Tab. 6 mostra que este inversor fotovoltaico apresenta distorções harmônicas de corrente um pouco melhor do que os inversores de 17,5 kW e 15 kW, mas com valores acima dos limites estabelecidos pela IEEE Std 519-2014. As distorções harmônicas da tensão têm valores abaixo de 4%.

Data	Hora	I (A)	DHT-I -a (%)	DHT-I -b (%)	DHT-I -c (%)	DHT-V-a (%)	DHT-V-b (%)	DHT-V-c (%)
14/11/17	08h21	9,8	39,64	37,45	33,99	3,27	3,73	3,48
14/11/17	10h06	12,8	41,74	40,19	38,67	3,04	3,26	3,01
14/11/17	12h00	13	24,96	25,59	24,87	3,47	3,56	3,32
14/11/17	15h00	10,4	25,76	26,43	27,95	3,28	3,16	27,95

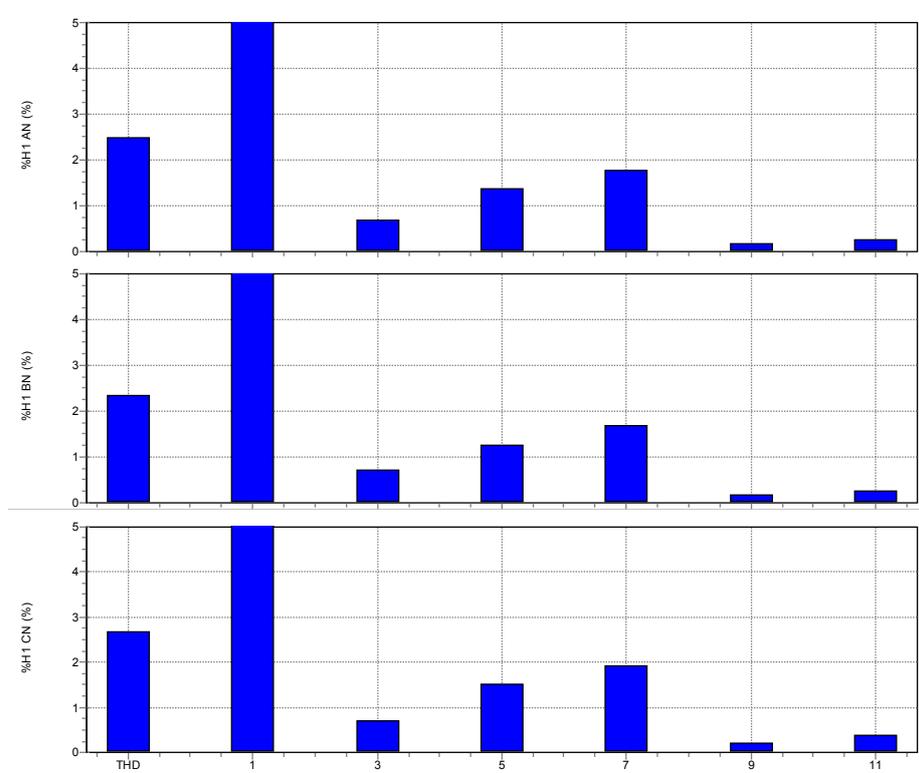
**Tabela 6** – Valores de DHT-V e DHT-I em função da corrente fundamental do inversor fotovoltaico de 12,5 kW.

### 3.5 Análises da geração total da micro usina fotovoltaica da Facens

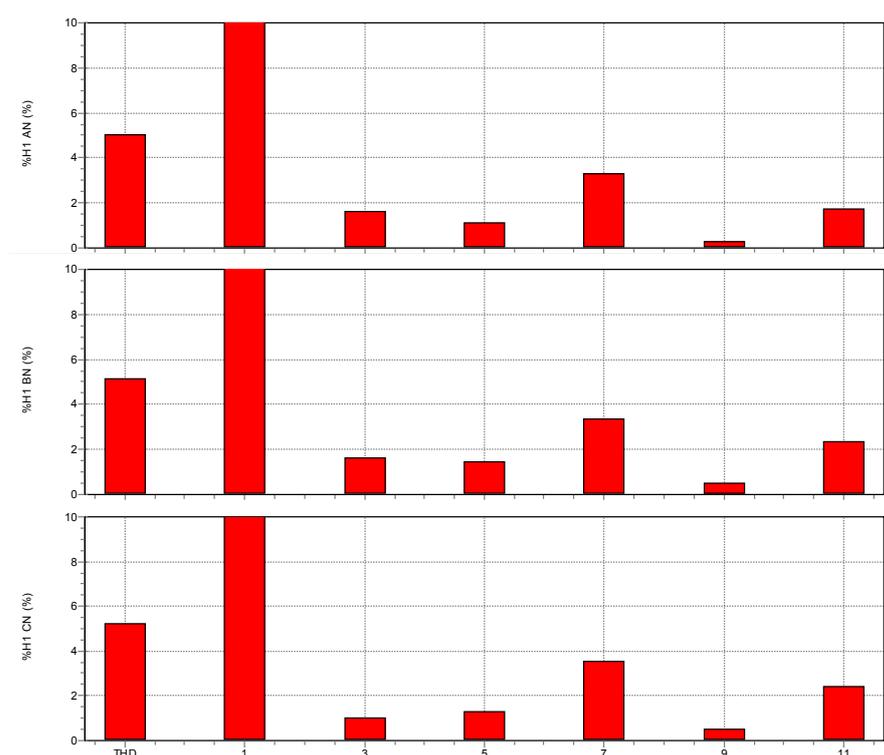
A Fig. 14 mostra o histograma da DHT-V e das distorções harmônicas individuais de tensão no transformador 60 kVA, 380/220V, Y/Y, da geração total advinda dos quatro inversores fotovoltaicos conectados em paralelo no lado de 380 V atendendo os valores de referência do Módulo 8 do PRODIST.

As medições permitem verificar que no período de geração total de energia, normalmente das 8h às 17h, as distorções harmônicas de tensão e de corrente, apresentadas nos histogramas da Fig. 14 e Fig. 15 respectivamente, são baixas e

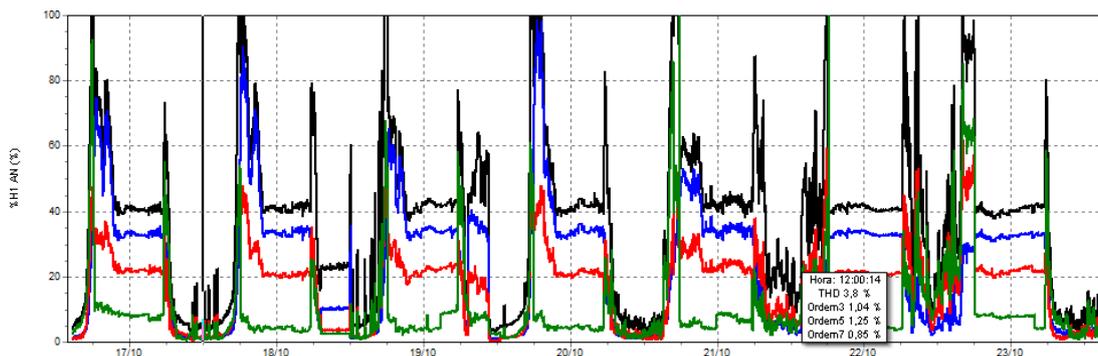
atendem as regulamentações da ANEEL. Porém, as distorções harmônicas de corrente começam a aumentar depois das 17h, no entanto a corrente fundamental fornecida pelo sistema solar é muito baixa, esse comportamento é facilmente constado na Fig. 16.



**Figura 14** – Histograma da DHT-V e das distorções harmônicas individuais de tensão da geração total no período de 16/10/2017 à 23/10/2017.



**Figura 15** – Histograma da DHT-I e das distorções harmônicas individuais de corrente da geração total no período de 16/10/2017 à 23/10/2017.



**Figura 16** – Distorção harmônica total de corrente e distorções harmônicas individuais de corrente da geração total da fase a no período de 16/10/2017 às 14:47h até o dia 23/10/2017 às 14:46h.

Nota-se que independentemente do período de medição, a distorção harmônica de tensão está abaixo de 5%. Já a distorção harmônica de corrente depende do nível da geração fornecida pelo sistema fotovoltaico, fato já conhecido e que é possível verificar na Tab. 9.

Data	HORA	CORRENTE FUNDAMENTAL (A)	DHT-V (%)	DHT-I (%)
17/10/2017	8h00	47,9	2,76	7,56
17/10/2017	10h00	83,8	2,03	3,53
17/10/2017	12h10	106,1	2,72	4,06
17/10/2017	15h00	70,8	2,83	6,41
17/10/2017	17h00	27,4	3,57	15,9

**Tabela 9** – Valores de DHT-V, DHT-I e da corrente fundamental da geração total da fase a no dia de 17/10/2017.

#### 4 | CONCLUSÕES E COMENTÁRIOS GERAIS

Este artigo apresenta uma análise das distorções harmônicas de tensão e de corrente em quatro inversores fotovoltaicos de diferentes potências, sendo de 12,5 kW; 15 kW; 17,5 kW e 20 kW e da geração total fornecida pelo sistema fotovoltaico. Estes inversores fotovoltaicos são responsáveis por converter, em corrente alternada, toda a energia em corrente contínua gerada pelo sistema fotovoltaico da micro usina do Campus da Facens. As saídas dos inversores fotovoltaicos estão conectadas em paralelo no transformador de 60 kVA, 380V/220V, Y-Y no lado de 380V.

A maioria dos resultados apresentados no horário próximo das 12h foram obtidos nas condições de geração plena da micro usina, podendo ser constatados em função da proximidade das correntes injetadas pelos inversores fotovoltaicos com as suas respectivas correntes nominais, caracterizando condições plenas de irradiância solar

(Donadon, 2017). Os resultados também mostram que quanto maior for a corrente fundamental na saída dos inversores fotovoltaicos menor serão as distorções harmônicas de corrente, e embora as distorções harmônicas totais de corrente e as distorções harmônicas individuais de corrente apresentem valores acima dos limites de distorção de corrente, conforme a Tab. 3 para as análises dos inversores fotovoltaicos de forma individualizada, na geração total onde a corrente fundamental gerada é maior, os índices de distorções harmônicas de corrente atendem aos limites estabelecidos pela IEEE Std 519-2014 no PAC.

Através dos resultados obtidos na análise da distorção harmônica de tensão é possível verificar que o índice é sempre menor que 5% em todos os casos analisados, tanto para as análises individuais dos inversores fotovoltaicos, quanto para a análise na geração total, independente do horário de geração.

A análise da qualidade da energia elétrica desse caso reforça a necessidade de estudos adicionais dos inversores fotovoltaicos para os sistemas de micro usinas fotovoltaicas considerando principalmente os aspectos de qualidade da corrente injetada e os desenvolvimentos tecnológicos dos inversores. As campanhas de medições e verificações são extremamente importantes por parte do Usuário e da Distribuidora com estabelecimento dos limites a serem seguidos: de corrente (IEEE Std 519-2014) e/ou de tensão pelo Módulo 8 do PRODIST com atenção direcionada ao Ponto de Acoplamento Comum (PAC) da rede de distribuição de energia elétrica.

## 5 | AGRADECIMENTOS

Queremos agradecer a Facens pelo apoio no desenvolvimento deste trabalho e a Fluke do Brasil por ceder o Medidor de Qualidade de Energia Fluke 438-II utilizado nas análises dos inversores fotovoltaicos.

## 6 | REFERÊNCIAS

ANEEL – **Micro e Minigeração Distribuída: Sistema de Compensação de Energia Elétrica**. 2ª ed. Brasília, 2016.

ANEEL – **Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST- Módulo 8 – Qualidade da Energia Elétrica**, 2017.

ANEEL – **Resolução 687**, 2015.

Donadon, A. R. et al. **Análise de sistema fotovoltaico de grande porte conectado à rede**. Revista Fotovolt, Ano 3, 2017.

Fortes, Rárisson Roberto Acácio. **Distorções Harmônicas Produzidas por Inversores de Geração Distribuída em Condição de Ressonância Paralela**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho – UNESP, Ilha Solteira, 2016.

IEEE Std 519-2014 **Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems**, 2014.

IEEE 1159-1992 **Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality**.

Macêdo, Wilson Negrão. **Análise do fator de dimensionamento do inversor aplicado a sistemas fotovoltaicos conectados à rede**, 201 f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Engenharia Elétrica, Universidade de São Paulo – USP, São Paulo, 2006.

Silva, Márcio Melquíades et al, 2014. “**A Qualidade da Energia Elétrica Durante os Jogos da Copa do Mundo FIFA 2014 em Belo Horizonte**”, in INDUSCOM 2014, Juiz de Fora, p. 5, 2014.

Starosta, José. **Qualidade de Energia Elétrica**. Anotações das aulas da disciplina de QEEPG1 do curso de pós-graduação em Especialização em Instalações Elétricas Prediais, Comerciais e Industriais – Faculdade de Engenharia de Sorocaba – Facens, 2015.

## **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

