

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

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 CO₂, 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 CO₂, 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 CO₂.

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 CO₂ 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

CAPÍTULO 1	10
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	
DOI 10.22533/at.ed.6741922011	
CAPÍTULO 2	24
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	
DOI 10.22533/at.ed.6741922012	
CAPÍTULO 3	41
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	
DOI 10.22533/at.ed.6741922013	
CAPÍTULO 4	54
ESTUDOS TEÓRICOS E EXPERIMENTAIS SOBRE O CUINSE ₂ E SUA APLICAÇÃO EM DISPOSITIVOS FOTOVOLTAICOS	
Yuri Hamayano Lopes Ribeiro Denis Gilbert Francis David Marcus Vinícius Santos da Silva Jailton Souza de Almeida	
DOI 10.22533/at.ed.6741922014	
CAPÍTULO 5	66
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	
DOI 10.22533/at.ed.6741922015	
CAPÍTULO 6	78
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

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

ANÁLISE DA PRODUÇÃO DE 24 MESES DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE NO ESTADO DO TOCANTINS

Brunno Henrique Brito

Instituto Federal de do Tocantins – Campus
Palmas

Palmas - Tocantins

Thálisson Câmara Belém

Instituto Federal do Tocantins – Campus Palmas

Palmas - Tocantins

Márcio Serafim de Almeida

Instituto Federal do Tocantins – Campus Palmas

Palmas - Tocantins

Felipe Tozzi Bittencourt

Instituto Federal do Tocantins – Campus Palmas

Palmas - Tocantins

RESUMO: Este trabalho tem como principal objetivo estimar a produção de energia elétrica, bem como as perdas envolvidas de um dos primeiros sistemas fotovoltaicos conectados à rede na cidade de Palmas, estado do Tocantins. Para isso, são analisados e comparados os níveis de irradiação solar local fornecidos por cinco bancos de dados históricos, assim como seus valores de medições reais. Analisando-se o histórico de produção do sistema, constatam-se perdas globais que variam de 9% a 18%, quando comparadas às gerações estimadas a partir dos índices de irradiação solar analisados. Os resultados apontam também um fator de capacidade de 19,5%. Além da análise de produção da energia pelo sistema, este

artigo também verifica o tempo do retorno do investimento, onde é constatado que o sistema instalado deve ser pago após cerca de 66 meses da data da instalação e após cerca de 45 meses se fosse instalado atualmente.

PALAVRAS-CHAVE: Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede, Produção de Energia, Retorno do Investimento.

ABSTRACT: The main objective of this article is to estimate the electric energy production, as well as the losses involved in the generation of one of the first photovoltaic systems connected to the grid in the city of Palmas and in the state of Tocantins. For this are analyzed and compared the levels of local irradiation provided by five historical databases by real measurements. Analyzing the generation history of the system, there are global losses that vary from 9% to 18%, when compared to the generations estimated from the analyzed radiation indices. The results also indicate a Capacity Factor of 19.5%. In addition to the generation analysis, this article also verified the time of the return of the investment, where it is verified that the system in development must be paid after about 66 months of the installation date and after of 45 months if it were installed currently.

KEYWORDS: Photovoltaic System Networked, Generation, Payback.

1 | INTRODUÇÃO

A geração distribuída por fontes alternativas e renováveis vem acompanhando um crescimento exponencial nos últimos anos, principalmente por conta de uma forte queda nos custos de instalação atreladas ao aumento constante nas tarifas de energia e às melhorias políticas de incentivo. Além disso, existe uma dependência nacional em hidrelétricas que em geral apresentam grandes problemas socioambientais e de previsibilidade pluviométrica. Como consequência disto, existe uma evidente necessidade na diversificação da produção energética principalmente por fontes descentralizadas em todo o país buscando reduzir longas linhas de transmissão e aumentando assim a sua eficiência.

Os sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica (SFCR), que compõem uma aplicação da energia solar, são um dos que mais se destacam na obtenção sustentável de energia com base em suas aplicações e estudos acerca do desempenho de diferentes projetos (Macêdo, 2006, Reich *et al.*, 2011), uma vez que seu uso permite ao usuário a produção de energia elétrica em sua própria residência de acordo com a resolução normativa nº 482, proposta pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) em 17 de abril de 2012 (ANEEL, 2012). O SFCR consiste basicamente em módulos fotovoltaicos, responsáveis por transformar a energia proveniente do sol em energia elétrica, conectados em inversores, que adéqua à produção dos módulos fotovoltaicos à energia fornecida pelas concessionárias. Com isso, a energia produzida pode ser injetada na rede elétrica quando a demanda da unidade consumidora for maior que o consumo. Segundo a resolução nº 482 da ANEEL, a energia produzida e injetada pelo SFCR geram créditos que podem ser abatidos da energia consumida da rede quando o sistema não estiver gerando ou está gerando menos que a demanda.

Portanto tem-se uma fonte limpa, renovável e virtualmente inesgotável, dispondo o Brasil de um grande potencial na aplicabilidade de tal produção uma vez que seus níveis médios de irradiação solar diários, a exemplo da região norte nosso local de estudo, é de 5,5 kWh/m² no plano horizontal (Colle *et al.*, 2000), e a progressiva redução no custo de instalação e manutenção, como também incentivos fiscais em alguns estados (ICMS, PIS, COFINS) viabilizam economicamente a implementação de micro gerações distribuídas.

Palmas-TO se destaca pelos incentivos proporcionados pelo programa Palmas Solar, que apoia a microgeração de energias renováveis, criado através da Lei complementar Nº 327 de 24 de janeiro de 2015 (Prefeitura de Palmas, 2015). O programa concede descontos de até 80% do imposto predial e territorial urbano (IPTU) estabelecido no artigo 14 da referida lei, assim como o mesmo desconto para impostos de qualquer natureza (ISSQN) e impostos de transferência de bens imóveis (ITBI) asseguradas nos artigos 15 e 16, conferidos a sistemas instalados de acordo com as especificações e normas propostas. Além de flexibilidades fiscais o programa Palmas Solar também estabelece incentivos de financiamento em pequenas instalações,

produção de equipamentos ou prestações de serviços. Logo, é notável o interesse municipal em instalações de sistemas fotovoltaicos, e fomentam análises acerca da geração e o entendimento de sua importância.

Neste cenário, este artigo tem como objetivo principal a análise da produção real de um SFCR residencial localizado na cidade de Palmas-TO. Trata-se de um dos primeiros sistemas desse tipo conectado no Estado do Tocantins. Após a análise das gerações mensais dos primeiros 24 meses de funcionamento do sistema, este trabalho apresenta uma análise financeira composta pelo estudo do tempo de retorno do investimento a partir do momento em que o sistema foi instalado.

2 | METODOLOGIA

Este trabalho tem como primeiro objetivo a análise da produção e a estimativa do desempenho global de um dos primeiros SFRC instalado na cidade de Palmas-TO num período de dois anos de desempenho. Para isso, inicialmente são realizadas análises dos níveis de irradiação solar na localidade do sistema indicado por cinco banco de dados (INPE High Resolution, INPE Moderate Resolution, NASA Low Resolution, NREL Moderate Resolution e Sundata) disponíveis por quatro diferentes instituições (NASA, INPE, NREL e CRESESB) (SWERA, 2017; CRESESB, 2017). O intuito é comparar esses dados históricos de irradiação solar com os índices reais medidos pelo instituto nacional de meteorologia (INMET). Como os dados de irradiação solar são fornecidos no plano horizontal, é necessário um fator de correção (R) que considere o ângulo zenital ao meio dia na cidade de Palmas-TO, que é de 10° . Para isso, foi utilizada a Eq. 1 (Perez *et al.*, 1987), que encontra este fator de correção considerando a irradiação solar direta, para obter um valor aproximado do fator de correção para corrigir os dados de irradiação solar global para um plano inclinado à 10° .

$$R = \frac{\cos \theta}{\cos \theta_z} \quad (1)$$

Onde: θ - Ângulo de incidência no plano horizontal; θ_z - Ângulo zenital ao meio-dia.

Uma vez obtidas e analisadas as irradiações estimadas e medidas, são comparadas as capacidades de produções estimadas (G), em kWh, para o sistema a partir da Eq. 2 com as gerações reais medidas mensalmente pelo sistema (VILLALVA, 2015).

$$G = P \times I \times n \times \eta \quad (2)$$

Onde: P = Potência instalada do sistema (kWp); I = irradiação solar incidente no plano do sistema em horas de sol pleno (h/dia); n = número de unidades do intervalo de tempo a ser considerado (dias); η = desempenho global do sistema.

Pode-se também, para fins de determinação do desempenho do sistema, obter sua produtividade Y_f (final yield), definida através da Eq. 3 (MARION *et al.*, 2005).

$$Y_f = \frac{\int_{t_1}^{t_2} P(t) dt}{P_{cc}} = \frac{E_g}{P_{cc}} \quad (3)$$

Onde: $P(t)$ - Potência instantânea de saída em função do tempo considerado, E_g – Energia produzida pelo sistema no período de tempo $t_2 - t_1$, P_{cc} - Potência nominal do sistema.

A unidade de medida da produtividade (Y_f) é kWh/kW, sendo portanto um valor que representa a produção de energia em kWh por unidade de potência (kW). Logo, a comparação entre sistemas por meio desta grandeza é independente de sua potência nominal.

Outro conceito importante na análise comparativa entre sistemas fotovoltaicos é o fator de capacidade, que mantém fixa a potência nominal e padroniza o intervalo de tempo considerado, sendo então o quociente entre a produtividade (Y_f) pelo tempo (número de horas em um ano). É entendido por Oliveira (2002) como sendo a capacidade de produzir energia que um sistema possui, se operasse em sua potência nominal durante as vinte quatro horas do dia, como representado na Eq. 4.

$$FCC (\%) = \frac{Y_f}{t_2 - t_1} \cdot 100 = \frac{E_g}{P_{cc} \cdot 24.365} \cdot 100 \quad (4)$$

Onde: FCC – Fator de capacidade do sistema; E_g - Energia produzida pelo sistema em um ano (kWh); P_{cc} - Potência nominal do sistema fotovoltaico (kW).

O segundo objetivo deste trabalho consiste em realizar uma análise financeira a partir da análise de produção do sistema. Para isso, inicialmente é verificado o tempo de retorno do investimento para o SFCR em questão. Para estimar a economia proporcionada pelo sistema, será utilizada a Eq. 5.

$$Vp = \frac{Fc}{(1 + TMA)^{ano}} \quad (5)$$

Onde: Vp – valor presente líquido da economia proporcionada pelo sistema; Fc – fluxo de caixa dado pelo produto da tarifa da energia vigente multiplicado pela produção daquele mês; TMA – taxa mínima de atratividade; ano – períodos, em anos, futuros considerados.

3 | RESULTADOS

3.1 Descrição do sistema

O SFCR analisado neste artigo foi um dos primeiros a ser instalados no Estado do Tocantins. Trata-se de um sistema de 3,57 kWp de potência nominal composto por 14 módulos fotovoltaicos de 255 Wp e eficiência de 15,85% da marca Canadian Solar, sendo 8 orientados 15° à leste e 6 orientados 15° à oeste, e um inversor de 4600 Wp da marca PHB. Os módulos fotovoltaicos têm uma vida útil estimada de mais de 25 anos e degradação da produção devido ao envelhecimento de 0,7% ao ano. O fabricante garante que em 10 anos de utilização a potência é de 97% e 90% do valor medido em condições padrão de medição, e entre 10 anos e 25 anos de utilização a potência se mantém na faixa de 80%. O sistema foi instalado em meados de setembro de 2015, tendo medições mensais integrais a partir de outubro de 2015. As características técnicas do módulo fotovoltaico e do inversor utilizados neste SFCR podem ser conferidas por meio das Tabelas 1 e 2.

CARACTERÍSTICA	VALOR
Potência Nominal Máxima	255 W
Tensão de Máxima Potência	30,2 V
Corrente de máxima Potência	8,43 A
Tensão em Circuito Aberto	37,4 V
Corrente de Curto-Circuito	9,00 A
Tensão Máxima do Sistema	1000 V
Máxima Classificação da Série de Fusíveis	15 A

Tabela 1 - Características elétricas do módulo.

CARACTERÍSTICA	VALOR
Tensão C.C Máxima	580 V _{cc}
Faixa de Operação SPMP	125 ~ 550 V _{cc}
Corrente C.C Máxima	20 A
Potência C.A. Nominal	4600 W
Tensão C.A. Nominal	220 V _{ca}
Frequência Nominal	60 Hz
Corrente C.A. Máxima	25 A
Grau de Proteção	IP65
Fator de Potência	>0,99
Temperatura de Operação	20 ~ 60 °C
Número de Strings em Paralelo	2

Tabela 2 - Características do inversor.

A residência atendida pela concessionária Energisa-TO e classificada como unidade consumidora residencial monofásica fica localizada na Quadra 603 Sul, Bairro Plano Diretor Sul, Palmas - TO, situada no hemisfério sul na latitude de $-10,25^\circ$ ao Sul e Longitude de $-48,32^\circ$ a Oeste. Na Fig. 1 pode ser visualizado o sistema em estudo.



a) Módulos fotovoltaicos

b) Inversor

Figura 1 – SFCR analisado.

3.2 Análise dos níveis de irradiação solar em Palmas-TO

Os níveis de irradiações solar começaram a ser medidos pelo INMET em Palmas-TO em fevereiro de 2016. Entre os meses de fevereiro de 2016 a setembro de 2017, os valores das irradiações retirados dos cinco bancos de dados históricos analisados e os valores reais medidos (INMET) podem ser analisados a partir da Fig. 2.

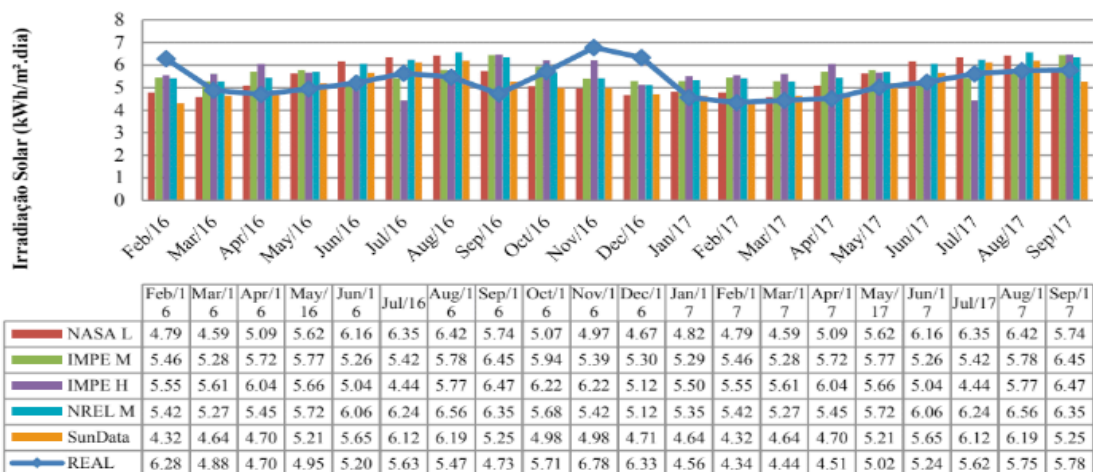


Figura 2 - Irradiações projetadas com relação às irradiações reais.

Percebe-se, a partir da Fig. 2 que, com exceção de alguns meses, os níveis de irradiação solar verificados seguiram as médias históricas de irradiação solar estimadas pelos diferentes institutos de pesquisa. As diferenças mensais entre as médias históricas de irradiação solar apresentadas pelos institutos de pesquisa e as

médias mensais medidas pelo INMET podem ser visualizadas na Fig. 3.

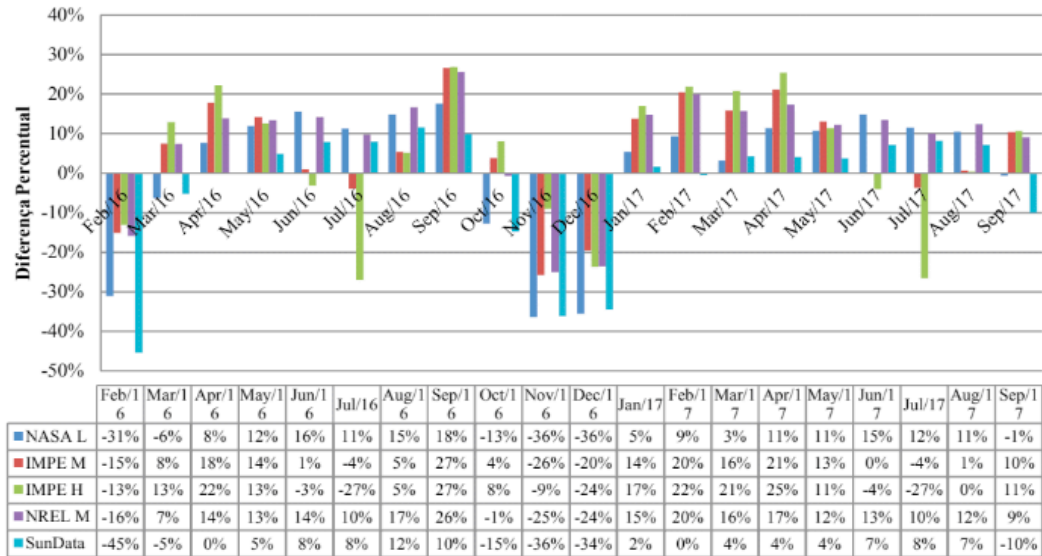


Figura 3 - Diferenças percentuais entre os valores projetados e reais de irradiação solar.

A comparação entre as médias das irradiações históricas obtidas pelos institutos de pesquisa e a média da irradiação solar efetivamente verificada pela estação meteorológica do INMET entre fevereiro de 2016 e setembro de 2017 pode ser verificada na Fig. 4.

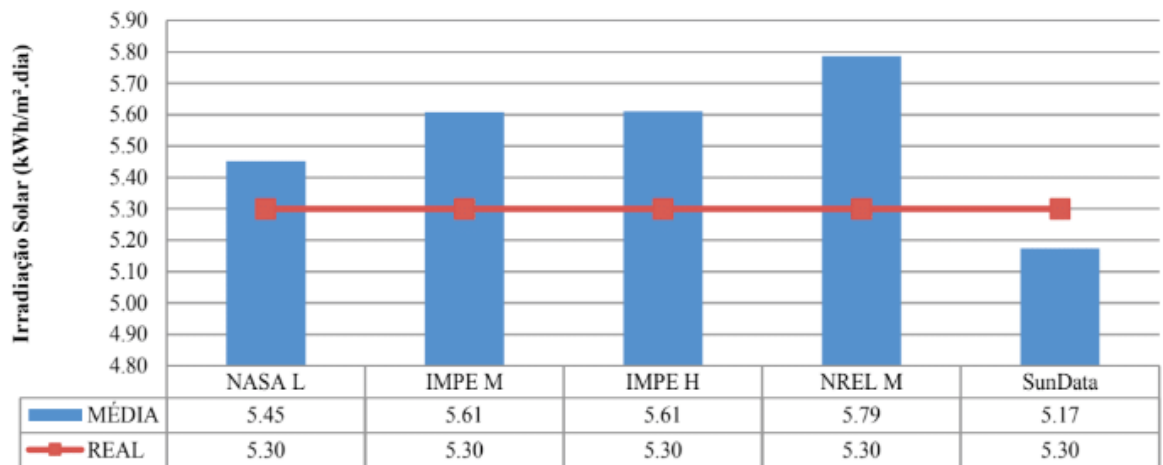


Figura 4 - Médias das radiações projetadas com relação à média dos valores reais.

As diferenças entre as médias históricas de irradiação solar apresentadas na Fig. 2 e a média medida podem ser visualizadas na Fig. 5.

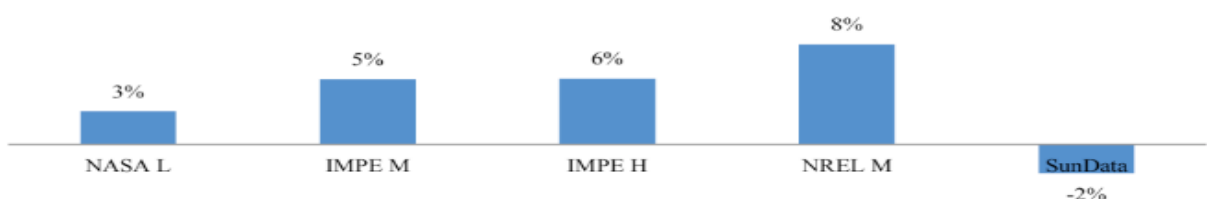


Figura 5 - Diferença percentual entre as médias históricas com relação às medidas.

Logo, constata-se que, em média, a produção real desde fevereiro de 2016 foi menor que quase todos os bancos de dados disponíveis para consulta.

3.3 Análise da produção do sistema

Os valores de energia elétrica mensal produzida pelo sistema fotovoltaico no período de funcionamento, de outubro de 2015 a setembro de 2017, do SFCR analisado podem ser conferidos na Fig. 6. Com exceção de alguns meses, verificou-se uma certa similaridade da energia mensal produzida nos dois anos de funcionamento do sistema.

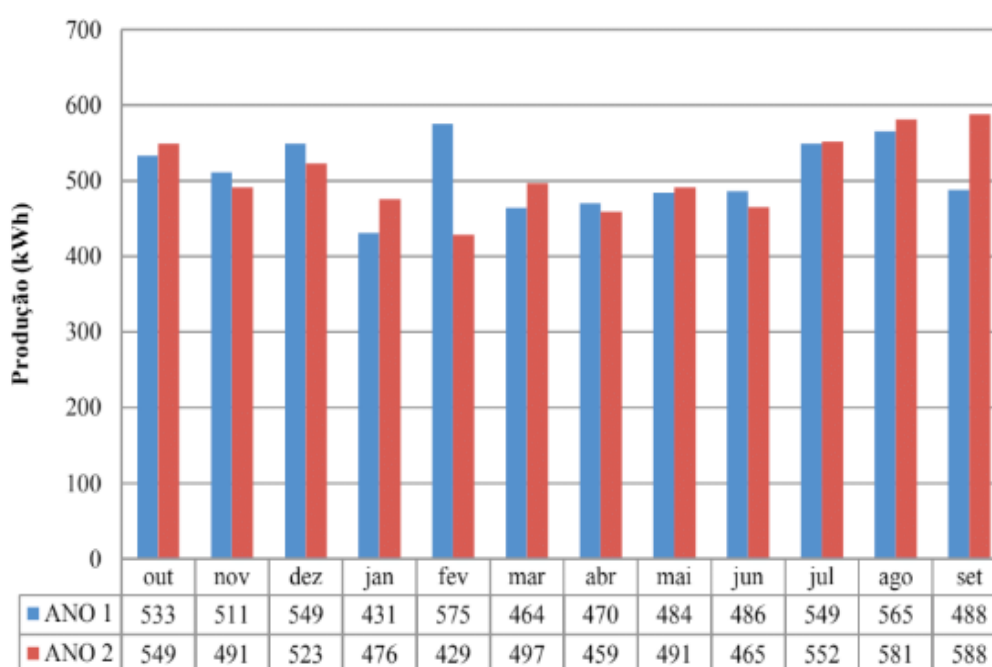


Figura 6 - Produção mensal de energia verificada no SFCR.

A comparação entre a produção anual estimada a partir dos índices de irradiação solar dos institutos de pesquisa sem considerar as perdas globais do sistema (rendimento global igual a 1) e as produções integralizadas do primeiro e do segundo ano de funcionamento do SFCR pode ser conferida por meio da Fig. 7. Pode ser observado, nessa figura, o efeito das perdas envolvidas em um SFCR.

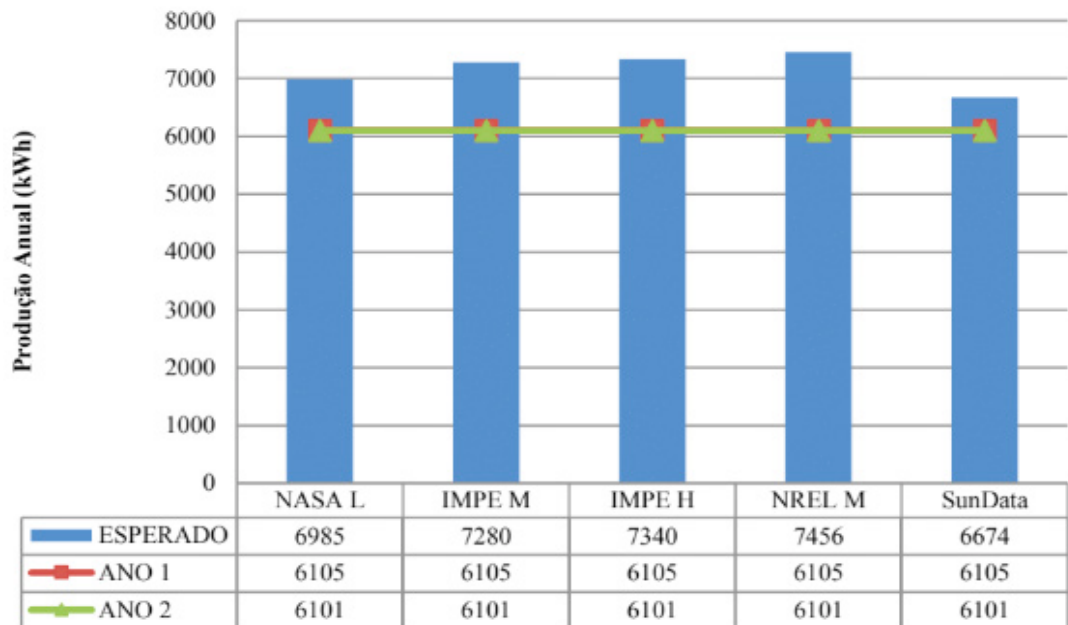


Figura 7 – Produções Anuais Estimadas x Produções Anuais Registradas.

A partir da análise da Fig. 7, podem-se estimar as perdas globais que podem ser consideradas para cada instituto de pesquisa (Fig. 8). Como a energia produzida pelo sistema no primeiro ano de funcionamento foi muito próxima à produzida no segundo ano, os valores percentuais de perdas estimadas nos dois anos de funcionamento do sistema foram praticamente os mesmos.

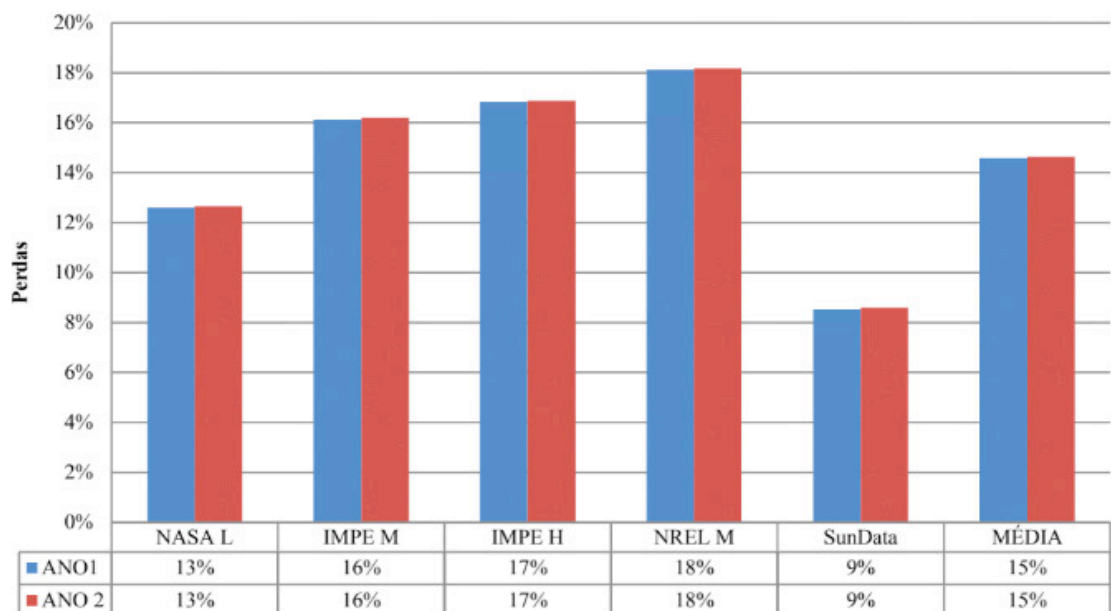


Figura 8 – Perdas dimensionadas para cada Instituto de Pesquisa.

Logo, percebem-se perdas globais que variam de 9% a 18% se comparadas às gerações reais medidas com as estimadas a partir dos índices de irradiação solar analisados.

Para dimensionar as perdas globais reais, foi necessário calcular a expectativa de produção de energia de cada mês a partir dos dados reais de irradiação solar apresentados na Fig. 1, utilizando a Eq. 2, considerando o rendimento igual a 1 (um). Desta forma pode-se comparar essa expectativa de produção de energia a partir dos índices de irradiação solar verificados com as produções realmente verificadas, como pode ser conferido na Fig. 9.

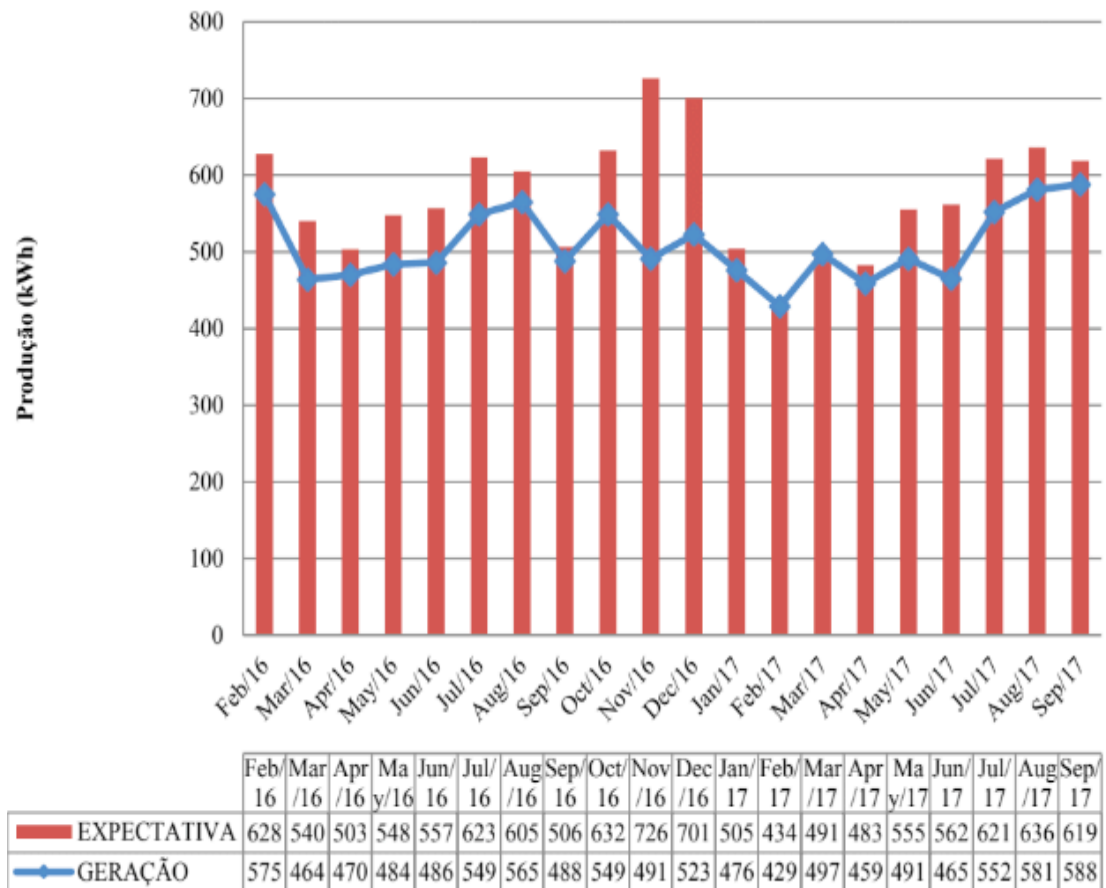


Figura 9 – Produção estimada x Produção real.

Considerando que a soma das expectativas de produções mensais apresentadas no Fig. 9 totaliza 11.472 kWh, e a soma das produções de energias verificadas totaliza 10.182 kWh, conclui-se que, nesse período, o índice de perdas globais do sistema foi de 11,27%. Vale ressaltar que essa estimativa de perdas globais inclui também as incertezas relativas aos índices de irradiações solares verificados.

Efetuada o cálculo do fator de capacidade para a produção de energia, de acordo com a Eq. 4, tomando a energia produzida considerando o primeiro ano de produção igual a 6105 kWh, encontra-se um valor aproximado de 19,5 %, que corresponde à produção de plena potência do sistema pelo período equivalente a 1665 horas por ano. Sua produtividade (Y_f), de acordo com a Eq. 3, é de 1710 kWh/kW, ou seja, são produzidos 1710 kWh de energia para cada 1 kW de potência do sistema. A Tab. 3 a seguir compara esses valores, aos de outros sistemas instalados no Brasil e em alguns outros países (ZILLES *et al.*, 2012), (JUNIOR, 2015), (MPHOLO

et al., 2015), (PADMAVATHI; DANIEL, 2013), (SINGH et al., 2015), (ROCHA et al., 2016) e (MORAITIS; VAN SARK, 2014).

SISTEMA	POTÊNCIA INSTALADA (kWp)	ANO DE OPAREÇÃO	LOCAL	Y_f (kWh/kWp)	FCC (%)
Residência	3,57	2015-2016	Palmas - TO	1710	19,5
Instituição Pública	56,4	2014-2015	Natal - RN	1656	18,9
UFTPR	2,1	2014	Curitiba - PR	1149	13,2
UFSC	2	2005	Florianópolis - SC	1277	14,6
USP/IEE	12,3	2004	São Paulo - SP	1090	12,5
764 sistemas	Média de 15,6	2011-2013	Alemanha	1030	11,7
532 sistemas	Média de 13,1	2011-2013	Itália	1285	14,7

Tabela 3 - Comparação entre diversos SFCR em operação.

Logo, percebe-se que o SFCR residencial em Palmas apresentou os maiores valores de produtividade e fator de capacidade com relação aos demais sistemas, fato que pode estar associado aos elevados índices de irradiação solar na região, e às perdas estimadas relativamente baixas.

3.4 Análise Econômica

Para estimar o tempo de retorno do investimento deste sistema é necessário, inicialmente, levantar os custos para a instalação do mesmo. O custo total do sistema instalado nessa unidade consumidora pode ser visualizado na Tab. 4.

DESCRIÇÃO	VALOR (R\$)
Equipamentos*	20.406,38
Elaboração do Projeto	1.114,00
Frete	964,37
Instalação dos módulos fotovoltaicos	2.300,00
Materiais adicionais	805,25
TOTAL	25.590,00

Tabela 4 - Composição dos custos necessários para instalação do SFCR analisado.

*refere-se aos módulos fotovoltaicos, inversor, StringBox cabos, conectores e suportes para fixação no telhado.

Para a análise do tempo de retorno do investimento, foi considerado: irradiações médias mensais obtidas pelos dados da NASA com média anual de 5,36 kWh/m².dia

(SWERA, 2017); rendimento do sistema de 87% (ou perdas globais de 13%), como estimado na análise da produção; depreciação de 0,7% ao ano no desempenho do módulo fotovoltaico; tarifa inicial vigente em 2015, quando o sistema foi instalado, de R\$0,66/kWh; reajuste anual médio de 5,6% na tarifa de energia; desconto da meta da inflação (TMA = 4,5%); e desconto médio de IPTU de R\$768,00 (cerca de 80% do valor integral do IPTU para esta residência) por 5 anos, como concedido pela Lei Palmas Solar. O fluxo de caixa até o retorno total do valor investido pode ser conferido na Fig. 10.

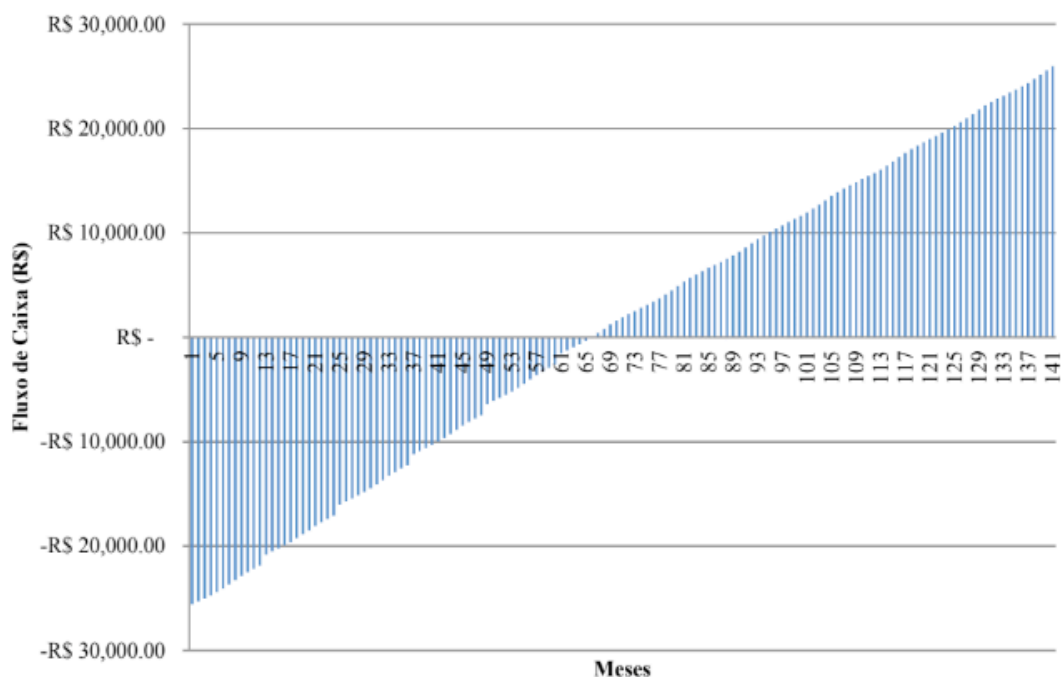


Figura 10 – Fluxo de Caixa a partir da instalação do sistema.

A partir da Fig. 10, percebe-se que o sistema deste micro gerador deve se pagar após cerca de 66 meses da instalação e o retorno total do valor investido deve ocorrer após 141 meses.

Atualmente, a tarifa de energia é de R\$0,80/kWh e o custo total de um sistema como esse é de cerca de R\$20.000,00. Nessas condições, o fluxo de caixa a partir de 2017 tende a seguir o comportamento apresentado na Fig. 11.

Analisando a Fig. 11, pode-se verificar que se um sistema semelhante ao instalado em 2015 na unidade consumidora analisada for instalado hoje em uma unidade consumidora semelhante, o mesmo se paga em cerca de 45 meses após a instalação, 21 meses mais cedo que o mesmo sistema instalado em 2015. Nesta mesma análise, verifica-se também que o retorno total do valor investido ocorre após 90 meses, 51 meses mais cedo que o sistema instalado em 2015.

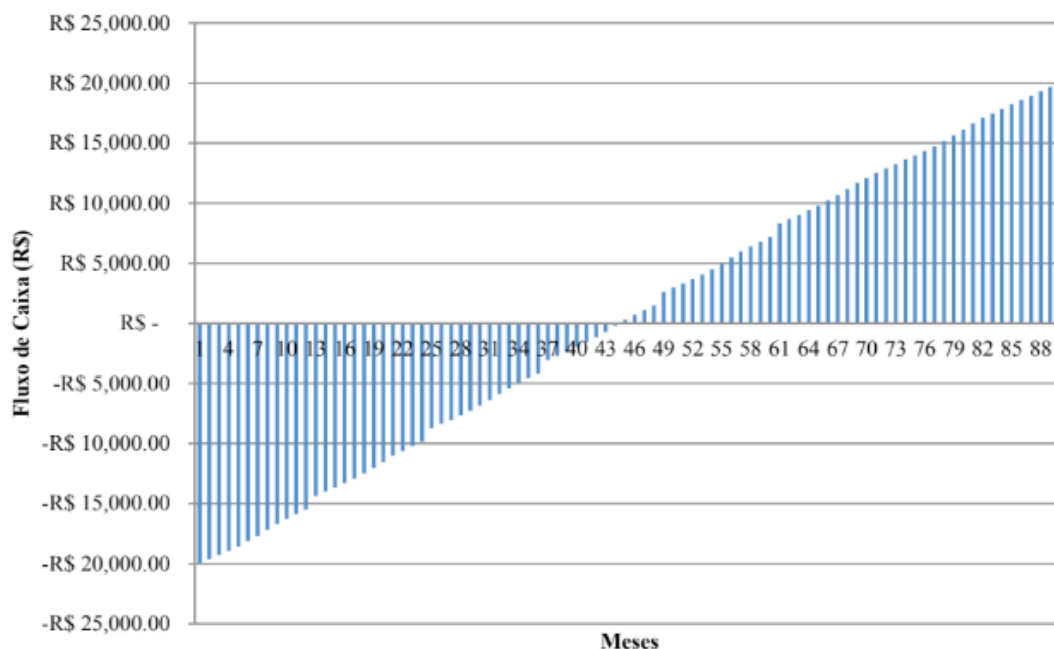


Figura 11 – Fluxo de Caixa a partir da instalação do sistema.

4 | CONCLUSÕES

Este trabalho teve como objetivo analisar e comparar a produção de um dos primeiros sistemas fotovoltaicos instalados no Estado do Tocantins a partir de diferentes dados históricos e reais de índices de irradiação solar para o município de Palmas-TO.

Os bancos de dados de índices de irradiação solar analisados apresentaram ligeiras diferenças em seus resultados que, em geral, ficaram bastante próximas dos valores reais medidos pelo INMET, com uma dispersão máxima de 8%. A produção do sistema fotovoltaico estimada sem perdas globais, como esperado, permaneceu acima da produção efetiva do sistema com perdas calculadas entre fevereiro de 2016 e setembro de 2017 de 11,27%, bastante próximo da média das perdas apontadas pelos dados históricos que variaram entre 9% e 15%. A análise da produção apontou também que os valores da produtividade (1710 kWh/kW) e do fator de capacidade (19,5%) se destacaram frente a outros sistemas instalados no Brasil e na Europa.

Este estudo também mostrou que a instalação do sistema vem se tornando cada vez mais economicamente viável, com a redução dos custos de instalação (diferença de quase seis mil reais entre os anos de 2015 e 2017), a implantação de incentivos fiscais por parte da prefeitura de Palmas com a Lei Palmas Solar, e os aumentos constantes na tarifa de energia elétrica. A análise de retorno do investimento do sistema revelou uma crescente diminuição com o passar dos anos no número de meses necessários para acontecer o retorno total do valor investido pelos créditos gerados pelo SFCR. A redução foi de 141 meses, para o sistema instalado em 2015, para 90 meses, para um eventual sistema instalado nas mesmas condições no presente ano de 2017.

Embora o custo inicial de investimento ainda seja elevado com relação à renda per capita média dos moradores da região, é interessante observar a evolução do processo, haja vista se tratar de um sistema de produção sustentável e descentralizado, sendo consideravelmente importante ao desenvolvimento da distribuição energética nacional.

REFERÊNCIAS

- ANEEL, 2012. Resolução normativa nº 482, de 17 de abril de 2012. Brasília, DF, 2012.
- Colle, S.; Pereira, E.B., 2000. Atlas de Radiação Solar do Brasil -INMET/LABSOLAR/CEPTEC/INPE.
- INMET. 2017. Banco de dados de irradiação solar e temperatura ambiente para a estação de Palmas. Disponível em <<https://www.inmet.gov.br/>>.
- INPE. 2017. Solar Radiation in Brazil. Disponível em <<https://en.openei.org/datasets/>>.
- Junior, J. U., 2015. Energia Solar Fotovoltaica e o Desempenho do SFVCR do Escritório Verde da UTFPR, Instituto de Engenharia do Paraná. Disponível em: <http://iep.org.br/iep/wp-content/uploads/2015/09/Int-Energia-Solar-+-EV_16set2015.pdf>. Acesso em: 03 nov. 2015.
- Macêdo, W. N., 2006. Análise do fator de dimensionamento do inversor aplicado a sistemas fotovoltaicos conectados à rede. 183 f. Tese de doutorado. Universidade de São Paulo, São Paulo.
- MARION *et al.* Performance parameters for grid-connected PV systems. 2005. In: IEEE PHOTOVOLTAICS SPECIALISTS CONFERENCE AND EXHIBITION, 31, 2005, Florida. Proceedings. IEEE: Piscataway,.
- Moraitis, P., Van Sark, W. G. J. H. M., 2014. Operational performance of grid-connected PV systems, 40th IEEE Photovoltaic Specialist Conference (PVSC), Denver, Colorado, USA.
- Mpholo, M.; Nchaba, T.; Monese, M. 2015. Yield and performance analysis of the first grid-connected solar farm at Moshoeshoe I International Airport, Lesotho. *Renewable Energy Journal*, v. 81, p. 845-852.
- NASA. Surface meteorology and Solar Energy Release Data Set. Disponível em <<https://eosweb.larc.nasa.gov.br/sse/>>.
- NREL. CSR Model data for South America. Disponível em: <<https://www.data.gov/>>.
- Oliveira, S. H. F., 2002. Geração distribuída de eletricidade: inserção de edificadores fotovoltaicos conectados à rede no estado de São Paulo. Tese de Doutorado do programa interunidades de Pós-graduação em Energia, USP, São Paulo.
- Padmavathi, K.; Daniel, S. A. 2013. Performance Analysis of a 3 MWp grid connected solar photovoltaic power plant in India. *Energy for Sustainable Development*, v. 7, p. 615-625.
- Perez, R., R. Stewart, C. 1987. Arbogast, R. Seals and D. Menicucci. A New Simplified Version of the Perez Diffuse Irradiance Model for Tilted Surfaces, *Solar energy*, Vol 39, pp. 221-231.
- PREFEITURA DE PALMAS. 2015. Secretaria Municipal de Governo e Relações Institucionais – Lei complementar n ° 327, 24 de novembro de 2015. Disponível em: <<https://legislativo.palmas.to.gov.br/media/leis/lei-complementar-327-2015-11-24-25-11-2015-17-35-2.pdf>>
- Reich, N; Mueller, B.; Sark, W.; Kiefer, K. Reise, C. 2011. Performace Ratio Revisited: IS PR >90% realistic?. In: 26th European PV Solar Energy Conference and Exhibition - EU PVSEC, Hamburg,

Germany. Pp. 717 – 726.

Rocha, A. V.; Rocha, F. A. F.; Souza, A. T. C.; 2016. Análise da Performance de um Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede. VI CEBENS, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil.

Singh, V. P., Ravindra, B., Vijay, V., Bhatt, M. S., 2014. A comparative performance analysis of C-Si and A-Si PV based rooftop grid tied solar photovoltaic system in Jodhpur, 3rd International Conference on Renewable Energy Research and Applications, Milwaukee, Wisconsin, USA.

SWERA - National Renewable Energy Laboratory (NREL), 2017. Disponível em: <<https://maps.nrel.gov/swera/#/?aL=0&bL=goad&cE=0&lR=0&mC=40.21244%2C-91.625976&zL=4>>.

Villalva, M. G, 2015. Energia Solar Fotovoltaica: Conceitos e Aplicações. 2. ed. São Paulo: Editora Érica.

Zilles, R., Macêdo, W. N., Galhardo, M. A. B., Oliveira, S. H. F., 2012. Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica, Oficina de Textos.

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