



Artigo

Sistemas fotovoltaicos: análise de perdas por *Mismatch*

Juliana Cristina Dantas ^[1], Fabiana Karla de Oliveira Martins Varella Guerra ^[2] e Vitória Caroline Carvalho do Nascimento ^[3]

^[1] Universidade Federal Rural do Semi-árido; julianadantas544@gmail.com

^[2] Universidade Federal Rural do Semi-árido; fkv@ufersa.edu.br

^[3] Universidade Federal Rural do Semi-árido; vitoriaccnascimento@gmail.com

Recebido: 18/06/2021;

Aceito: 15/08/2021;

Publicado: 06/12/2021.

Resumo: O presente trabalho trata da análise de problemáticas ocasionadas devido às perdas por *mismatch* na geração de energia elétrica em sistemas fotovoltaicos. Um estudo de caso comparativo foi realizado entre dois sistemas fotovoltaicos distribuídos com mesma potência, ambos instalados em unidades consumidoras de baixa tensão na cidade de Mossoró-RN. Inicialmente foi feito o levantamento de dados baseado em materiais cedidos por uma empresa do ramo de energia solar fotovoltaica. Após a análise de dados, foram realizadas visitas às unidades consumidoras para inspeção técnica e visual das instalações, de modo a verificar possíveis problemas inicialmente detectados. Os resultados mostraram que as perdas mais recorrentes nos sistemas fotovoltaicos são consequência de erros de projeto e instalação, e podem ser evitadas, basicamente, por análises técnicas prévias no desenvolvimento do projeto e manutenções preventivas em intervalos de tempo recomendados pela empresa. Dessa forma, como resultado verificou-se que a identificação e a resolução dessas falhas são de grande importância para o funcionamento adequado e, conseqüentemente, obtenção da geração de energia elétrica esperada dos sistemas fotovoltaicos analisados.

Palavras-chave: perdas por *mismatch*; energia solar fotovoltaica; sistemas fotovoltaicos.

Abstract: This paper deals with the analysis of problems caused due to mismatch losses in the electricity generation by photovoltaic systems. A comparative case study was performed between two distributed photovoltaic systems, with the same power, installed in low voltage consumer units located in the city of Mossoró-RN. Initially, a data survey was carried out based on materials provided by a company in the photovoltaic solar energy area. After data analysis, visits were made to the consumer units for technical and visual inspection of the installations, to verify possible problems initially detected. The results showed that the most recurrent losses in photovoltaic systems are a consequence of design and installation errors and can be basically avoided by prior technical analysis in the project development and preventive maintenance at time intervals recommended by the company. Thus, the identification and resolution of these failures are important for the proper functioning and, consequently, obtaining the expected electrical energy generation from photovoltaic systems.

Key-words: mismatch losses; photovoltaic solar energy; photovoltaic systems.

1. INTRODUÇÃO

AS fontes de energias renováveis apresentam cada vez mais credibilidade e ocupam um lugar de destaque na geração global de energia, especialmente se tratando da geração de energia elétrica. Dentre elas, a energia solar fotovoltaica distribuída conectada à rede elétrica se destaca devido aos benefícios de produzir energia elétrica próximo das cargas, diretamente relacionados à redução dos custos e das perdas na transmissão da energia elétrica [1].

Diante dos seus benefícios e da sua alta demanda, os trâmites para implantação desta modalidade de geração de energia elétrica têm se tornado mais acessível. Além disso, também é possível verificar uma evolução significativa em pesquisas para o aperfeiçoamento dos equipamentos que constituem estes sistemas,

onde a modernização dos sistemas fotovoltaicos apresenta destaque dentre as tecnologias que mais crescem na atualidade [2].

No entanto, segundo [3], falhas e perturbações ocasionam uma menor eficiência em sistemas de geração fotovoltaica localizados na mesma área e com equipamentos com propriedades técnicas equivalentes. Um dos maiores causadores de *déficits* na geração são as perdas por *mismatch*, também denominadas de incompatibilidade ou descasamento. De forma que o impacto causado pela temperatura, acúmulo de sujeira, degradação, inclinação, orientação e sombreamento é significativo e pode ser verificado através do monitoramento da geração dos sistemas fotovoltaicos.

A presença de sombreamento deve ser verificada ainda na elaboração e concepção do projeto, uma vez que quando um objeto (árvore, edificação, outros módulos fotovoltaicos, outros) provoca o sombreamento dos módulos fotovoltaicos, a geração de energia elétrica é significativamente reduzida. Além disso, quando as células de um módulo são parcialmente sombreadas, o resultado é o aumento da temperatura local (com a formação de *hotspots*), que provocará a degradação do módulo. O sombreamento devido a árvores ou vegetação alta deve ser controlado através da realização da poda regular.

Ainda segundo [3], outro problema típico causador de perda de eficiência da geração de sistemas fotovoltaicos é o acúmulo de sujeira na superfície dos módulos, onde folhas, poeira, areia e fezes de animais são grandes causadores de perdas, de modo que a limpeza periódica dos módulos é de grande importância. Além disso, o desgaste desigual dos módulos (mesmo sendo do mesmo fabricante), a alta temperatura local e a elaboração inadequada do projeto afetam, negativamente, o rendimento do sistema fotovoltaica, acarretando mal funcionamento e prejuízos.

Embora alguns dos fatores desta problemática sejam intrínsecos à geração de energia solar fotovoltaica, como o desgaste dos módulos, há técnicas para redução significativa dos distúrbios causados, de forma a melhorar o desempenho da geração, como o estudo prévio do local de instalação, elaboração correta do projeto, utilização de otimizadores de potência, equipamentos compatíveis (módulos, inversores, etc.), diodo *by-pass*, entre outras [3].

Por todo o exposto, este artigo tem como objetivo realizar a análise dos fatores correspondentes de problemáticas ocasionadas pelas perdas por *mismatch* na geração de dois sistemas fotovoltaicos distribuídos conectados à rede, instalados em duas residências de baixa tensão localizadas na cidade de Mossoró/RN, de forma a identificar e propor soluções visando a promoção de maiores desempenhos de geração de energia elétrica, conforme dados de geração média prevista pela empresa prestadora dos serviços de projeto e execução dos sistemas fotovoltaicos.

2. ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

A Resolução Normativa da ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) nº 482, de abril de 2012, abriu as portas para a regulamentação da microgeração e da minigeração de energia elétrica no Brasil, uma vez que permitiu a utilização do excedente de energia elétrica gerado como créditos a serem utilizados posteriormente. O sistema de créditos da geração distribuída funciona através da compensação do excedente de energia elétrica injetada na rede da distribuidora de energia elétrica pelo sistema de geração [4].

Posteriormente, em 2016, entrou em vigor a Resolução Normativa nº 687 da ANEEL, que trata de uma revisão da Resolução Normativa nº 482. Dentre as principais alterações, na Resolução Normativa nº 687, o prazo para utilização dos créditos foi estendido de 36 para 60 meses, a possibilidade de o cliente gerar energia em um imóvel e consumir os créditos em outro imóvel (desde que ambos estejam sob mesma titularidade e mesma área de concessão), e a alteração da definição da faixa de potência de classificação de micro e minigerador, como sendo central geradora com potência instalada de até 75 quilowatts (kW) e central geradora com potência instalada acima de 75 kW e menor ou igual a 5 MW, respectivamente [5].

Além dos incentivos promovidos pelas regulamentações, [6] afirma que o Brasil também apresenta um dos melhores cenários mundiais para a implantação de energia solar, especialmente o Nordeste, por apresentar altos índices de radiação solar. O semiárido é a região que apresenta o melhor índice, e seus valores variam de 200 a 250 W/m², o que equivale a uma faixa entre 1.752 e 2.190 kWh/ m² por ano de radiação solar incidente.

A energia solar fotovoltaica apresenta crescente representatividade na capacidade instalada e na geração de energia elétrica nacional. A Figura 1 apresenta a matriz elétrica brasileira (com dados de maio de 2021), conforme a ABSOLAR (Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica), com potência total instalada de, aproximadamente, 175.443 MW [7].

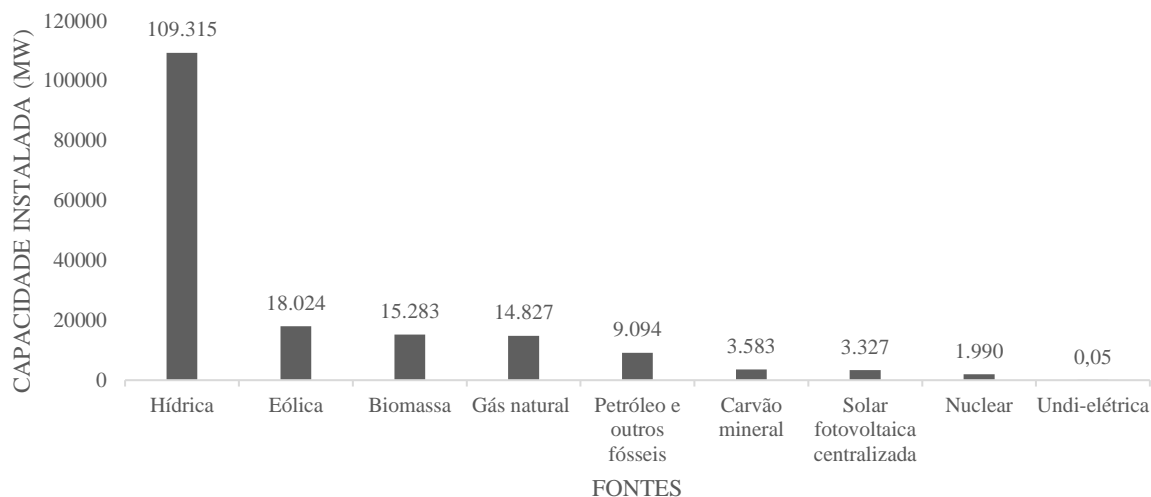
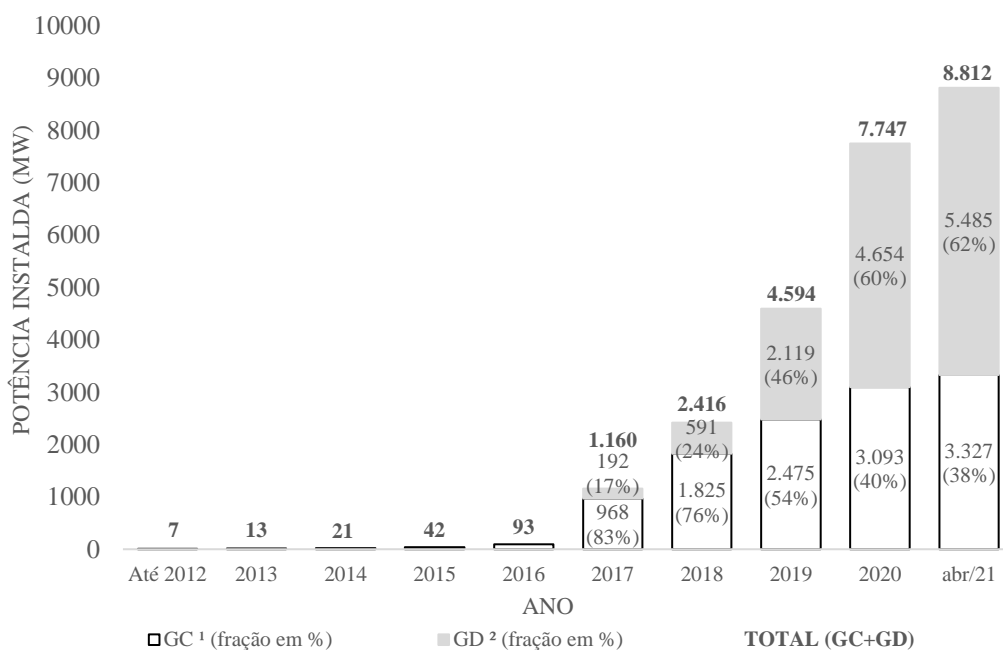


FIGURA 1. Matriz de energia elétrica brasileira.

Fonte: Adaptado de [7].

Através da Figura 1 é possível verificar que a potência instalada referente à energia solar fotovoltaica centralizada atingiu 3.327 MW. Quando comparada às outras fontes renováveis da matriz elétrica brasileira, como hídrica (109.315 MW), eólica (18.024 MW) e biomassa (15.283 MW), a representatividade da fonte solar fotovoltaica centralizada se mostra inferior. No entanto, juntamente com a energia solar fotovoltaica distribuída, conforme a Figura 2, totalizaram (em abril de 2021) 8.812 MW de potência instalada, onde é possível notar a representatividade crescente e mais significativa da geração solar fotovoltaica distribuída [7].



¹ GC: Geração Centralizada. ² Geração Distribuída.

FIGURA 2. Evolução da energia solar fotovoltaica no Brasil (de 2012 a abril de 2021).

Fonte: Adaptado de [7].

De acordo com [8], com o passar dos anos, a energia solar, especialmente fotovoltaica, vem se popularizando no mercado, de forma que um dos maiores impasses para a sua aquisição era o custo inicial do sistema, onde o avanço da tecnologia fotovoltaica e a maior concorrência entre os fabricantes possibilitaram a disposição de preços mais acessíveis, com uma tendência de queda ao longo do tempo, conforme esperado, em função da queda dos custos internacionais.

Contudo, ao mesmo tempo, a disseminação da tecnologia fotovoltaica também ocasionou a disponibilização, no mercado, de equipamentos com baixa qualidade e eficiência, implicando em uma geração de energia elétrica inferior à esperada, sendo este um dos tipos de perdas por *mismatch*. Também conhecido por incompatibilidade ou descasamento, o *mismatch* é um dos principais tipos de perdas em um sistema fotovoltaico e suas causas podem ser, a saber, temperatura elevada, sombreamento, sujeira acumulada, degradação desigual dos módulos, eficiência dos equipamentos, entre outras [8].

2.1. Temperatura

A temperatura das células fotovoltaicas varia diretamente com a temperatura do local de instalação do sistema, dessa forma, para temperaturas muito elevadas, a eficiência do sistema será reduzida [9]. A Figura 3 apresenta a variação da tensão e da corrente da célula fotovoltaica diante da variação da temperatura (25, 50 e 75 °C), sob a condição de irradiação solar de 1 kW/m².

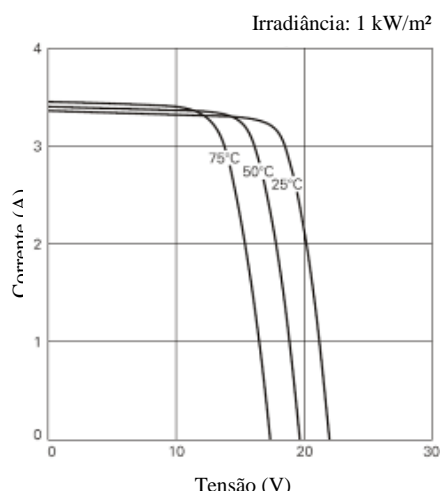


FIGURA 3. Características de corrente e tensão em uma célula fotovoltaica, diante da variação de temperatura.
Fonte: Adaptado de [9].

Como pode ser observado na Figura 3, com o aumento da temperatura, a tensão diminui de forma mais significativa, ou seja, sofre interferência mais direta, enquanto o aumento da corrente elétrica é menos expressivo [9].

2.2. Sombreamento

Assim como a temperatura, o sombreamento também é um dos principais fatores que interferem na geração do sistema fotovoltaico. De acordo com a Figura 4, a curva P-V (Potência \times Tensão) dos módulos apresenta somente um ponto de máxima potência em condições regulares, e mais de um ponto de pico se o módulo é parcialmente sombreado, devido receber uma menor irradiação solar, com conseqüente queda na tensão, e aumento da corrente elétrica e da temperatura, ocasionando *hotspots* [9].

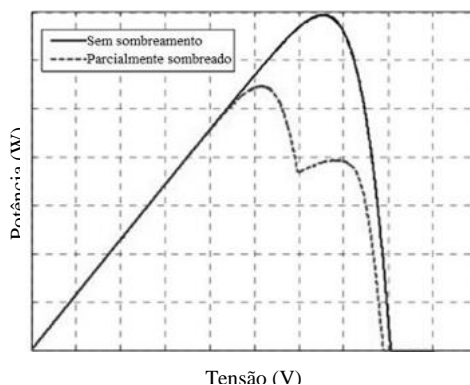


FIGURA 4. Curvas P-V de um sistema fotovoltaico sem sombreamento e parcialmente sombreado.
Fonte: Adaptado de [9].

Além disso, através da análise da Figura 4, também é possível notar que o módulo fotovoltaico, quando parcialmente sombreado, apresenta um ponto de máximo global inferior quando comparado à situação do módulo exposto a condições uniformes e dois pontos de máximos locais. Este efeito reduz o rendimento do módulo fotovoltaico e pode, inclusive, danificá-lo [9].

2.3. Sujeira

Definida como qualquer material particulado composto por pequenas quantidades de pólen, células humanas/animais, fibras de carpete/materiais têxteis e outras microareias. O comportamento da deposição e a taxa de acumulação de sujeira podem variar significativamente em diferentes localidades. Esses fatores são baseados na geografia, no clima e na urbanização da região. Tratando-se da geração fotovoltaica, perdas por acúmulo de sujeira podem ser mitigadas através da limpeza da superfície dos módulos [10].

[10] afirma que o acúmulo de sujeira ocasiona pequenas sombras sobre as células fotovoltaicas, podendo reduzir o rendimento do sistema como um todo, pois a célula sobre a qual incidir a menor quantidade de irradiação solar determinará a corrente de geração do módulo e, conseqüentemente, a geração do conjunto de módulos. Além disso, uma célula, quando sombreada, pode atuar como uma carga, ocasionando aquecimento do módulo e possível dano.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Esta seção apresenta a metodologia proposta nesta pesquisa, cujas etapas são apresentadas na Figura 5, para a análise de perdas por *mismatch* em dois sistemas fotovoltaicos distribuídos conectados à rede elétrica, instalados em duas UCs (unidades consumidoras) residenciais de baixa tensão localizadas na cidade de Mossoró/RN.

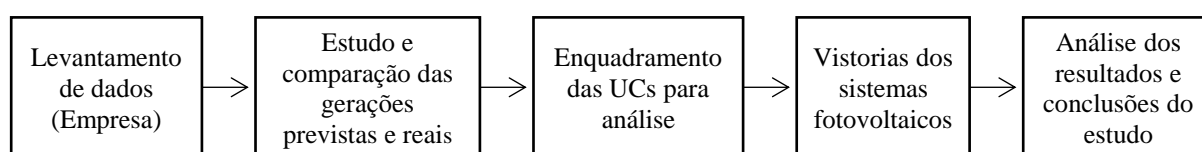


FIGURA 5. Fluxograma dos procedimentos executados no trabalho.

Fonte: Autoria Própria, 2020.

A primeira etapa consistiu no levantamento de dados fornecidos pela empresa do ramo de energia solar fotovoltaica, seguida do estudo e comparação das gerações previstas (no dimensionamento) e reais (conforme o monitoramento dos sistemas) e do enquadramento das UCs para análise. Posteriormente foram realizadas vistorias dos sistemas fotovoltaicos para inspeção técnica e visual das instalações.

3.1. Ambiente de pesquisa e Organização de dados

A pesquisa foi realizada baseada em dados fornecidos por uma das maiores empresas de energia solar fotovoltaica da região. A empresa localiza-se em Mossoró-RN e atua na área desde 2017, período em que a empresa realizou as primeiras instalações de sistemas fotovoltaicos. Os dados fornecidos foram analisados para realização da comparação entre as gerações previstas e reais de sistemas fotovoltaicos com mais de um ano de operação.

Dentre os sistemas fotovoltaicos do portfólio da empresa em operação a, no mínimo, um ano, foram pré-selecionados dez para o estudo. Na Tabela 1 são apresentadas as suas respectivas potências instaladas e gerações médias mensais previstas. Dentre os dez sistemas fotovoltaicos pré-selecionados, foi observada uma equivalência da potência instalada entre os sistemas 3 e 6, e entre os sistemas 5 e 7.

TABELA 1. Potências instaladas e gerações médias mensais previstas dos sistemas fotovoltaicos pré-selecionados.

| Sistemas Fotovoltaicos | Potência Instalada (kWp) | Geração Prevista (kWh/mês) |
|------------------------|--------------------------|----------------------------|
| 1 | 5,28 | 687,70 |
| 2 | 4,13 | 570,00 |
| 3 | 7,25 | 1.008,00 |
| 4 | 4,76 | 619,00 |

| | | |
|----|-------|----------|
| 5 | 3,90 | 487,00 |
| 6 | 7,26 | 909,00 |
| 7 | 3,90 | 487,00 |
| 8 | 5,94 | 772,00 |
| 9 | 4,20 | 546,00 |
| 10 | 31,05 | 3.912,00 |

Fonte: Autoria própria, 2020.

Para uma análise mais precisa, os sistemas fotovoltaicos 3, 5, 6 e 7 foram enquadrados no objeto de estudo, já que estes podem ser comparados entre si devido à semelhança da potência instalada. Também foram indicados os dados (fabricante, modelo, potência e quantidade) dos equipamentos utilizados em cada sistema. As Tabelas 2 e 3 apresentam os dados dos módulos fotovoltaicos e dos inversores, respectivamente.

TABELA 2. Informações dos módulos fotovoltaicos instalados nos sistemas fotovoltaicos especificados.

| <i>Sistemas Fotovoltaicos</i> | <i>Módulos Fotovoltaicos</i> | | | |
|-------------------------------|------------------------------|---------------------------------|----------------------|-------------------|
| | <i>Fabricante</i> | <i>Modelo</i> | <i>Potência (Wp)</i> | <i>Quantidade</i> |
| 3 | Canadian | CS3K-290P - POLI SI (120 CELLS) | 290 | 25 |
| 5 | Canadian | CS6U-325P - POLI (72 CELLS) | 325 | 12 |
| 6 | Canadian | CS6U-330P - POLI (72 CELLS) | 330 | 22 |
| 7 | JA Solar | JAP72S01-325/SC | 325 | 12 |

Fonte: Autoria própria, 2020.

TABELA 3. Informações dos inversores instalados nos sistemas fotovoltaicos especificados.

| <i>Sistemas Fotovoltaicos</i> | <i>Inversor</i> | | |
|-------------------------------|-------------------|----------------------|-------------------|
| | <i>Fabricante</i> | <i>Potência (Wp)</i> | <i>Quantidade</i> |
| 3 | Fronius | 5,00 | 1 |
| 5 | Fronius | 4,00 | 1 |
| 6 | Fronius | 6,00 | 1 |
| 7 | ABB | 3,30 | 1 |

Fonte: Autoria própria, 2020.

Nas Tabelas 2 e 3 é possível verificar que as características dos módulos fotovoltaicos e dos inversores variam entre os quatro sistemas fotovoltaicos. Os sistemas 3 e 6 possuem módulos fotovoltaicos do mesmo fabricante (Canadian), diferenciando entre si pelos seus modelos, potência e, conseqüentemente, a quantidade; enquanto os inversores são do mesmo fabricante (Fronius), mas com potências diferentes. Já a distinção dos módulos fotovoltaicos dos sistemas 5 e 7 ocorre pelo fabricante, sendo o 5 da Canadian e o 7 da JA Solar, porém possuem as mesmas potências e quantidades; enquanto os inversores são de fabricantes e potências diferentes, sendo o 5 da Fronius, e o 7 da ABB.

Após o levantamento de dados e suas respectivas análises, o estudo seguiu para a etapa técnica, onde foi observado o monitoramento da geração dos sistemas fotovoltaicos em estudo, consultados nos *sites* dos respectivos inversores. Em seguida, foram realizadas visitas para realização da vistoria das instalações para análise e verificação das observações levantadas previamente.

4. RESULTADOS

Nesta seção é realizada a comparação entre as gerações previstas e reais dos sistemas fotovoltaicos 3 e 6, assim como dos sistemas fotovoltaicos 5 e 7, previamente selecionados, para que sejam discutidas as possíveis causas de diferenças entre os dados analisados e suas respectivas propostas de solução.

4.1. Monitoramento

A segunda etapa do estudo consistiu na análise da eficiência dos sistemas fotovoltaicos, diante dos dados de gerações previstas e reais. Os dados de geração real foram consultados nos *sites* do monitoramento de cada inversor, onde foi considerado o período de análise de outubro de 2018 até dezembro de 2019. A Figura 6 apresenta a comparação entre a geração média mensal prevista e real dos sistemas fotovoltaicos 3 e 6, e a Figura 7 apresenta os respectivos dados dos sistemas 5 e 7.

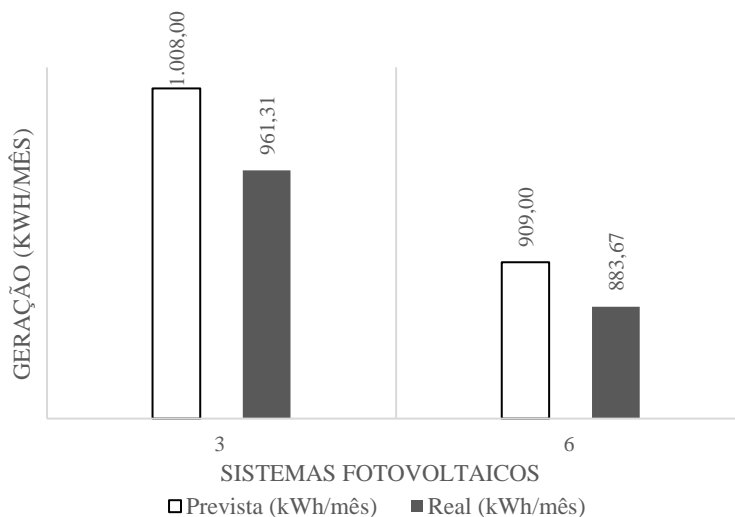


FIGURA 6. Comparativo entre a geração prevista e a geração real dos sistemas fotovoltaicos 3 e 6.

Fonte: Autoria própria, 2020.

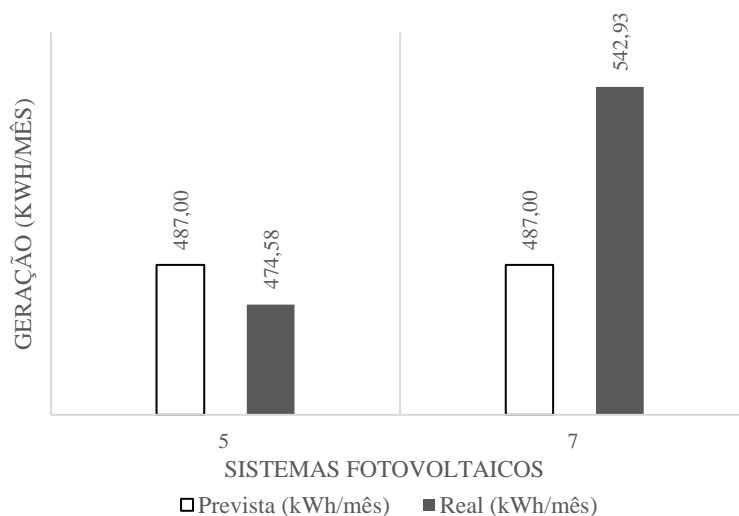


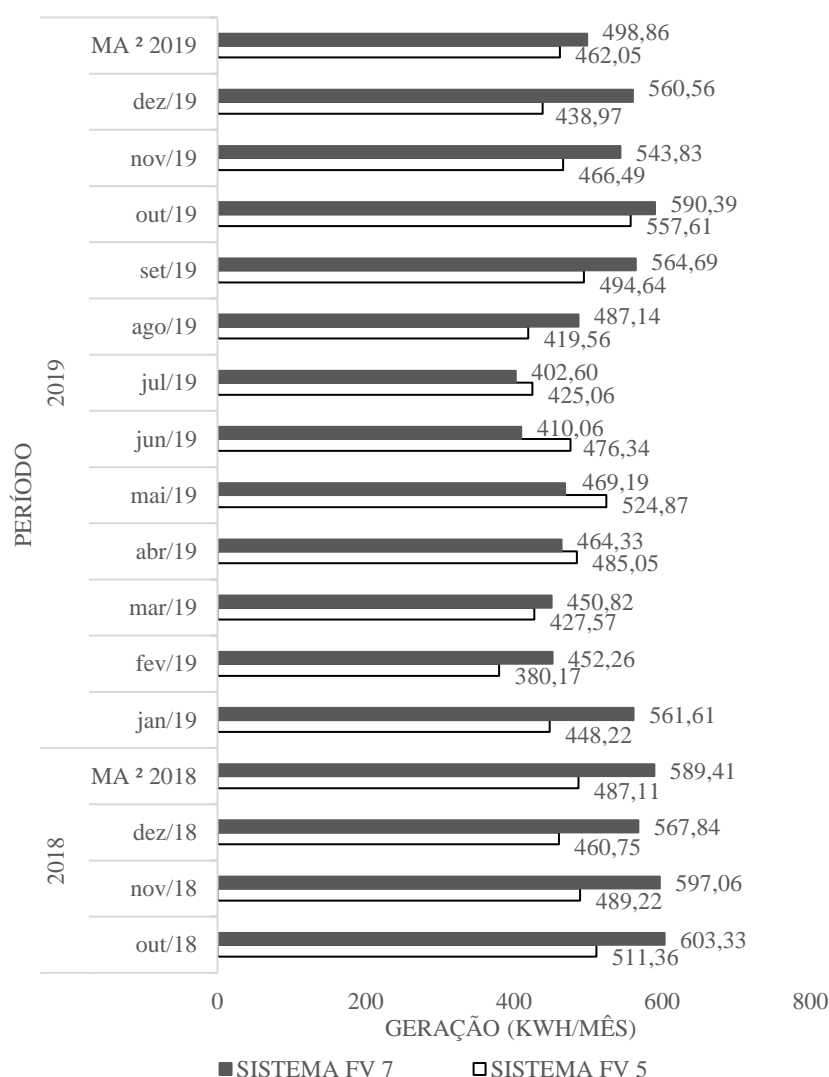
FIGURA 7. Comparativo entre a geração prevista e a geração real dos sistemas fotovoltaicos 5 e 7.

Fonte: Autoria própria, 2020.

De acordo com a Figura 6, verifica-se que as gerações médias reais dos sistemas fotovoltaicos 3 e 6 são inferiores às gerações médias previstas. Sendo assim, os sistemas 3 e 6 foram descartados da análise, pois, apesar de possuírem potências instaladas similares, a média de suas gerações reais se apresentaram inferiores às esperadas. Por outro lado, de acordo com a Figura 7, os sistemas fotovoltaicos 5 e 7 se enquadraram na finalidade do estudo, onde é possível comparar a geração de dois sistemas, onde um deles (7) apresenta geração real superior à geração prevista, enquanto o segundo (5) apresenta geração real inferior à prevista, para que seja possível a identificação de possíveis perdas por *mismatch*.

Ainda de acordo com a Figura 7, os dados de geração média mensal prevista e real do sistema 5 são, respectivamente, 487 kWh/mês e 474,58 kWh/mês, ou seja, a geração média mensal real equivale à, aproximadamente, 97,45% da geração média mensal esperada. Já para o sistema 7, os dados de geração média mensal prevista são 487 kWh/mês e 542,93 kWh/mês, ou seja, a geração média mensal real equivale à, aproximadamente, 111,48% da geração média mensal esperada. Para um maior detalhamento foi necessário

verificar os dados mensais, de outubro de 2018 a dezembro de 2019, de geração real para os dois sistemas fotovoltaicos em análise, conforme apresentado na Figura 8.



³ MA.: Média Anual.

FIGURA 8. Comparativo entre a geração real dos sistemas fotovoltaicos 5 e 7.

Fonte: Autoria própria, 2020.

Através da Figura 8 percebe-se a significativa diferença entre a geração mensal dos dois sistemas fotovoltaicos, onde o sistema 7 apresenta geração mensal superior ao sistema 5 na maioria dos meses. Os únicos meses em que o sistema 5 ultrapassou a geração do sistema 7 foi no intervalo de abril a julho de 2019. Além disso, a geração média prevista dos sistemas fotovoltaicos 5 e 7 é de 487 kWh/mês (por sistema), onde o sistema 5 gerou acima do previsto em cinco meses do período em análise (outubro e novembro de 2018, e em maio, setembro e outubro de 2019) e o sistema 7 gerou acima do previsto em nove meses do período em análise (de outubro de 2018 a janeiro de 2019, e de agosto a dezembro de 2019).

4.2. Vistorias das instalações

Para uma melhor avaliação da divergência dos dados de geração, apresentados nas Figuras 7 (análise comparativa entre as médias das gerações previstas e reais dos sistemas fotovoltaicos 5 e 7) e 8 (análise comparativa entre a geração mensal real dos sistemas 5 e 7), foram realizadas visitas aos locais de instalação dos sistemas 5 e 7, para uma análise técnica e visual.

Nas visitas, inicialmente, foi feita a análise dos equipamentos mais acessíveis (inversor, *string box* e suas respectivas conexões), de forma a verificar as suas condições de funcionamento. Posteriormente, também foi feita a verificação dos módulos fotovoltaicos quanto à presença de sombreamento, acúmulo de sujeira e

temperatura. Para a verificação da temperatura foi utilizado um termovisor (da marca FLIR), apresentado na Figura 9.

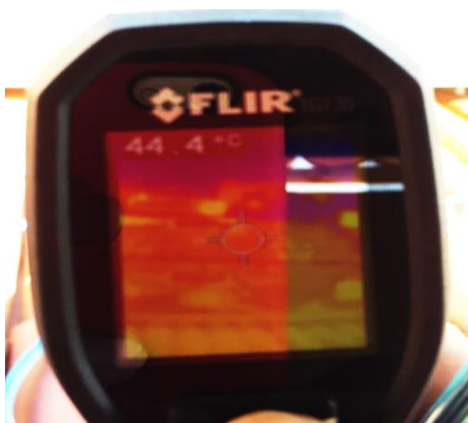


FIGURA 9. Termovisor FLIR utilizado para leitura térmica dos módulos fotovoltaicos.
Fonte: Autoria própria, 2020.

A visita ao local de instalação do sistema fotovoltaico 5, indicado na Figura 10, ocorreu em 20 de janeiro de 2020, por volta das 14:30 horas. Nesta visita, verificou-se que os equipamentos mais acessíveis (inversor, *string box* e suas respectivas conexões), visualmente, estavam em condições adequadas de funcionamento. Também verificou-se, através do termovisor, a leitura térmica dos módulos fotovoltaicos, onde foram obtidos dados em torno de 45 °C, dentro do esperado para o horário da verificação.



FIGURA 10. Local de instalação do sistema fotovoltaico 5: (a) Geral; (b) Aproximado.
Fonte: [11].

Contudo, foi possível identificar possíveis perdas por efeito *mismatch*, onde há árvores posicionadas na face posterior à instalação, como mostra a Figura 10, vindo a acarretar sombreamento. Além da perda pelo sombreamento, ao analisar a disposição dos módulos, foi possível constatar que a sua orientação não é favorável para uma maior captação e aproveitamento da irradiação solar incidente, pois os prédios ao redor da residência também provocam o bloqueio da irradiação solar até a superfície dos módulos.

Além disso, o proprietário do sistema solar fotovoltaico 5 também relatou que identificou que os registros da geração do sistema aumentam, consideravelmente, após a realização das manutenções preventivas programadas pela empresa responsável (que pode ter intervalos de 6 meses ou de acordo com a necessidade do cliente e do sistema), devido, essencialmente, ao acúmulo de sujeiras (principalmente poeira) na superfície dos módulos fotovoltaicos.

Concluída a vistoria do sistema fotovoltaico 5, foi realizada a visita ao local de instalação do sistema 7, indicado na Figura 11. Esta visita também ocorreu no dia 20 de janeiro de 2020, em torno das 16:00 horas. Nesta visita, verificou-se, assim como no sistema 5, que os equipamentos mais acessíveis (inversor, *string box*

e suas respectivas conexões), visualmente, estavam em condições adequadas de funcionamento. Também foi verificada, através do termovisor, a leitura de temperaturas dentro do esperado para o horário da verificação.



FIGURA 11. Local de instalação do sistema fotovoltaico 7: (a) Geral; (b) Aproximado.

Fonte: [12].

Diferentemente do sistema fotovoltaico 5, no local de instalação do sistema 7 não foram identificados sombreamentos, onde foi possível constatar que a orientação dos módulos era adequada e livre de sombreamento por qualquer objeto ou prédio ao redor, em qualquer horário do dia. Quanto ao acúmulo de sujeira, o proprietário do sistema 7 relatou que as manutenções, inclusive de limpeza, eram realizadas sempre que identificadas necessidades visuais ou por alteração da geração.

5. CONCLUSÃO

Para o desenvolvimento deste estudo foi necessária a coleta de dados para que se tornasse possível a análise da presença de perdas por *mismatch* em sistemas fotovoltaicos, bem como a apresentação das possíveis causas e respectivas soluções. É perceptível que as perdas por *mismatch* sejam comuns e frequentes em sistemas de geração fotovoltaica, de modo que ao analisar os dez sistemas previamente selecionados, provavelmente, todos já apresentaram algum tipo de perda durante a geração de energia elétrica.

Diante da análise comparativa entre as gerações previstas e reais dos dois sistemas fotovoltaicos estudados, instalados em UCs localizadas em Mossoró-RN, foi possível observar claramente a diferença entre a geração prevista e a geração real de um dos sistemas (identificado como 5), devido a perdas por *mismatch*, especialmente tratando-se de sombreamento, acúmulo de sujeira e orientação dos módulos fotovoltaicos. Tais problemas podem ser evitados ou corrigidos.

O sombreamento e orientação dos módulos fotovoltaicos devem ser analisados no estudo prévio à instalação do sistema fotovoltaico, para que a posição e orientação dos módulos considerem os pontos estratégicos para a captação de irradiação solar. Outra forma de reduzir os prejuízos ocasionados pelo sombreamento é eliminando os *hotspots* com a utilização de diodo *by-pass*. Além disso, o acúmulo de sujeira pode ser remediado pela limpeza periódica dos módulos, cuja recomendação de realização é indicada pela empresa responsável pelas manutenções preventivas.

Já o sistema fotovoltaico 7 é um exemplo de instalação com elevada eficiência na geração de energia elétrica. No estudo referente a este sistema não houve a constatação de perdas significativas, diante da comparação entre os dados de geração estimada e real; dado que não foram verificados sombreamentos, acúmulo de sujeira na superfície dos módulos fotovoltaicos, temperaturas elevadas nos módulos e, ainda, verificou-se que a instalação dos módulos foi realizada de forma na qual estes apresentam orientação adequada e que suas manutenções preventivas, inclusive de limpeza, eram realizadas sempre que necessárias.

As análises e resultados deste estudo são de grande importância para empresas que atuam na área de energia solar fotovoltaica, assim como para os seus clientes. Além disso, sugere-se a continuidade deste objeto de estudo para a identificação de outros tipos de perdas, possibilitando a minimização ou, quando possível, a mitigação destas perdas em instalações de sistemas fotovoltaicos futuras (dado que este processo inicia na etapa de projeto do sistema), promovendo a disseminação do aproveitamento desta fonte alternativa de energia.

REFERÊNCIAS

- [1] Guerrero, J.; Muñoz, Y.; Ibañez F.; Ospino, A. Analysis of Mismatch and Shading Effects in a Photovoltaic Array Using Different Technologies. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. p. 1-9, 2013.
- [2] Mansur, A. A.; Amin, M. R.; Islam, K. K. Performance Comparison of Mismatch Power Loss Minimization Techniques in Series-Parallel PV Array Configurations. Journal MDPI – Energies, p. 1-21, 2019.
- [3] Alonso, R. H. Posicionamento Eficiente de Módulos Fotovoltaicos em Plantas Solares no Ambiente Urbano. Tese de Doutorado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016.
- [4] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). Resolução Normativa N° 482. 2012. 13 p. Disponível online: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf> (acesso em: 13/06/2021).
- [5] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). Resolução Normativa N° 687. 2015. 54 p. Disponível online: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf> (acesso em: 13/06/2021).
- [6] ATLAS SOLARIMÉTRICO DO BRASIL. Recife: Editora Universitária da UFPE, 2000.
- [7] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA (ABSOLAR). Energia Solar Fotovoltaica No Brasil. Disponível online: <https://www.absolar.org.br/mercado/infografico/> (acesso em 13/06/2021).
- [8] Galdino, M. A. Análise de Custos Históricos de Sistemas Fotovoltaicos no Brasil. IV Congresso Brasileiro de Energia Solar e V Conferência Latino-Americana da ISES – São Paulo, 2012.
- [9] Souza, D. V.; Tapia, G. I. M. Análise do Sombreamento entre Painéis Fotovoltaicos. VII Congresso Brasileiro de Energia Solar - Gramado, 2018.
- [10] Barbosa, E. R.; Faria, M. S. F.; Gontijo, F. B. Influência da Sujeira na Geração Fotovoltaica. VII Congresso Brasileiro de Energia Solar - Gramado, 2018.
- [11] SOLLS. Portfólio. Disponível online: <http://solls.com.br/?portfolio=projeto-residencial-elenilson> (acesso em 25/01/2020).
- [12] SOLLS. Portfólio. Disponível online: <http://solls.com.br/?portfolio=projeto-residencial-jozenilda> (acesso em 25/01/2020).