

ANÁLISE DE PRODUTIVIDADE DE USINAS SOLARES FOTOVOLTAICAS NO AGRESTE PERNAMBUCANO A PARTIR DE DADOS MEDIDOS

YIELD ANALYSIS OF PHOTOVOLTAIC SOLAR PLANTS IN AGRESTE PERNAMBUCANO FROM MEASURED DATA

Vanuza Alves Teixeira

vanuza.alves.t@gmail.com

Manoel Henrique de O. P. Filho

manoel@pesqueira.ifpe.edu.br

RESUMO

Existem diversos trabalhos que tratam sobre desempenho de usinas solares fotovoltaicas, indicando que estas, apresentam perdas de variadas naturezas e que ao longo do seu tempo de operação, estas perdas podem comprometer o desempenho das usinas. Sabendo disto, é nítida a importância de se monitorar o desempenho de sistemas fotovoltaicos e para isto, existem metodologias voltadas para esta aplicação, uma das mais comuns é a utilização do indicador *Yield* (produtividade do sistema ou rendimento energético). O objetivo deste trabalho é fazer uma análise do *Yield* de 31 usinas solares instaladas em 7 cidades da região Agreste de Pernambuco. Esta análise contou com o levantamento dos dados técnicos e de configuração das usinas solares, dados de geração de energia medidos por meio dos inversores fotovoltaicos e confecção de um mapa para localizar e agrupar os sistemas. O mapa foi desenvolvido no QGIS, um programa livre. Com a análise do *Yield* das 31 usinas solares, foi verificado que, a diferença percentual dos valores de *Yield* entre as usinas solares de um mesmo grupo, está entre 78% e 99% em relação ao valor máximo observado. Levando em consideração o *Yield* em todas as cidades, tem-se uma diferença percentual de 76,35% entre o valor máximo encontrado (4,80 kWh/kW_p) e o valor mínimo (3,66 kWh/kW_p). Desse modo, os resultados comprovam a importância de se trabalhar com *Yield*, pois permite analisar o desempenho da operação de usinas, por meio da comparação entre sistemas instalados na mesma localidade.

Palavras-chave: Energia solar. Desempenho. *Yield*.

ABSTRACT

There are several studies that deal with the performance of photovoltaic solar plants, indicating that these, present losses of various natures and that over their time of operation, these losses can compromise the performance of the plants. Knowing this, it is clear the importance of monitoring the performance of photovoltaic systems and for this, there are methodologies aimed at this application, one of the most common is the use of the Yield indicator (system productivity or energy yield). The objective of this work is to make a Yield analysis of 31 solar plants installed in 7 cities in the Agreste region of Pernambuco. This analysis included the survey of technical data and configuration of solar plants, power generation data measured through photovoltaic inverters and making a map to locate and group the systems. The map was developed in QGIS, a free program. With the yield analysis of the 31 solar plants, it was verified that the percentage difference of yield values between solar plants of the same group is between 78% and 99% in relation to the maximum observed value. Taking into account the Yield in all cities, there is a percentage difference of 76.35% between the maximum value found (4.80 kWh/kW_p) and the minimum value (3.66 kWh/kW_p). Thus, the results prove the importance of working with Yield, because it allows analyzing the performance of the operation of plants, by comparing systems installed in the same locality.

Keywords: Solar energy. Performance. Yield.

1. INTRODUÇÃO

Baseado no relatório de pesquisa de mercado da Greener (2019), é notório o desenvolvimento do setor de energias renováveis, desde a publicação da resolução normativa 482/12, atualização da 685/15 e mais recentemente a Lei 14.300/2022. A criação dessas normas abriu espaço para a inserção de novas fontes de energia, como solar e eólica, no mercado de geração distribuída e centralizada. Segundo dados do ONS (2022), o número de usinas implantadas vem crescendo na matriz energética brasileira, uma vez que nos leilões de 2019, 17 usinas solares foram aceitas para a comercialização no horizonte de 2025.

Com a expansão da energia solar fotovoltaica, surgiu a necessidade de se monitorar os sistemas de geração para avaliar as suas reais condições de operação e garantir que os sistemas instalados operem com a máxima eficiência possível (RAMPINELLI *et al.*, 2020). Na geração distribuída, os inversores fotovoltaicos são comumente utilizados para realizar o monitoramento da geração de energia em sistemas de pequeno e médio porte.

Partindo de metodologias de referência descritas por autores como Krenzinger *et al.* (2020), Krenzinger e Aguiar (2016) e Tiepolo *et al.* (2018), este trabalho teve como objetivo analisar a produtividade de usinas solares fotovoltaicas de geração distribuída no Agreste de Pernambuco com base na comparação entre sistemas que instalados em um raio de até 10 km de distância. Vale ressaltar que os sistemas fotovoltaicos analisados neste trabalho, foram instalados por uma empresa parceira do IFPE Campus Pesqueira.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1 Desempenho da operação de usinas solares fotovoltaicas

Todos os sistemas fotovoltaicos, independente da sua eficiência, apresentam perdas de diversas naturezas, no entanto, alguns fatores podem potencializar as perdas, reduzindo o desempenho dos módulos fotovoltaicos (RAMPINELLI *et al.*, 2020).

A redução da eficiência de módulos fotovoltaicos pode estar associada a processos como: degradação induzida por potencial (PID, do inglês *Potential-induced degradation*), degradação do vidro e do EVA (do inglês *Ethylene vinyl acetate*), assim como a fatores operacionais relativos a sujeiras e sombreamentos de maneira geral.

Como consequência da redução de desempenho provocados pelos fatores citados tem-se a diminuição da potência elétrica do gerador. Desse modo, reforça-se a necessidade de monitorar a operação destes sistemas a fim de avaliar o seu comportamento em termos de desempenho.

Para detectar a redução do desempenho de uma planta solar fotovoltaica, um dos indicadores frequentemente utilizado é a produtividade (relação entre a energia gerada no sistema e a potência nominal do gerador) (ZILLES *et al.*, 2012).

Trabalhos como o de Krenzinger e Aguiar (2016), Krenzinger *et al.* (2020) e Tiepolo *et al.* (2018), descrevem metodologias para o mapeamento deste indicador em determinada região, dada a sua importância.

2.2 Yield (Indicador de Produtividade ou rendimento energético)

A produtividade de um sistema fotovoltaico ou rendimento energético (reconhecido na literatura pelo termo inglês “*Yield*”) é dado pela relação entre a energia gerada em um sistema fotovoltaico e a sua potência nominal, como mostra a Equação 1 (KYMAKIS *et al.*, 2009).

$$Yield = \frac{E_{CA}}{P_{gerador}} \quad (1)$$

Onde:

Yield: Produtividade do sistema ou rendimento energético (kWh/kW_p)

E_{CA} : Energia elétrica gerada na saída do inversor (kWh)

$P_{gerador}$: Potência nominal do gerador (kW_p)

O indicador *Yield* representa o rendimento energético do sistema de geração fotovoltaica, permitindo através dele realizar comparações entre sistemas fotovoltaicos instalados na mesma localidade (MARION *et al.*, 2005; KYMAKIS *et al.*, 2009). Pereira *et al.* (2017) demonstra em seu trabalho que, dentro de um raio de aproximadamente 10 km, a variação da irradiação solar encontra-se dentro da incerteza de sua medição, tornando válida a comparação entre sistemas dentro desta faixa.

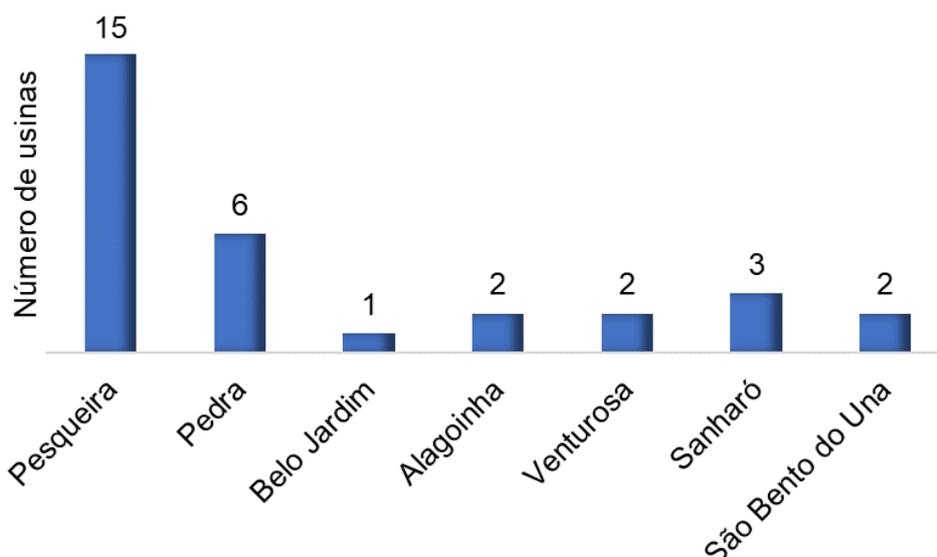
Neste trabalho, os valores de *Yield* foram calculados com base em dados de entrada medidos (dados diários de energia CA).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização deste trabalho, foi utilizado um conjunto de 31 usinas solares de microgeração e minigeração distribuída, instaladas em diferentes cidades do Agreste de Pernambuco entre os anos de 2019 e 2020, com pelo menos um ano de dados de geração completo. As usinas solares, analisadas neste trabalho, são de propriedade dos clientes da empresa Verdi Solar, a qual é parceira do IFPE Campus Pesqueira.

Estes sistemas possuem natureza residencial, comercial e industrial, sendo instalações de solo e de telhado, com potência nominal entre 2,76 kW_p e 129,20 kW_p. O gráfico da Figura 1 mostra a distribuição das 31 usinas solares nas cidades do Agreste Pernambucano.

Figura 1 - Distribuição das 31 usinas solares nas 7 cidades do Agreste de Pernambuco.



Fonte: Elaborada pelos autores.

3.1 Levantamento das informações técnicas e de configuração das usinas

Inicialmente, fez-se o levantamento das informações técnicas e de configuração das 31 plantas fotovoltaicas. Estas informações correspondem a potência dos módulos fotovoltaicos (W_p), número de módulos, potência do gerador fotovoltaico (kW_p), potência do inversor (kW), data de ativação das usinas e coordenadas geográficas (latitude e longitude) em graus decimais, como mostra a Tabela 1.

Tabela 1 - Informações técnicas e de configuração das 31 usinas solares.

USINAS	Nº MÓDULOS	POT. MÓDULOS (Wp)	POT. GERADOR (kWp)	POT. INVERSOR (kW)	LATITUDE	LONGITUDE	DATA ATIVAÇÃO
Usina 1	46	340	15,64	13	-8,355908	-36,684957	23/10/2019
Usina 2	18	365	6,57	5	-8,356961	-36,694705	24/10/2019
Usina 3	80	340	27,2	22	-8,499327	-36,945263	28/11/2019
Usina 4	158	340	53,72	40	-8,367502	-36,572900	07/12/2019
Usina 5	16	340	5,44	4	-8,108942	-34,914280	20/12/2019
Usina 6	12	345	4,14	3	-8,354994	-36,681493	13/01/2020
Usina 7	380	340	129,2	40-60 (dois inversores)	-8,506085	-36,934242	18/03/2020
Usina 8	50	345	17,25	17	-8,576105	-36,874723	21/04/2020
Usina 9	90	345	31,05	30	-8,354192	-36,692949	23/04/2020
Usina 10	14	405	5,67	4	-8,354078	-36,692962	28/04/2020
Usina 11	14	405	5,67	4	-8,356193	-36,684974	13/05/2020
Usina 12	28	345	9,66	12	-8,353756	-36,691130	13/05/2020
Usina 13	14	405	5,67	4	-8,354988	-36,693054	13/05/2020
Usina 14	12	345	4,14	3	-8,353932	-36,696588	01/06/2020
Usina 15	30	345	10,35	4 (dois inversores)	-8,355908	-36,684957	05/06/2020
Usina 16	28	405	11,34	4 (dois inversores)	-8,498560	-36,944177	08/06/2020
Usina 17	14	405	5,67	4	-8,614925	-36,495078	26/06/2020
Usina 18	66	345	22,77	20	-8,356236	-36,684978	30/06/2020
Usina 19	14	405	5,67	4	-8,359246	-36,698258	06/07/2020
Usina 20	60	345	20,7	15	-8,684913	-36,910245	06/07/2020
Usina 21	28	405	11,34	4 (dois inversores)	-8,353918	-36,684023	24/07/2020
Usina 22	8	345	2,76	3	-8,356968	-36,684140	21/08/2020

Fonte: Elaborada pelos autores.

3.2 Levantamento dos dados de Energia

Foi obtido, a partir do sistema de monitoramento da empresa, os dados de geração de energia diária (kWh) e, montado um banco de dados para o período entre 01/2021 e 12/2021, como mostra a Tabela 2.

Tabela 2 - Dados de geração solar fotovoltaica diária das 31 usinas estudadas.

DATA	USINA 1	USINA 2	USINA 3	USINA 4	USINA 5	USINA 6	USINA 7	USINA 8	USINA 9	USINA 10
01/01/2021	67,74	30,89	71,50	207,58	20,21	553,35	74,87	75,89	26,29	40,75
02/01/2021	89,90	38,49	146,30	307,30	27,57	711,50	82,85	157,11	33,38	59,80
03/01/2021	89,40	36,77	148,89	279,70	23,67	714,10	79,01	146,89	30,67	54,10
04/01/2021	66,40	27,78	121,50	222,30	18,65	574,00	72,96	117,31	23,85	43,50
05/01/2021	78,80	33,99	145,81	264,90	22,31	684,30	79,43	141,80	27,85	54,00
06/01/2021	88,00	37,28	134,30	263,70	24,01	629,80	78,00	152,50	30,71	56,20
07/01/2021	82,80	34,59	125,20	255,60	23,10	619,90	73,08	146,00	29,04	54,80
08/01/2021	74,90	31,27	128,00	251,10	20,50	608,00	73,29	131,60	25,26	49,20
09/01/2021	77,40	33,17	129,69	251,90	22,09	603,70	72,42	135,50	26,16	50,50
10/01/2021	71,70	31,16	122,20	215,20	20,20	609,00	68,86	131,50	25,72	47,10
11/01/2021	61,50	25,76	111,21	202,30	16,17	548,60	67,73	109,90	20,94	38,70
12/01/2021	68,50	28,64	118,79	205,70	19,23	567,60	63,55	115,89	22,88	41,90
13/01/2021	51,60	22,09	90,50	178,90	14,48	432,60	61,48	96,21	19,30	13,50
14/01/2021	65,80	27,82	109,71	225,80	18,16	544,10	72,18	116,90	23,46	43,20
15/01/2021	79,00	33,76	121,50	261,90	22,59	597,80	89,35	139,50	27,06	51,50
16/01/2021	86,70	37,07	151,29	276,20	24,71	726,70	79,53	153,39	31,70	56,50
17/01/2021	63,30	27,00	116,91	216,10	17,27	533,20	72,90	116,21	22,12	42,00
18/01/2021	84,30	35,89	144,80	285,20	21,99	701,50	78,81	146,69	28,75	53,10
19/01/2021	68,20	29,37	106,20	212,80	18,92	505,10	67,31	123,50	24,95	45,40
20/01/2021	53,50	23,19	97,00	184,30	15,18	465,10	68,29	96,60	20,21	35,00

Fonte: Elaborada pelos autores.

Para o cálculo do *Yield* das 31 usinas solares, foi considerada a média diária anual da energia gerada em 2021, para que fosse possível analisar o desempenho médio diário destas usinas, considerando os 365 dias do ano.

3.3 *Yield* de usinas solares com base em dados medidos

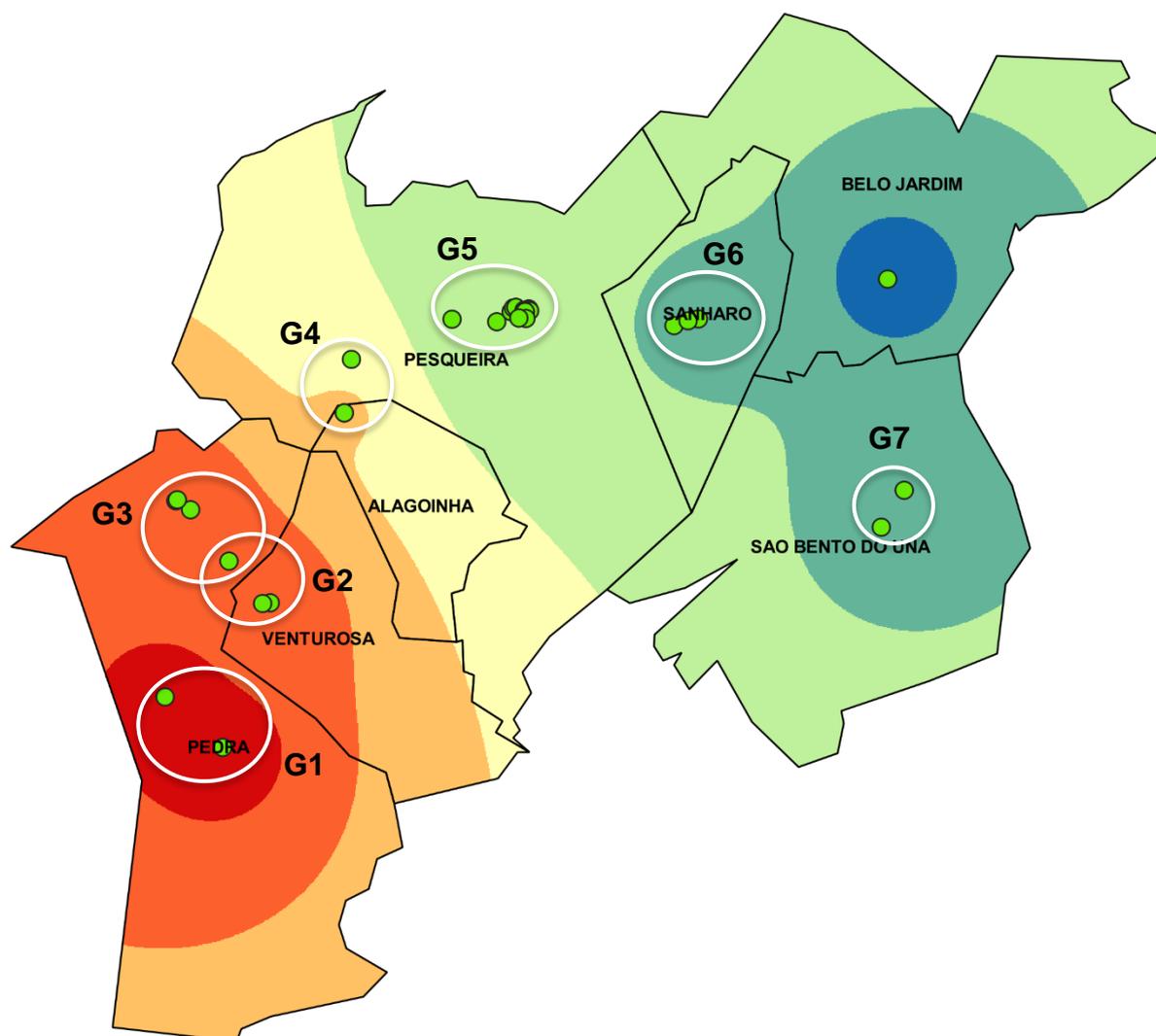
Com a obtenção do *Yield* medido de cada sistema, através da Equação 1, avaliou-se, por meio de análises gráficas, o desempenho da operação dos 31 sistemas fotovoltaicos instalados nas 7 cidades do Agreste de Pernambuco, bem como as suas

variações com base na comparação entre sistemas instalados em um raio de até 10 km.

De posse das coordenadas geográficas de cada usina, foi confeccionado um mapa temático da região Agreste de Pernambuco, mostrado na Figura 2, utilizando o programa QGIS, versão 3.16, de acordo com a metodologia descrita por Cavalcante e Pedrosa Filho (2020).

O objetivo do mapa da Figura 2 foi localizar as usinas em suas respectivas cidades e separá-las em 7 grupos (G1, G2, G3, G4, G5, G6 e G7). Cada grupo contém sistemas instalados a uma distância de no máximo 10 km, validando a comparação do *Yield* em usinas solares submetidas a mesma intensidade de irradiação (PEREIRA *et al.*, 2017).

Figura 2 - Mapa localizador e agrupador de usinas solares instaladas dentro de um raio de até 10 km.



Fonte: Elaborada pelos autores.

Para a confecção do mapa no QGIS, foi montado um arquivo em formato CSV (campo separado por vírgula), contendo valores das coordenadas geográficas de todas as usinas e os nomes das respectivas regiões de instalação.

Para iniciar o processo de construção do mapa, basta acessar o menu “camada”, na interface do programa, para adicionar o arquivo *Shapefile* (SHP), na opção de “camada vetorial”. O arquivo SHP contém o contorno da região desejada e pode ser encontrado no portal de mapas do IBGE, onde na opção de malhas territoriais pode-se obter malhas de distritos, mesorregiões, microrregiões etc. Ainda no menu “camada”, deve ser adicionado o arquivo CSV na opção “camada de texto delimitado”, contendo os pontos das usinas a serem interpolados.

É preciso atentar-se para configurar o programa com o código do sistema de referência de coordenadas (SRC) da região de interesse. Em seguida, deve ser realizada a interpolação dos pontos no mapa, acessando o menu “processar” na opção “caixa de ferramentas” e aplicado um recorte no menu “raster”, na opção “extrair e recortar pela camada de máscara”, gerada na interpolação. Após estes passos, o mapa pode ser renderizado, na opção “simbologia” em “propriedades da camada de máscara”, com o gradiente de cores desejado.

4. RESULTADOS E ANÁLISES

Os resultados apresentados a seguir são referentes a análise do *Yield* de 31 usinas solares na região Agreste de Pernambuco no período de 01/01/2021 a 12/12/2021.

4.1 Incerteza dos dados de Energia CA registrados pelo inversor

Na análise de integridade dos dados de energia CA observou-se que 20 das 31 usinas não possuíam os 365 dias de geração registrados em seu sistema de monitoramento. Baseado neste fato, foi realizado um levantamento estatístico com o intuito de analisar o percentual de incerteza dos dados de geração de energia associada ao número de dias faltantes. A causa apontada para a ausência dos dados foi o desligamento automático de usinas e falhas na conexão de internet, impossibilitando o envio dos dados dos inversores para o seu sistema de monitoramento.

De acordo com o estudo desenvolvido por Baumgartner *et al.* (2007), quando a leitura dos dados de energia pelos inversores é baseada em um intervalo de confiança na faixa de 95 %, as incertezas são da ordem de $\pm 0,2$ % a $\pm 0,6$ %. Sabendo disto, foi realizada uma simulação com as 11 usinas solares que possuíam os 365 dias completos, gerando buracos (dias faltantes) aleatórios em seus dados diários de energia, e averiguado o erro percentual, calculado pela Equação 2, na média diária anual de energia, associado ao número de buracos existentes em cada usina.

$$Erro(\%) = \frac{E_{CA \text{ com buracos}} - E_{CA \text{ sem buracos}}}{E_{CA \text{ sem buracos}}} \times 100 \quad (2)$$

Onde:

Erro(%): Erro percentual (%)

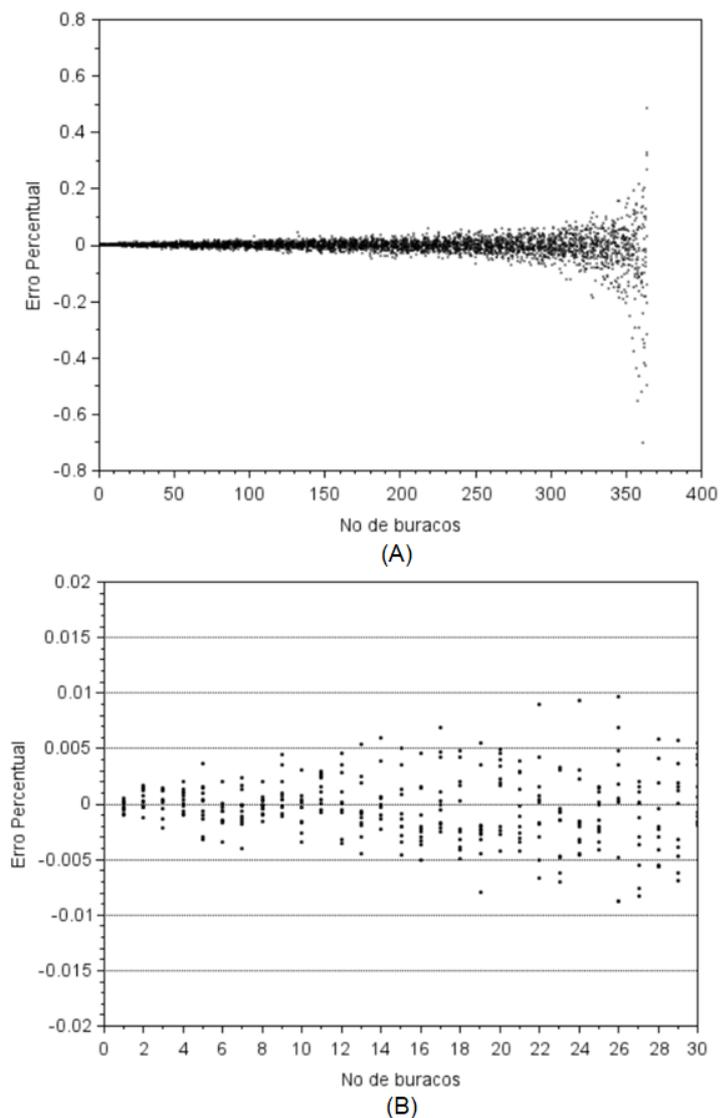
$E_{CA \text{ com buracos}}$: Energia com dias faltantes (kWh)

$E_{CA \text{ sem buracos}}$: Energia sem dias faltantes (kWh)

A Figura 3 mostra o resultado desta simulação, onde usinas com até 11 dias de dados perdidos, se mostraram dentro da incerteza de medição admitida pelo estudo de Baumgartner *et al.* (2007). Para as usinas que apresentaram um erro percentual fora da faixa admitida, foi preciso coletar os dados diretamente do inversor.

Das 20 usinas solares com falta de dados, 17 apresentaram de 1 a 10 dias sem registros de geração, estando dentro da incerteza de medição do equipamento, 3 usinas apresentaram entre 13 e 48 dias faltantes, os quais foram coletados in loco. Além disto, das 20 usinas com falta de dados 10 estão situadas na cidade de Pesqueira, 3 em Pedra, 2 em Alagoinha, 2 em São Bento do Una, 1 em Venturosa, 1 em Belo Jardim e 1 em Sanharó.

Figura 3 – Percentual de incertezas na energia média diária anual das 11 usinas, em função do número de buracos.

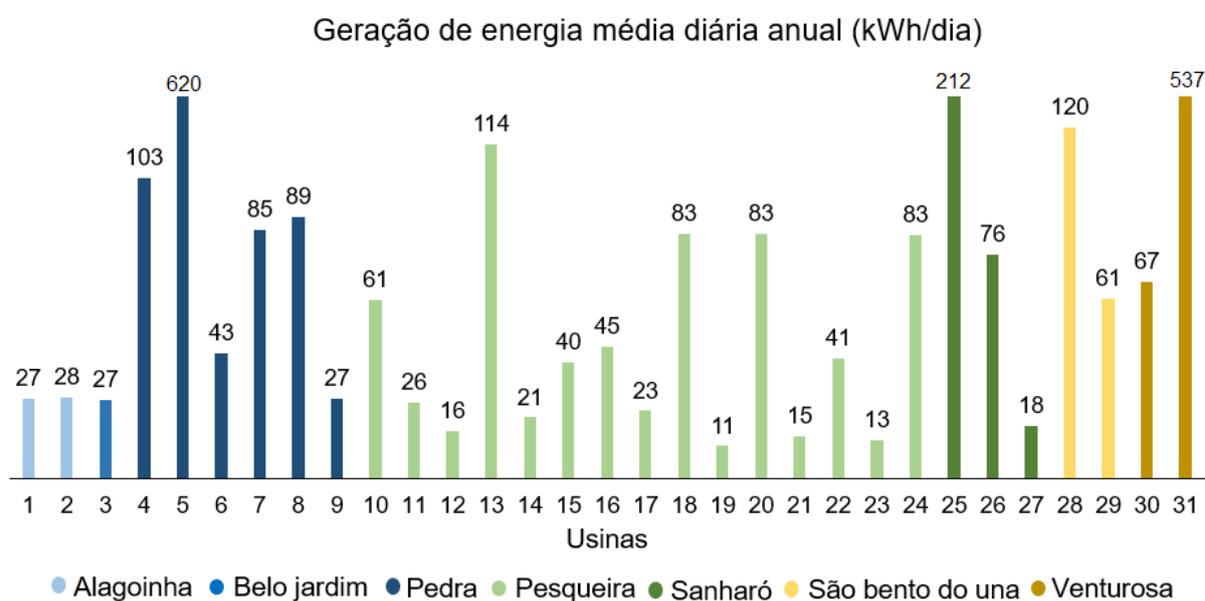


Fonte: Elaborada pelos autores.

Na Figura 3A e 3B, é apresentada, por meio do erro percentual, a incerteza nos dados da geração média diária anual, registrados pelos inversores, em função do número de dias ao longo do ano, em que não há registro de dados de energia CA. Desse modo, é possível notar, pelo comportamento do gráfico da Figura 3A, que quanto maior o número de buracos nos dados de geração, maior será o erro percentual associado à média diária anual da energia nas respectivas usinas. Na Figura 3B, nota-se que, a partir de 11 buracos, a incerteza associada aos registros de dados de energia CA destas usinas, superam a marca de $\pm 0,6\%$.

Na Figura 4, tem-se o comportamento da geração média diária anual das 31 usinas solares, com incerteza de medição de até $\pm 0,6\%$.

Figura 4 - Energia média diária anual das 31 plantas fotovoltaicas em 2021.



Fonte: Elaborada pelos autores.

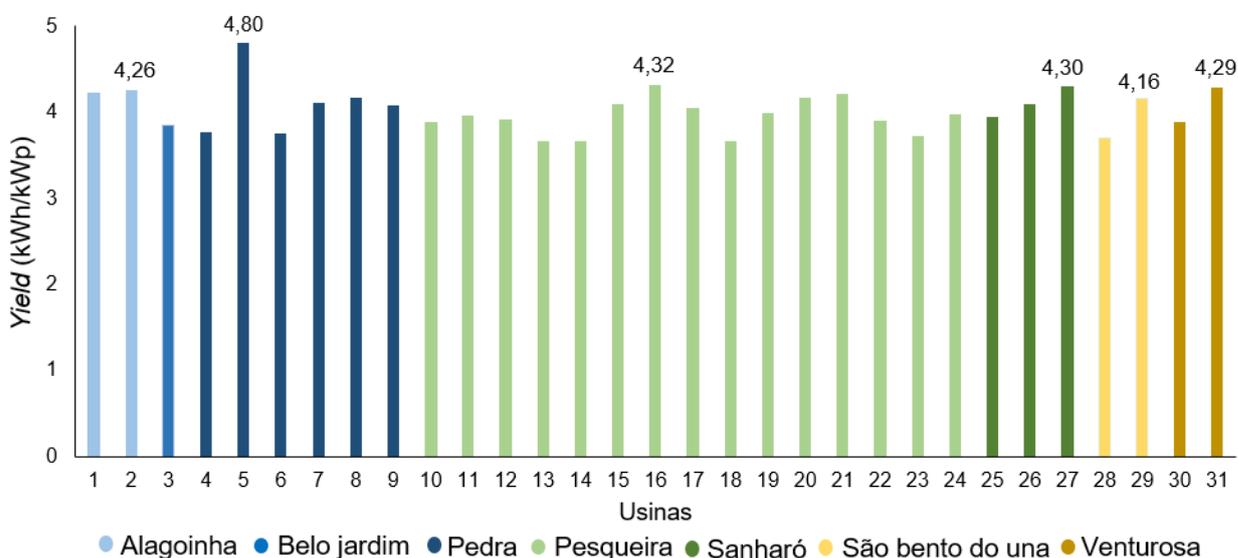
A potência instalada nestes sistemas varia de 2,76 kWp até 129,20 kWp, com geração de até 620 kWh na média diária anual.

4.2 Yield Fotovoltaico

A Figura 5 apresenta o *Yield* calculado das usinas localizadas em 7 cidades da região Agreste de Pernambuco, destacando no gráfico os maiores valores em cada uma delas. Sendo que, o valor mínimo de *Yield* correspondeu a 3,66 kWh/kWp, referente as usinas 14 e 18 na cidade de Pesqueira e o valor máximo correspondeu a 4,80 kWh/kWp, referente a usina 5 na cidade de Pedra.

Para possibilitar a comparação de *Yield* entre usinas solares, elas foram divididas em grupos (1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7), como destacado na Figura 2. Assim, foi avaliado os valores de *Yield*, a partir da comparação entre as plantas de um mesmo grupo, situadas a no máximo 10 km de distância uma das outras.

Figura 5 - *Yield* média diária anual de usinas solares fotovoltaicas no Agreste de Pernambuco, em 2021.



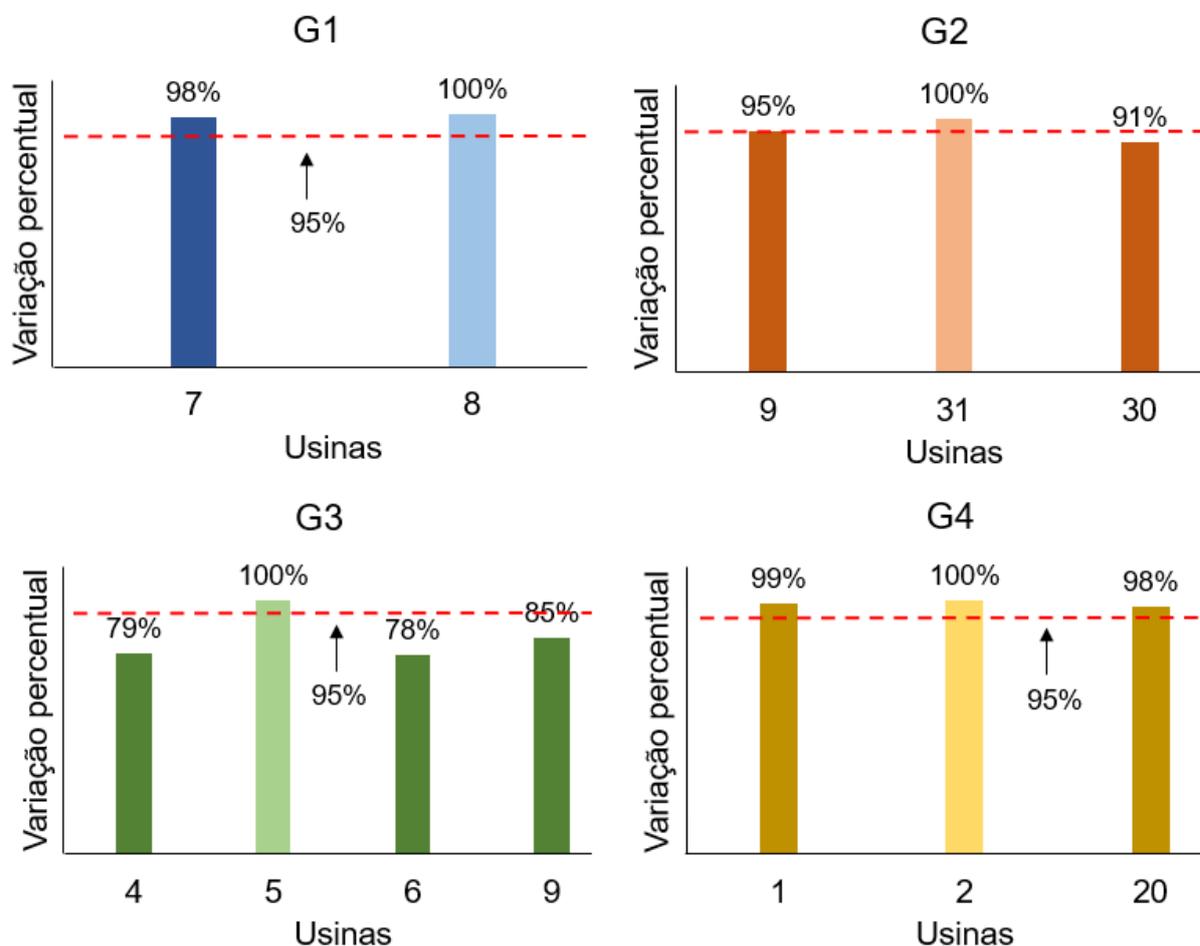
Fonte: Elaborada pelos autores.

Vale ressaltar que, a maioria desses sistemas possuem configurações de instalação distintas, ou seja, não se encontram nas mesmas condições de orientação e inclinação. De acordo com Carvalho *et al.* (2016) fatores como inclinação e direção dos sistemas fotovoltaicos, influenciam nos valores de *Yield* deles. Para a análise do *Yield*, foi calculada a variação percentual da produção de energia destas usinas, com base no maior valor de *Yield* identificado (100%) dentro de cada grupo separadamente.

Conforme o trabalho de Santos *et al.* (2012), o potencial de radiação solar recebido por cada superfície, considerando áreas submetidas as mesmas intensidades de irradiação, com diferentes inclinações e orientações de instalação, variam 5% entre uma superfície e outra. Desse modo, tem-se que, as plantas fotovoltaicas analisadas a seguir, estarão operando dentro do esperado quando apresentarem uma variação percentual do *Yield* maior ou igual a 95% em relação a planta utilizada como parâmetro de comparação (100%), a qual apresenta o maior valor de *Yield*, dentro do seu respectivo grupo.

Nos gráficos da Figura 6, observa-se as variações percentuais relativa as usinas solares dos grupos 1, 2, 3 e 4, mostrando um *Yield* de 98% em relação ao maior valor destacado em G1, entre 91% e 95% para o G2, 78% e 85% para o G3 e, entre 98% e 99% do maior valor para o G4.

Figura 6 - Variação percentual do *Yield* nas usinas do grupo 1, 2, 3 e 4.



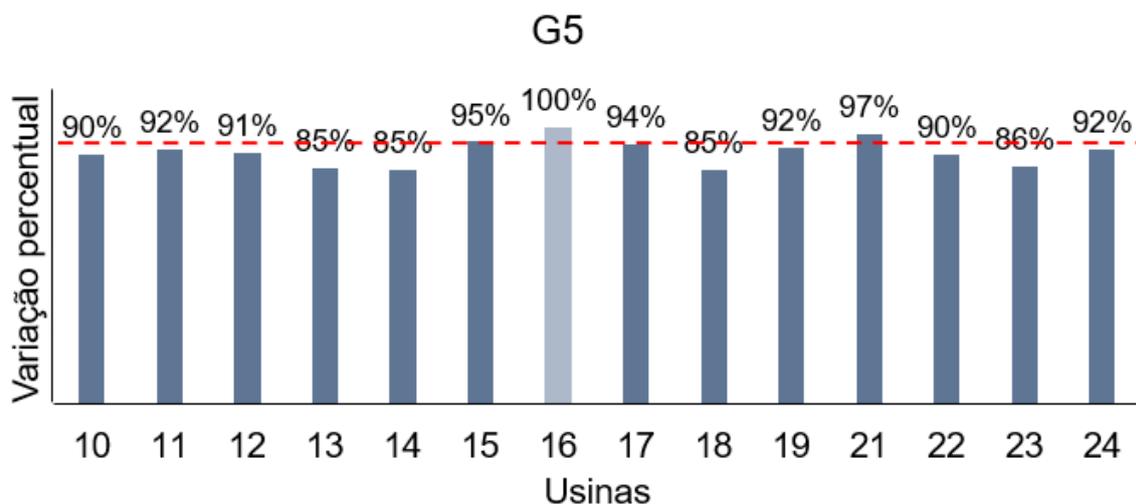
Fonte: Elaborada pelos autores.

As usinas pertencentes ao G1, G2 e G4, possuem *Yield* entre 95% e 99% em relação ao maior valor observado em seu respectivo grupo, demonstrando normalidade na operação, enquanto as usinas 4, 6 e 9 do G3, apresentam comprometimento, com *Yield* entre 78% e 85% do maior valor.

Na Figura 7, exibe-se o gráfico de *Yield* das 14 usinas do G5, contendo o maior número de usinas analisadas neste trabalho.

No gráfico da Figura 7, apenas duas usinas, 15 e 21, encontram-se com um *Yield* dentro do que se espera nesta análise. Para tanto, no restante das usinas é possível notar que o *Yield* está abaixo de 95% (variando de 85% a 92%), com destaque para as usinas 13, 14, 18 e 23 com variação percentual entre 85% e 86%, respectivamente, relativo ao valor máximo, dado pela usina 16.

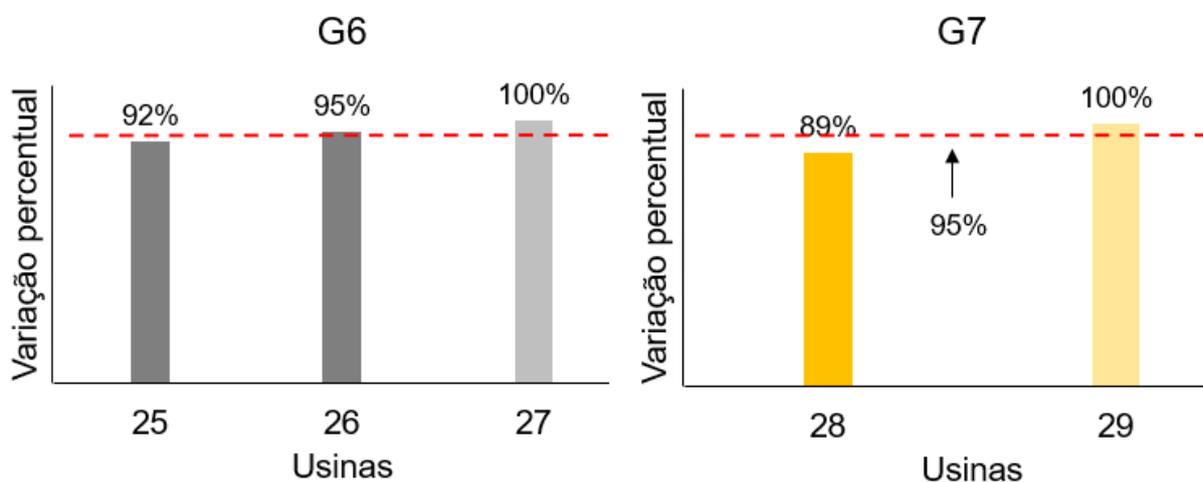
Figura 7 - Variação percentual do *Yield* nas usinas do grupo 5.



Fonte: Elaborada pelos autores.

Observando as usinas do G6 e G7 mostradas na Figura 8, nota-se que a usina 26, referente ao G6, demonstra por meio do *Yield*, que está operando com desempenho satisfatório. No entanto, as usinas 25, ainda do G6 e, 28 pertencente ao G7, encontram-se com *Yield* abaixo do que se considera ideal (maior ou igual a 95%).

Figura 8 - Variação percentual do *Yield* nas usinas do grupo 6 e 7.



Fonte: Elaborada pelos autores.

Foi possível, com base nas análises das Figuras 6, 7 e 8, avaliar o desempenho da operação das usinas solares por meio do indicador *Yield*, bem como, a variação espacial deste indicador nos diferentes sistemas com diversas inclinações e orientações.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

No presente trabalho, foi apresentado uma análise do desempenho da operação de usinas solares fotovoltaicas no Agreste de Pernambuco, por meio do indicador *Yield*, dado em média diária anual no ano de 2021.

Os dados de geração fotovoltaica utilizados nesta análise, apresentaram uma incerteza variando de 0,2 % a \pm 0,6 %, o que significa que em 20 das 31 usinas analisadas, foi utilizado dados de geração fotovoltaica com até 11 dias faltantes no ano.

Foram estudadas 31 usinas solares em diferentes configurações de instalação, localizadas em 7 cidades e divididas em 7 grupos. O *Yield* desses sistemas, variou de 3,66 kWh/kWp até 4,80 kWh/kWp. A variação percentual dos valores de *Yield* entre os sistemas pertencentes ao mesmo grupo, instalados a uma distância de até 10 km, está entre 78% e 99% do valor máximo observado no respectivo grupo analisado. Em um panorama geral, observou-se uma variação percentual de 76,35% entre o valor máximo do *Yield* encontrado e o valor mínimo.

As usinas 7, 9, 1, 20, 15, 21 e 26, referentes ao G1, G2, G3, G5, G6 e G7, respectivamente, apresentaram um *Yield* satisfatório com base na comparação entre as plantas de um mesmo grupo. No entanto, as demais usinas solares apresentaram *Yield* abaixo de 95%, demonstrando anormalidade na operação.

Por fim, valida-se a importância de se analisar a operação de sistemas fotovoltaicos por meio do indicador *Yield*, comparando usinas instaladas na mesma localidade, considerando ainda, a facilidade na obtenção do indicador.

REFERÊNCIAS

BAUMGARTNER, F. P. et al. Status and Relevance of the DC Voltage Dependency of the Inverter Efficiency. **22nd European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition**, 2007.

CARVALHO, Rafael Alexandre Silva de. et al. Análise Comparativa da Produtividade Real de Sistemas de Microgeração Fotovoltaica no Brasil. VI Congresso Brasileiro de Energia Solar, 2016, Belo Horizonte.

CAVALCANTI, Elton Barbosa; PEDROSA FILHO, Manoel Henrique de. Utilização do Programa QGIS na Elaboração de Mapa de Irradiação Solar. VIII Congresso Brasileiro de Energia Solar, 2020, Fortaleza.

GREENER. **Estudo estratégico mercado fotovoltaico de geração distribuída**. 2019.

KYMAKIS, E. et al. Performance analysis of a grid connected photovoltaic park on the island of Crete. **Energy Conversion and Management**, v. 50, p. 433-438, 2009.

KRENZINGER, Arno; AGUIAR, Daniel de. Metodologia para elaboração de mapas de produtividade fotovoltaica no Rio Grande do Sul. VI Congresso Brasileiro de Energia Solar, 2016, Belo Horizonte.

KRENZINGER, Arno; PRIEB, C. W. M.; GASPARIN, F. P. Mapas de produtividade fotovoltaica para o Rio Grande do Sul (Brasil). XVI Congreso Ibérico y XIII Congreso Iberoamericano de Energía Solar, 2020, Lisboa.

MARION, B. et al. Performance Parameters for Grid-Connected PV Systems. **31st IEEE Photovoltaics Specialists Conference and Exhibition**. Lake Buena Vista, Florida, 2005.

ONS. Balanço de Energia. 2022. Disponível em: <
<http://www.ons.org.br/paginas/energia-agora/balanco-de-energia> >. Acesso em: 23/02/2022.

PEREIRA, Enio Bueno. et al. **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. 2017

QGIS. Open-Source Geospatial Foundation (OSGeo). 2022. Disponível em: <
https://www.qgis.org/pt_BR/site/forusers/download.html >. Acesso em: 23/02/2022.

RAMPINELLI, Giuliano Arns. et al. Monitoramento real e análise de indicadores de desempenho de sistemas fotovoltaicos conectados à rede em unidades prosumidoras residenciais. VIII Congresso Brasileiro de Energia Solar, 2020, Fortaleza.

SANTOS, Ísis Portolan dos. et al. Ábacos para análise simplificada de orientação e inclinação de sistemas solares fotovoltaicos integrados a edificações. IV Congresso Brasileiro de Energia Solar e V Conferência Latino-Americana da ISES, 2012, São Paulo.

TIEPOLO, Gerson Máximo. et al. Atlas de Energia Solar do Estado do Paraná - resultados. VII Congresso Brasileiro de Energia Solar, 2018, Gramado - RS.

ZILLES, Roberto. et al. Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica. 2012.