

1250 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE EM SANTA CATARINA: GERAÇÃO MONITORADA VERSUS GERAÇÃO ESPERADA

Victor Andreas Rocha Baumann – victorarbaumann@gmail.com

Ana Lígia Papst de Abreu

Instituto Federal de Santa Catarina, Câmpus Florianópolis

Resumo. Um desafio para o crescente mercado de energia fotovoltaica distribuída conectada à rede é atender a expectativa de geração após a instalação do sistema. O objetivo deste artigo é verificar se a geração de energia elétrica estimada para o primeiro ano de operação foi alcançada em 1250 sistemas fotovoltaicos conectados à rede instalados nos anos de 2017 e 2018 no Estado de Santa Catarina. Cada um dos sistemas analisados possui dez módulos fotovoltaicos de 265 Wp e um inversor de 3 kW. Dados de geração mensal monitorados no inversor dos primeiros 12 meses completos de operação dos sistemas foram utilizados para obter uma média mensal para cada e comparar com a expectativa mínima para o primeiro ano. A expectativa mínima de geração para os sistemas elaborada anteriormente as instalações era de 249 kWh/mês. Mas somente 78% dos sistemas monitorados apresentaram geração média mensal igual ou superior ao mínimo esperado, 13% desempenharam abaixo da expectativa e 9% dos sistemas estavam com dados monitorados incompletos. Recomenda-se para estudos futuros verificar as possíveis causas para 277 sistemas ficarem fora da expectativa de geração ou sem dados monitorados.

Palavras-chave: Geração distribuída, Expectativa de geração de energia, Monitoramento de sistemas fotovoltaicos

1. INTRODUÇÃO

O consumo de energia elétrica ligado às edificações chega a 50% do consumo total brasileiro. Além disso, o consumo energético residencial vinha crescendo por volta de 2% ao ano antes da pandemia COVID-19 (EPE, 2021). Com o sancionamento do marco legal da geração própria de energia no início de 2022 e o aumento das tarifas de energia, a Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (Absolar) espera um aumento de 105% da potência instalada, passando de 8,3 GW em 2021 para 17,2 GW no final do ano de 2022. (MEDEIROS, 2022).

A energia solar é uma fonte de energia inesgotável e pode ser utilizada por meio de seu calor ou através de sua luz. No ambiente residencial, dois sistemas popularmente utilizados são o sistema de aquecimento de água e o sistema fotovoltaico. (VILLALVA; GAZOLLI, 2013). Ambos os sistemas utilizam o Sol para gerar energia. Mas os sistemas fotovoltaicos são considerados mais versáteis que os sistemas de aquecimento por utilizarem cabos elétricos, que são mais simples de instalação e manutenção se comparados com tubulações e reservatórios. (RÜTHER, 2004). A utilização de energia solar como uma fonte de energia elétrica alternativa no setor residencial torna-se possível com a incorporação dos módulos fotovoltaicos à edificação. (CHIVELET; SOLLA, 2010). O sistema fotovoltaico pode ser concebido basicamente de duas maneiras: isolado ou conectado à rede. (ANTONIOLLI, 2015).

Os sistemas conectados à rede, pela legislação, são classificados em geração distribuída ou centralizada. A geração distribuída pode ser microgeração ou minigeração. A distinção entre elas é feita pela potência do sistema. Um sistema fotovoltaico com potência menor ou igual a 75 kW é classificado como microgeração, superior a 75 kW e menor ou igual a 5000 kW é minigeração. (BRASIL, 2016). A micro e minigeração distribuída consistem na produção de energia elétrica por pequenas centrais geradoras conectadas à rede de distribuição das concessionárias por meio de instalações de unidades consumidoras. (BRASIL, 2016).

O presente artigo focou nos geradores fotovoltaicos conectados à rede elétrica das concessionárias de energia com potência menor que 75 kW. Estes sistemas consistem basicamente em três componentes principais: os módulos fotovoltaicos, o inversor e o medidor bidirecional. (VILLALVA; GAZOLLI, 2013). Os dois primeiros são adquiridos e instalados pelo consumidor e o terceiro é fornecido pela concessionária de energia. (BRASIL, 2016).

Em 2015 a Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica (Abinee) lançou uma nota técnica intitulada Microgeração Fotovoltaica no Brasil: Viabilidade econômica. Neste documento, a partir de dados de simulação nas capitais brasileiras, foi tabelado o tempo de retorno sobre o investimento de um sistema fotovoltaico residencial considerando um cenário padrão de geração, consumo, reajuste da tarifa e inflação. Para a cidade de Florianópolis, capital do Estado de Santa Catarina, o tempo de retorno sobre o investimento de uma instalação residencial de microgeração fotovoltaica ficou em dez anos. (NAKABAYASHI, 2015).

Antes de ocorrer a instalação de um sistema fotovoltaico, há a possibilidade de estimar a sua geração de energia. Existem diversas ferramentas de avaliação e simulação que proporcionam uma estimativa de geração e retorno financeiro. Quanto mais precisa essa simulação do sistema, melhor será a expectativa de geração de energia e a previsão de retorno financeiro. Uma simulação precisa e próxima da realidade quanto à geração faz-se necessária tendo em vista que os

sistemas fotovoltaicos residenciais são adquiridos e vendidos como uma forma de investimento, onde o retorno está diretamente atrelado à redução da fatura de consumo da concessionária por meio da geração de energia elétrica. (BAUMANN, 2018).

A simulação computacional está presente na área da energia solar como em todas as áreas da engenharia. Programas computacionais automatizam processos agilizando o dimensionamento do sistema e fornecendo uma geração estimada de energia. A simulação fotovoltaica é uma ferramenta que possibilita a tomada de decisão fornecendo uma previsão de qual será ou qual deveria ser a geração de energia elétrica de um sistema fotovoltaico. As simulações podem ser realizadas com o intuito de estimar a geração de um sistema fotovoltaico a ser construído ou que já esteja em operação. Essa estimativa pode ser comparada com a geração real monitorada e servir de parâmetro para planejar e definir intervenções para melhorar a geração de energia do sistema ou de futuros sistemas. (BAUMANN, 2018).

No Brasil, muitos desses sistemas fotovoltaicos instalados em edificações residenciais já completaram mais de um ano de instalação e monitoramento. Nesse sentido, existe a possibilidade de comparação entre sua geração de energia real e a sua geração estimada. O objetivo deste artigo é retornar a 1250 sistemas fotovoltaicos conectados à rede no Estado de Santa Catarina nos anos de 2017 e 2018 e verificar se a geração de energia elétrica estimada para o primeiro ano de operação foi alcançada. Os sistemas possuem características de instalação similares e igual potência, sendo utilizados 10 módulos de 265 Wp, totalizando 2,65 kWp, e um inversor de 3 kW.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para as comparações realizadas neste artigo, foram utilizados 1250 sistemas fotovoltaicos residenciais conectados à rede. Essas residências estão espalhadas pelo Estado de Santa Catarina e receberam cada uma a instalação de um sistema fotovoltaico de mesma potência e mesmos componentes durante os anos de 2017 e 2018. Assim, foram utilizados sistemas que estão instalados a mais de um ano e que possuem dados de monitoramento de sua geração por pelo menos 12 meses completos.

Os sistemas fotovoltaicos estudados possuem características de instalação similares quanto à orientação e inclinação dos módulos. Cada sistema possui dez módulos de 265 Wp, modelo JAP6-60-265/4BB da fabricante chinesa JA Solar, e um inversor de 3 kW, modelo UNO-3.0-TL-OUTD da fabricante suíça ABB. A obtenção dos dados de energia elétrica gerada, pelos 1250 sistemas instalados, foi através do programa online fornecido pelo fabricante do inversor dos sistemas estudados. Os dados de geração de energia elétrica mensal foram obtidos junto à empresa que instalou os sistemas. Sendo descartado o primeiro mês de monitoramento para garantir que houvesse dados de monitoramento em todos os dias do mês. É importante frisar que os dados de geração monitorados no inversor não são iguais aos dados de geração obtidos no medidor bidirecional conectado à rede. Eles só terão valores similares quando o consumo na residência no momento da geração for igual a zero. Algo difícil de ocorrer na prática, já que normalmente há um consumo dessa geração por equipamentos elétricos na residência e perdas antes dela ser injetada na rede. (BAUMANN, 2018).

Para a simulação e obtenção da expectativa de geração de energia de sistemas futuros recomenda-se a utilização de dados climáticos recentes, obtidos por um período longo e próximos ao local de instalação. Já para sistemas existentes recomenda-se utilizar dados climáticos próximos e do mesmo período de funcionamento ao sistema fotovoltaico (ANTONIOLLI, 2015). Essa expectativa também depende dos componentes de um sistema fotovoltaico e suas informações técnicas.

As perdas e o desempenho dos componentes durante o funcionamento do sistema irão definir a taxa de desempenho (*performance ratio* - PR), expressa em porcentagem (%). Quanto maior o valor da PR, menor são as perdas de energia pelo sistema. Para o Brasil, Pinho e Galdino (2014) consideram viáveis para sistemas bem ventilados e não sombreados uma PR entre 70-80%, isso porque a temperatura elevada afeta negativamente na PR.

Basicamente, as perdas de geração em um sistema são devido a temperatura de operação dos módulos, cabeamento elétrico, conversão da corrente contínua para alternada e sombreamento. A exatidão das perdas consideradas influencia diretamente na qualidade da simulação. (ANTONIOLLI, 2015).

Os programas de simulação apresentam para algumas perdas valores padrões que podem ser usados, outras como a degradação dos módulos são fornecidas pelos fabricantes dos componentes. Mas para as demais perdas, recomenda-se a utilização de valores apresentados em estudos científicos como o realizado por Roberts, Zevallos e Cassula (2016) e Sorgato e Rütther (2017), onde valores típicos de perda para um sistema fotovoltaico foram definidos.

A geração mensal média esperada para o primeiro ano de operação dos 1250 sistemas foi elaborada em 2017 pela empresa que os instalou com base nos dados de irradiação solar no plano inclinado obtidos no livro Atlas Brasileiro de Energia Solar de 2017 e aplicando uma PR de 73% sobre a capacidade instalada de 2,65 kWp, além disso foi considerado a ausência de sombreamento sobre os módulos. Com isso, foi definida uma expectativa de geração média mínima para o primeiro ano de 249 kWh/mês para os sistemas instalados no Estado de Santa Catarina nos anos de 2017 e 2018.

O monitoramento da produção de energia de um sistema fotovoltaico é feito por meio de uma placa de comunicação. Essa placa permite que os dados de geração de energia sejam transmitidos e monitorados remotamente. Alguns fabricantes, como a ABB, fornecem um programa específico para o monitoramento de seus inversores, chamado Aurora Vision. Por meio de uma conexão com a internet, é possível armazenar e visualizar a geração histórica e instantânea do inversor ABB em um navegador. (BAUMANN, 2018).

A geração média mensal monitorada no primeiro ano de operação foi comparada com a geração média mensal estimada pela empresa instaladora para os 1250 sistemas. Assim pode-se verificar quantos sistemas tiveram sua geração abaixo e acima dessa expectativa. Alguns desses sistemas não puderam ser comparados pois não havia dados de monitoramento por pelo menos 12 meses completos. Os dados de geração média em kWh/mês monitorados foram agrupados em classes 11 intervalos com base na Regra de Sturges e apresentados por uma distribuição de frequência.

3. ANÁLISE DOS DADOS

Com os dados monitorados de geração de energia elétrica foi possível comparar a expectativa média mínima de 249 kWh/mês para o primeiro ano de cada sistema. A Tab. 1 apresenta essa comparação por meio da frequência absoluta (f_i), frequência acumulada (F_i), frequência relativa (fr) e frequência relativa acumulada (Fri). Frequência absoluta é o número de vezes que um valor ou situação ocorre em um conjunto de dados. A frequência acumulada é a soma de todas as frequências até determinado ponto em um conjunto de dados. Já a frequência relativa é a razão entre a frequência (absoluta ou acumulada) e a quantidade de elementos em um conjunto de dados.

Tabela 1 – Geração monitorada *versus* geração esperada para o primeiro ano de operação, em kWh/mês.

GERAÇÃO MENSAL MÉDIA (kWh/mês)	f_i	F_i	fr	Fri
Abaixo do mínimo esperado	161	161	13%	13%
Acima do mínimo esperado	973	1134	78%	91%
Dados Incompletos	116	1250	9%	100%

Apenas 1134 sistemas tiveram dados de monitoramento por pelo menos 12 meses completos após a sua instalação. Dados incompletos, como ocorreu em 116 casos, geralmente ocorrem por: erros no momento do comissionamento do sistema de monitoramento do inversor; pela perda da comunicação com a internet, como a troca da senha do *Wi-Fi* na residência, por exemplo; pelo desligamento do sistema, como a queima do inversor; troca por um sistema maior; falta na rede de energia.

A Fig. 1 apresenta a distribuição de frequência da geração mensal média do primeiro ano dos 1250 sistemas agrupados em classes conforme regra de Sturges. A expectativa era a obtenção de uma curva normal típica, embora a curva tenha um formato similar a curva normal. Essa diferença pode ter sido ocasionada pelo fato dos dados monitorados obtidos não serem horários ou diários, mas somente o total mensal, podendo estar ocorrendo dias de desligamento do sistema.

Somente 973 ou 78% desses 1250 sistemas fotovoltaicos conectados à rede no Estado de Santa Catarina nos anos de 2017 e 2018 apresentaram geração média mensal no seu primeiro ano de instalação, igual ou superior ao mínimo esperado. Para os sistemas que não atenderam ao mínimo esperado é importante que se retome aos dados dos meses monitorados e verifique-se se não houve a ocorrência de desligamentos do sistema por falta de energia na rede de distribuição e/ou se não houve a ocorrência de sombreamento ou muita sujeira sobre os módulos. Uma análise mais detalhada do monitoramento e da instalação em cada sistema faz-se importante de ser realizada para poder então afirmar que o sistema não operou conforme o esperado.

Embora a totalidade dos sistemas não tenha atingido a expectativa mínima de geração, um estudo de 2018 envolvendo a simulação e viabilidade financeira de 43 sistemas instalados em Florianópolis de igual potência e característica aos 1250 sistemas deste artigo mostrou um tempo de retorno sobre o investimento médio de 9 anos e 3 meses. Tempo esse similar ao apresentado pela Abinee de 10 anos em 2015. A viabilidade de um sistema fotovoltaico conectado à rede depende da irradiação solar, de seu desempenho, de seu custo de aquisição, instalação e manutenção, do perfil de consumo na residência e das tarifas de energia elétrica praticadas pela concessionária de energia (BAUMANN, 2018). Recomenda-se a realização de estudo similar com os sistemas que não atingiram a expectativa média mínima de 249 kWh/mês.

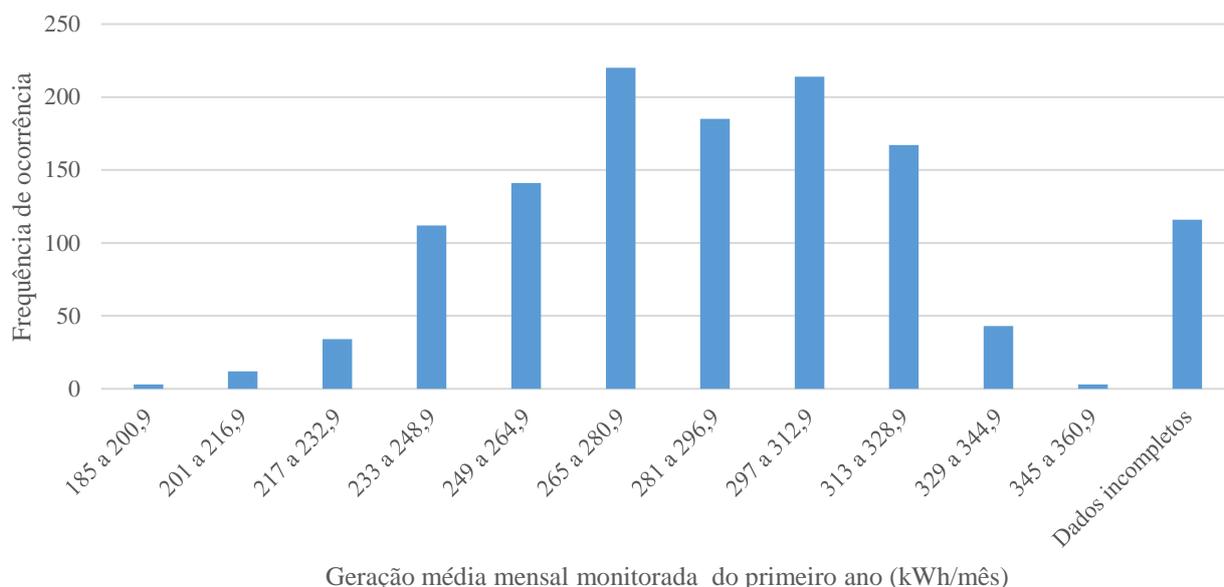


Figura 1 – Distribuição agrupada da geração média mensal no primeiro ano monitorado dos 1250 sistemas.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A energia solar fotovoltaica vem se disseminando pelo território brasileiro e segundo a Absolar é esperado que a potência instalada no Brasil duplique até o final do ano de 2022. Para a manutenção desse crescimento do setor é importante que se atenda a expectativa de geração dos sistemas fotovoltaicos instalados.

Esse artigo levantou dados de 1250 sistemas residenciais de 2,65 kWp instalados entre 2017 e 2018 no Estado de Santa Catarina. Deste total de sistemas fotovoltaicos instalados, 9% não tiveram seus dados de geração dos 12 primeiros meses monitorados e disponibilizados. Sugere-se um controle mais rigoroso no monitoramento por pelo menos os 12 meses iniciais, para evitar que os sistemas fiquem sem registrar e disponibilizar dados de geração, período este comumente dado como garantia de instalação dos sistemas.

Não se pode afirmar que houve problemas de instalação nos 13% dos sistemas que tiveram a geração de energia monitorada aquém do esperado. Entretanto, pode-se afirmar que há como melhorar a elaboração da expectativa de geração com uso de programas de simulação e a sua realização de forma individualizada para cada sistema ao invés de realizar uma expectativa mínima única. Para estudos futuros fica a recomendação de realizar a simulação detalhada dos sistemas que obtiveram baixo desempenho energético, verificando as possíveis causas (sombreamento, excesso de sujeira sobre os módulos, entre outros) e obter os dados de monitoramento horários para identificar períodos de falta na rede de distribuição de energia em que o sistema está conectado.

REFERÊNCIAS

- Antoniolli, A. F. G. C., 2015. Avaliação do desempenho de geradores solares fotovoltaicos conectados à rede elétrica no Brasil, Dissertação de Mestrado, PPGECC, UFSC, Florianópolis.
- Baumann, V. A. R., 2018. Viabilidade econômico-financeira de sistemas fotovoltaicos conectados à rede em Florianópolis-SC utilizando dados monitorados e simulados do primeiro ano, Trabalho de conclusão de curso, IFSC, Florianópolis.
- Brasil, 2016. Agência Nacional de Energia Elétrica, Micro e minigeração distribuída: sistema de compensação de energia elétrica, Cadernos temáticos ANEEL, ed. 2, Brasília.
- Chivelet, N. M.; Solla, I. F., 2010. Técnicas de Vedação Fotovoltaica na Arquitetura, Bookman.
- EPE, 2021. Empresa de Pesquisa Energética, Balanço Energético Nacional, Relatório Síntese ano base 2020, Rio de Janeiro.
- Medeiros, V., 2022. Mercado de energia solar trará R\$51 bi de investimentos ao Brasil e mais de 357 mil novos empregos, afirma Absolar, CPG, Disponível em < <https://clickpetroleoegas.com.br/mercado-de-energia-solar-trara-r-51-bi-de-investimentos-ao-brasil-e-mais-de-357-mil-novos-empregos-afirma-absolar/>>, Acesso em 13 jan. 2022.
- Nakabayashi, R. K., 2015. Microgeração fotovoltaica no Brasil: Condições atuais e perspectivas futuras, Nota técnica Abinee, Disponível em: < <http://www.abinee.org.br/informac/arquivos/mifoto.pdf>>, Acesso em: 20 ago 2020.
- Pinho, J. T.; Galdino, M. A., 2014. Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos, CEPEL, CRESESB, 2014.

- Roberts, J. J.; Zevallos, A. A. M.; Cassula, A. M., 2016. Assessment of photovoltaic performance models for system simulation, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 72, pp. 1104-1123.
- Rüther, R., 2004. Edifícios solares fotovoltaicos. ed. 1, LABSOLAR, UFSC.
- Sorgato, M. J.; Rüther, R., 2017. Avaliação da geração fotovoltaica versus consumo de eletricidade de uma residência unifamiliar em diferentes condições climáticas, ENTAC 2017, Balneário Camboriú.
- Villalva, M. G.; Gazoli, J. R., 2013. Energia solar fotovoltaica: Conceitos e aplicações, Érica.

1250 PHOTOVOLTAIC SYSTEMS CONNECTED TO THE GRID IN SANTA CATARINA: MONITORED GENERATION VERSUS EXPECTED GENERATION

Abstract. *A challenge for the growing grid-connected distributed photovoltaic energy market is meeting the generation expectation after the system is installed. The objective of this article is to verify if the estimated energy generation for the first year of operation was achieved in 1250 grid-connected photovoltaic systems installed in the years 2017 and 2018 in the State of Santa Catarina. Each of the analyzed systems has ten 265 Wp photovoltaic modules and a 3 kW inverter. Monthly generation data monitored in the inverter from the first full 12 months of system operation were used to obtain a monthly average for each system and compare with the minimum expectation for the first year. The minimum energy generation expectation for the systems was 249 kWh/month. But only 78% of the monitored systems presented average monthly generation equal to or greater than the expected energy, 13% performed below expectations and 9% of the systems had incomplete monitored data. It is recommended for future studies to verify the possible causes for those 277 systems to be outside the generation expectation or without monitored data.*

Key words: *Distributed generation, expected power generation, monitoring of photovoltaic systems*