

# Análise De Desempenho De Um Sistema Fotovoltaico De Geração Distribuída Após 5 Anos De Operação

Letícia Toreti Scarabelot\*. Giuliano Arns Rampinelli.\*\*

\* Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica  
(e-mail: leticia.scarabelot@posgrad.ufsc.br).

\*\* Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Energia e Sustentabilidade  
(e-mail:Giuliano.rampinelli@ufsc.br)

---

**Abstract:** With the massive growth in the application of photovoltaic systems, one must evaluate the degree of reliability and know the failure mechanisms of photovoltaic systems for each region. Scheduled maintenance strategies will be necessary to mitigate technical and economic problems. This study presents results of the operation and performance of the first photovoltaic system connected to the grid of CERSUL, being part of the first thousand systems installed in Brazil in commercial scope. The 1.25 kWp photovoltaic system was monitored for 60 months, with annual yield ranging between 1395.7 kWh/kWp and 1560.8 kWh/kWp. The monthly electricity generation data monitored was higher than the data simulated in different computational tools. Other electrical and temperature parameters were also analyzed, such as the voltage levels of the distribution network, time and reasons for inactivity of the photovoltaic system, 54 % of the occurrences are due to fluctuations in the network voltage, but the energy loss is minimal. No defects were identified by the thermographic analysis of the photovoltaic modules and the system remains operating within the expected conditions.

**Resumo:** Com o crescimento massivo da aplicação dos sistemas fotovoltaicos, deve-se avaliar o grau de confiabilidade e conhecer os mecanismos de falhas dos sistemas fotovoltaicos para cada região. Serão necessárias estratégias de manutenção programada com o propósito de mitigar problemas técnicos e econômicos. Este estudo apresenta resultados da operação e desempenho do primeiro sistema fotovoltaico conectado à rede de distribuição da CERSUL, fazendo parte dos primeiros mil sistemas instalados no Brasil em âmbito comercial. O sistema fotovoltaico com 1,25 kWp foi monitorado durante 60 meses, apresentando produtividade anual que varia entre 1395,7 kWh/kWp e 1560,8 kWh/kWp. Os dados de geração de energia elétrica mensal monitorados foram superiores aos dados simulados em diferentes ferramentas computacionais. Outros parâmetros elétricos e de temperatura também foram analisados, como os níveis de tensão da rede de distribuição, tempo e motivos de inatividade do sistema fotovoltaico, 54 % das ocorrências se dão pelas oscilações da tensão da rede, porém a perda energética é mínima. Nenhum defeito foi apontado pela análise termográfica dos módulos fotovoltaicos e o sistema permanece operando dentro das condições esperadas.

**Keywords:** Solar energy, photovoltaic system; performance indicators; reliability; operation.

**Palavras-chaves:** Energia solar, sistema fotovoltaico; indicadores de desempenho; confiabilidade; operação.

---

## 1. INTRODUÇÃO

A utilização de sistemas fotovoltaicos (FV) para geração de energia elétrica vem crescendo rapidamente, influenciada pela redução de preços dos diferentes componentes, maturidade e confiabilidade tecnológica e principalmente a partir da regulamentação, normatização, certificação e incentivos governamentais à energia solar (Davi *et al.*, 2016). Esta condição permite uma inserção sólida e gradual da energia solar fotovoltaica na matriz elétrica brasileira contribuindo para a diversificação da mesma (De Queiroz *et al.*, 2016).

A aplicação massiva dos sistemas FV, implicará na necessidade de estratégias de manutenções programadas para que ocorra a mitigação de problemas econômicos, técnicos e de desempenho. Nesse sentido, as condições de operação em campo devem ser avaliadas constantemente, inclusive para cada região e para diferentes características de instalação. Possuindo dados de operação em campo é possível discutir sobre desempenho, operação e manutenção dos sistemas FV (Nascimento e Rüther, 2014). As informações de operação e comportamento dos sistemas FV agregam conhecimento para o dimensionamento técnico e econômico, sendo possível

avaliar o grau de confiabilidade e conhecer os mecanismos de falha (Vera, Priebe e Krenzinger, 2006).

A longo prazo, devem ser avaliadas condições de degradação do gerador FV, falhas de operação por problemas no sistema FV, interrupção do fornecimento da rede de distribuição, sujeira, temperaturas de operação (Nascimento e Rüther, 2014), recurso solar local e desempenho, promovendo ajustes aos modelos de dimensionamento através de séries de dados de longo prazo (INPE, 2017). Este estudo apresenta resultados da opera  o e desempenho do primeiro sistema fotovoltaico conectado    rede de distribui  o da CERSUL, fazendo parte dos primeiros mil sistemas instalados no Brasil.

## 2. INDICADORES DE DESEMPENHO

A produtividade    um   ndice de mérito técnico, que será utilizado para análise de diferentes sistemas FV (Cruz *et al.*, 2018). A produtividade de um sistema fotovoltaico    a razão entre a energia elétrica convertida pelo sistema FV (kWh) e a sua potência nominal (kWp). Esse   ndice pode ser determinado em diferentes bases temporais e pode ser calculada pela (1) (Rampinelli, 2010).

$$Y = \frac{1}{P_{STC}} \int_0^{\Gamma} P_{CA}(t) dt \quad (1)$$

onde,  $P_{STD}$     a potência nominal do SFCR na condi  o padrão (STC) de 1000 W/m<sup>2</sup>, ( $\Gamma$ )    o período analisado e  $P_{CA}$     a potência elétrica realmente convertida pelo SFCR em opera  o (Scarabelot, Machado e Rampinelli, 2019).

Outro indicador de desempenho    o fator de capacidade (FC), que representa a razão entre a energia elétrica gerada e a energia elétrica que poderia ser gerada caso o sistema operasse em condi  es nominais durante o período de interesse, em STC. O FC foi calculado mensalmente utilizando (2) (Scarabelot, Machado e Rampinelli, 2019).

$$FC = \frac{E_{CA}}{E_{STD}} = \int_0^{\Gamma} \frac{P_{CA}(t) dt}{P_{STD}(t) dt} \quad (2)$$

onde,  $E_{CA}$     a energia elétrica gerada pelo sistema fotovoltaico,  $E_{STD}$     a energia elétrica que seria gerada caso o sistema fotovoltaico operasse durante todo o período em potência nominal na condi  o padrão,  $P_{CA}$     a potência elétrica convertida pelo sistema e  $P_{STD}$     a potência elétrica nominal, na condi  o padrão.

## 3. QUALIDADE DA REDE DE DISTRIBUI  O ELÉTRICA

De acordo com a ANEEL (2010) a flutua  o da tensão da rede    uma varia  o que pode ser aleatória, repetitiva ou esporádica. Esses eventos determinam a qualidade da tensão na rede. A severidade desses eventos está relacionada ao período contínuo de ocorrência.

A Tab. 1 fornece os valores de referência utilizados para avalia  o do desempenho do sistema de distribui  o de energia elétrica. Neste caso são apresentados os valores para

sistemas de baixa tensão. O monitoramento das redes de distribui  o    realizado para identificar a viola  o dos indicadores de qualidade de serviço e produto, pois se apresentarem indicadores fora das faixas adequadas, medidas de corre  o devem ser adotadas por parte dos agentes responsáveis.

**Tabela 1. Varia  o da tensão para atendimento em 380/220 V.**

Tensão de Atendimento	Faixa de Varia��o da Tensão de Leitura - TL (V)
Adequada	$(348 \leq TL \leq 396)/(201 \leq TL \leq 231)$
Precária	$(327 \leq TL < 348$ ou $396 < TL \leq 403)/$ $(189 \leq TL < 201$ ou $231 < TL \leq 233)$
Crítica	$(TL < 327$ ou $TL > 403)/$ $(TL < 189$ ou $TL > 233)$

Fonte: (ANEEL, 2010).

## 4. MATERIAIS E MÉTODOS

No desenvolvimento do trabalho foi realizada uma análise temporal de um sistema fotovoltaico com características descritas na Tabela 2, conectado    rede de distribui  o da Cooperativa de Distribui  o de Energia – CERSUL, localizado na cidade de Turvo/SC. Os dados analisados foram extraídos da plataforma de monitoramento wifi, do fabricante AWC modelo uBox desde dez/2016 com intervalo de tempo para aquisi  o de dados de 5 min. Foram analisados dados de opera  o de 60 meses, entre jun/2015 e mai/2020.

**Tabela 2. Características do sistema.**

Sistema Turvo	
Inversor (modelo/potência)	PHB1500-SS / 1500W
Módulos fotovoltaicos	5x 250 Wp
Tecnologia	Multi-cristalino
Alimenta��o	Monofásico
��ngulo de azimute	60�� L
��ngulo de inclina��o	25��
Local de Instala��o	Lat: 28�� 55' 34" S Long: 49�� 40' 45" W Turvo SC
Tempo de monitoramento	60 meses

A Unidade Consumidora possui tensão de conexão (F-N) de 220 V (monofásica). A Fig. 1 representa o layout de instala  o dos módulos fotovoltaicos em telhado.



Fig. 1 Layout de instala  o. Fonte: (Santos, Rampinelli e Scarabelot, 2019)

A Fig. 2 apresenta o sistema após instalação, contendo apenas 1 *string* com os 5 módulos conectados em série. O inversor fica em local aberto, porém protegido do sol e da chuva conforme recomendações do fabricante.



Fig. 2 SFCR Turvo. Fonte: (Scarabelot e Rampinelli, 2019).

Ao longo dos 60 meses de operação o SFCR teve interrupções, conforme monitoramento do inversor e dados disponibilizados pela CERSUL, as falhas foram classificadas em: falhas pelo SFCR e indisponibilidade da rede.

Para estimativa de perda energética, os dias sem geração tiveram os dados estimados pela média aritmética dos dados disponíveis daquele mês. Já o tempo de inatividade foi determinado pelas horas de operação diária do mês analisado. Para interrupções com menos de 1 minuto foi considerado a inatividade do inversor como sendo o tempo de religamento e checagem do sincronismo de 30 s.

Para comparação dos dados monitorados de geração de energia elétrica, o sistema FV foi simulado em diferentes ferramentas disponíveis. A Tab. 3 mostra as características de cada simulação.

Tab. 3. Características das simulações do SFCR.

	PVsol	PVsyst	SAM	PVgrid	Excel
Inversor (modelo/potência)	PHB1500-SS / 1500W	GoodWe 1500	Beijing Kinglong: Sunteams 1500	-	-
Módulos fotovoltaicos	5x 250 Wp Yingli Solar	5x 250 Wp Yingli Solar	5x 250 Wp Yingli Solar	5x 250 Wp	5x 250 Wp
Tecnologia	Multi-cristalino	Multi-cristalino	Multi-cristalino	-	-
Ângulo de azimute	60° L	60° L	60° L	-	-
Ângulo de inclinação	25°	25°	25°	-	28°
Local de Instalação	Turvo SC	Turvo SC	Florianópolis SC		Turvo SC
Base de dados de irradiação solar	MeteoSyn	Meteonorm 7.2 Interpolação: Perez	SWERA	SWERA	INPE/SWERA
OBS	Perdas = 0 %				Taxa de desempenho = 75%

O PVsol é de origem alemã e comercializado pela Valentin Software GmbH, possui ferramentas de análise 3D, com um vasto banco de dados de fabricantes e modelos dos equipamentos do sistema FV. Utiliza dados climáticos baseados no MeteoNorm com 8350 estações de medição em solo, caso o local desejado não tenha dados o software interpola dados próximos utilizando dados de satélite e medições. É possível entrar com dados da instalação e ainda

adicionar perdas estimadas por sujeira, cabeamento e outros detalhes.

O software PVsyst é bastante semelhante ao PVsol, também com disponibilidade de análise 3D e ainda apresenta diagrama de perdas anuais. Utiliza também interpolação de dados da base MeteoNorm. De origem Suíça e disponibilizado pela PVsyst SA.

O software SAM - *System Advisor Model*, desenvolvido pelo Laboratório Nacional de Energias Renováveis (NREL/EUA) é gratuito e utiliza dados de recurso solar do projeto SWERA finalizado em 2011. Esta ferramenta possui análise 3D e entrada de alguns dados específicos da instalação. Porém não realiza interpolação de dados de irradiação solar, é necessário escolher uma cidade próxima do sistema analisado.

O software PVGrid foi desenvolvido pelo Núcleo Tecnológico de Energia Elétrica (NTEEL) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) também é gratuito e utiliza dados obtidos do *Dataset NASA Surface meteorology and Solar Energy (SSE) 6.0.* e também os dados de irradiação inclinada média anual e mensal do *dataset Brazil Latitude Tilted Solar Radiation Model (10 km)* fornecido pelo INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Scarabelot e Rampinelli, 2018). Assim como a simulação em planilha do Microsoft Excel, neste caso não há opção de recurso 3D e entrada de dados como inclinação e desvio azimutal.

A simulação realizada em Microsoft Excel, utilizou a Eq. 3 (Pinho e Galdino, 2014). Foi utilizada Taxa de desempenho de 0,75, já que no Brasil pode-se considerar entre 0,7 e 0,8 para sistemas bem ventilados e não sombreados (Pinho e Galdino, 2014).

$$P_{FV} = \frac{E \cdot G_{STC}}{H_{TOT} \cdot TD} \quad (3)$$

onde,  $P_{FV}$  - Potência a ser instalada (kWp);  $E$  - Energia elétrica anual a ser gerada (kWh);  $G_{STC}$  - Irradiância nas condições STC (1000 W/m<sup>2</sup>);  $H_{TOT}$  - Irradiação solar total anual (kWh/m<sup>2</sup>) e  $TD$  - Taxa de desempenho do SFCR.

Para análise térmica foi utilizada uma câmera infravermelha do fabricante FLIR, modelo TG165, com faixa de medição: - 25 a 380 °C e resolução: 4800 pixels (80x60).

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Fig. 3, apresenta a distribuição empírica dos dados de produtividade monitorados ao longo dos anos e dados de simulação via ferramentas computacionais. A produtividade mensal monitorada varia entre 75,68 kWh/kWp e 171,44 kWh/kWp durante os 60 meses, enquanto os dados de simulação variam entre 74,99 kWh/kWp e 141,08 kWh/kWp.

As análises se baseiam em valores de energia elétrica gerada mensalmente ao longo dos 5 anos de operação. Entre o período de jun/2015 e mai/2020 o sistema foi capaz de gerar 9,376 MWh. A relação entre a energia gerada (kWh) e a potência instalada (kWp), baseando-se em cada ano de operação pode ser vista na Figura 4.

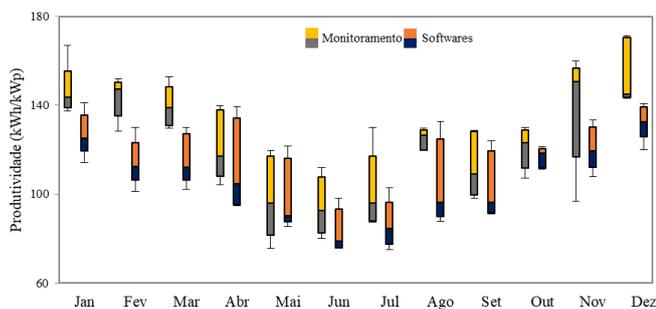


Fig. 3 Boxplot de distribuição de dados de produtividade.

A produtividade anual variou entre um mínimo de 1395,7 kWh/kWp e um máximo de 1560,8 kWh/kWp, com média de 1479,7 kWh/kWp. A diferença entre o valor máximo e mínimo de produtividade anual foi de 11,8 %.

Outro estudo na cidade de Florianópolis, de um SFCR com 15 anos de operação, revela produtividade anual média de 1126 kWh/kWp (Nascimento e Rütther, 2014). Na cidade de Turvo outro sistema utilizando as mesmas tecnologias de gerador e de inversor obteve produtividade de 1299,52 kWh/kWp em um período de 12 meses entre os anos de 2016 e 2017 (Scarabelot, Rampinelli e Rambo, 2018). Também foi registrado produtividade de 1251,24 kWh/kWp na cidade de Criciúma durante 2017 e 2018 (Scarabelot, Machado e Rampinelli, 2019).

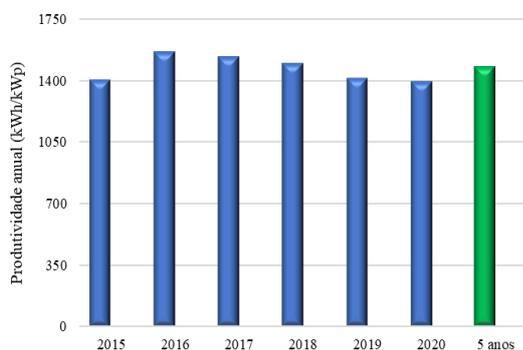


Fig. 4 Produtividade anual.

A produtividade também pode ser afetada pela degradação dos módulos FV, Vera et al. (2006) mostra por exemplo, que depois de 6 anos de operação os módulos de silício cristalino podem sofrer uma redução média de potência na ordem de 6 %, atualmente estimam-se valores ainda menores, como por exemplo, uma degradação de 0,7 % ao ano (da Fonseca et al., 2020).

Este índice de desempenho apresenta variações caso ocorram mudanças no sistema FV, como por exemplo, orientação, inclinação ou sombreamento (Scarabelot, Rampinelli e Rambo, 2018), porém neste sistema não houveram mudanças técnicas, o que sugere que as variações de produtividade ocorrem pela diferença do recurso solar de cada ano.

O fator de capacidade (FC), representa a razão entre a energia elétrica gerada e a energia elétrica que poderia ser gerada caso o sistema operasse em condições nominais durante todo

o ano. Para sistemas instalados no Brasil são reportados FC entre 13 % e 18 % (Kormann et al., 2014).

A Tab. 4 traz o FC para cada ano de operação do SFCR, indicando diferenças anuais, devido a condições de operação e principalmente do recurso solar. Entretanto o SFCR apresenta bom desempenho.

Tabela 4. Fator de capacidade anual.

Fator de Capacidade – FC (%)						
2015	2016	2017	2018	2019	2020	5 anos
16,04	17,77	17,49	17,07	16,10	15,89	16,87

Adicionalmente é possível analisar a variação da produtividade de cada mês ao longo dos anos, Fig. 5. Os meses de maio, junho e julho são os que apresentam maiores variações, devido a condições climáticas adversas. As diferenças mensais entre os anos geralmente são causadas pelas ocorrências de precipitação acima dos níveis esperados (INMET, 2018). A média mensal nesses 60 meses foi de 125,4 kWh/kWp, outro estudo registrou 150 kWh/kWp considerando várias tecnologias, porém para o estado da Bahia (Deschamps e Rütther, 2019), onde há uma superioridade de 13,5 % na média do recurso solar (INPE, 2017).

A análise de dispersão dos dados, Fig. 6, revela que a potência c.a. atinge valores superiores a potência nominal do gerador FV em até 1403 W, ou seja, 12 %. Vale ressaltar que as nuvens são responsáveis pela alta variabilidade da irradiação solar em escalas de curto prazo.

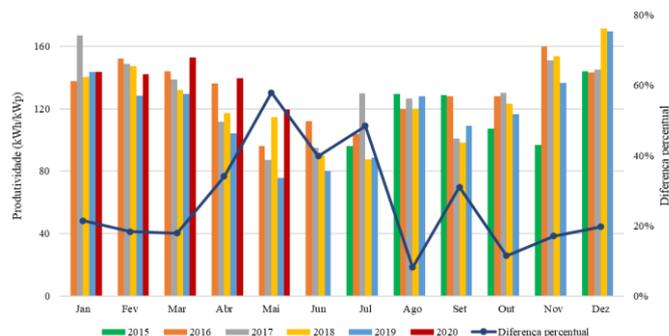


Fig. 5 Produtividade mensal.

As nuvens podem causar a redução quase total da irradiação, ou seja, a nebulosidade, até o aprimoramento significativo da irradiação dependendo da configuração da nuvem, efeito borda ou transiente de camada limite atmosférica (Piedehierro et al., 2014).

Os eventos de sobreirradiação e consequentemente sobrepotência, aumentam a corrente elétrica do gerador FV (Khatib, Mohamed e Sopian, 2013), podendo afetar a operação dos dispositivos de proteção e inclusive acarretar em danos nos inversores c.c./c.a.. Entretanto este inversor possui potência nominal superior ao gerador, garantindo sua operação dentro dos limites elétricos e evitando cortes de potência.

A mediana da distribuição mensal da potência apresenta valores entre 268 W e 621,5 W.

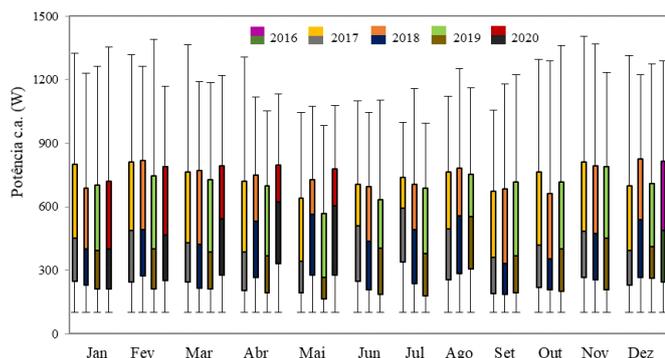


Fig. 6 Boxplot da potência elétrica c.a. de operação mensal.

A temperatura de operação do inversor é uma informação importante para avaliar a necessidade de limpeza ou mudança física na instalação. Por exemplo, alguns inversores apresentam estratégias de ventilação forçada para atuar em períodos de sobrepotência em conjunto com o sistema de convecção, com o intuito de prolongar a operação em condições acima da potência nominal (Chen *et al.*, 2013). Outra estratégia presente na maioria dos inversores, é o deslocamento do seu ponto de máxima potência, reduzindo a entrada c.c. e convertendo apenas sua entrada c.c. nominal para evitar o superaquecimento (Scarabelot, Rampinelli e Rambo, 2019).

O inversor do estudo possui apenas ventilação por convecção natural e por questões de dimensionamento, limpeza e local de instalação, não apresenta temperaturas de operação acima da sugestão do fabricante que é de 60 °C, Fig. 7. Mesmo no verão, quando ocorre a maior frequência das temperaturas de 40 °C e 50 °C, não é necessária a atuação de estratégias para evitar superaquecimento.

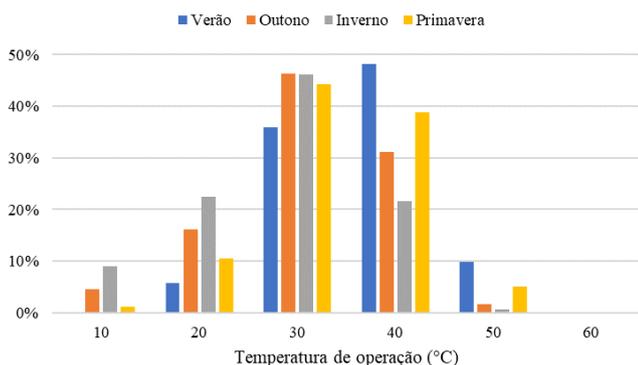


Fig. 7 Histograma de frequência da temperatura de operação do inversor.

A análise térmica utilizando uma câmera termográfica, visa identificar pontos quentes – *hotspots*, para garantir a vida útil os módulos FV devem possuir boa operação do ponto de vista térmico e mecânico. Nos módulos FV essa condição do aparecimento de *hotspots* afeta diretamente o funcionamento do conjunto de módulos conectados em uma *string* (módulos com conexão elétrica em série). Quando uma célula ou uma

parte do módulo FV sofre sombra ou sujeira, ocorre a redução da corrente elétrica, alterando a tensão dessa célula FV (Waqar Akram *et al.*, 2020). Dessa forma ela funcionará com polarização invertida e possuirá sobreaquecimento local. As consequências serão perdas de energia elétrica, degradação acelerada e possibilidade de incêndio (Salazar, Queen e Macabebe, 2016; Olalla *et al.*, 2018). Esta condição pode ocorrer devido a problemas de fabricação, transporte ou mobilização dos módulos FV durante as instalações (Waqar Akram *et al.*, 2020). A Fig. 8, apresenta as imagens da análise termográfica em operação, onde não foram identificados *hotspots*, neste caso o gerador FV não necessitaria de uma troca ou reparo de nenhum dos módulos que fazem parte da *string*.

Adicionalmente foi realizada a análise térmica do inversor c.c./c.a., para identificar quaisquer pontos de superaquecimento, no cabeamento, carcaça frontal e sistema de dissipação. Na Fig. 9, é possível comprovar que também não ocorrem diferenças de temperatura em cada situação ou pontos críticos. As conexões do cabeamento c.c. e c.a. não apresentaram qualquer sobretensão e na parte de trás do inversor onde fica o sistema de dissipação de calor, a temperatura é uniforme.

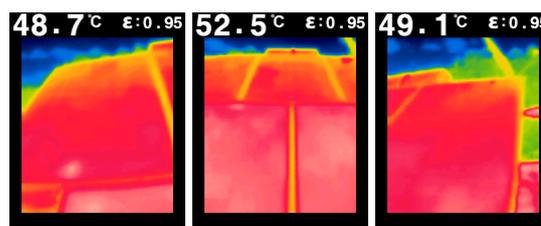


Fig. 8 Temperatura dos módulos fotovoltaicos.

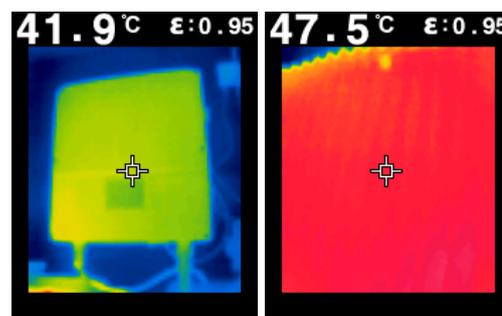


Fig. 9 Temperatura do inversor, frente e traseira.

A Fig. 10 apresenta os dados de tensão da rede apenas no período de operação do SFCR, ou seja, período diurno.

Ao longo do período de operação, pelos dados de monitoramento do inversor, a tensão c.a. apresentou valores dentro da faixa de tensão considerada adequada, o que reflete a qualidade da rede elétrica de distribuição e também a qualidade da injeção de potência. A qualidade de injeção de energia elétrica na rede de distribuição foi avaliada para o ano de 2017 em (Beliski, Scarabelot e Rampinelli, 2018), que concluiu índices adequados quanto ao fator de potência e harmônicas.

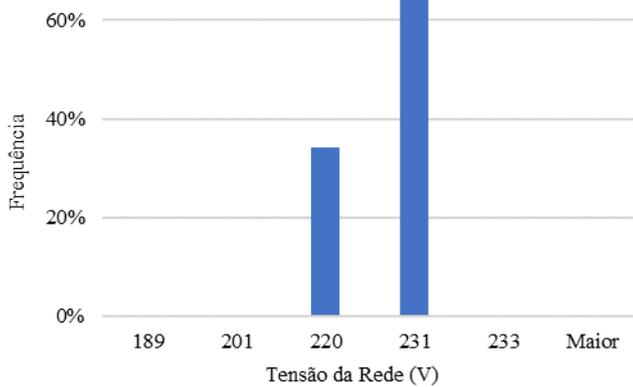


Fig. 10 Histograma de frequência da tensão de operação da rede elétrica de distribuição.

A Fig. 11 apresenta o tempo de inatividade registrada durante cada ano de operação. A falha de conexão do monitoramento foi registrada, porém o sistema estava operando, não acarretando em perdas energéticas reais. As falhas da rede de distribuição para esta Unidade Consumidora foram registradas pela cooperativa de fornecimento de energia elétrica.

Ao longo da operação do SFCR foram aproximadamente 20 horas e 24 minutos de falhas na rede. A Fig. 12 apresenta um total de 100 ocorrências, ocorridas durante o período diurno, ou seja, enquanto o sistema estava operando.

As oscilações de tensão na rede, apesar de representarem 54 % das ocorrências, a perda energética é mínima, visto que são apenas oscilações rápidas que não foram registradas pelo sistema de monitoramento. Pode-se considerar que o SFCR apenas desligou e ligou novamente em 30 s.

Já as manutenções e falta de fornecimento de energia elétrica da rede representam perdas energéticas superiores, essas são ocorrências que duraram em média 1h26m e 2h16m, respectivamente.

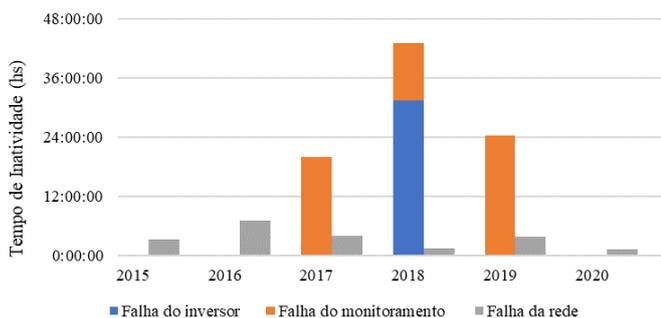


Fig. 11 Tempo de inatividade do SFCR.

Na região ocorrem casos de fortes chuvas e ventos, descargas atmosféricas e casos onde a própria vegetação causa interrupção do fornecimento de energia elétrica. Porém por se tratar de uma região pequena, manobras automatizadas e disponibilidade do rápido atendimento local, as ocorrências por atuação das proteções elétricas, tem em média duração de 0h12m apenas.

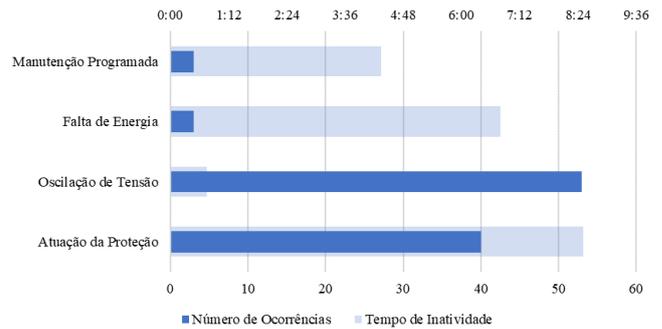


Fig. 12 Ocorrências de inatividade do SFCR.

O ano de 2018 foi marcado pela maior perda energética anual de 0,18 % devido a maior parada de operação de 3 dias contínuos. A inatividade do SFCR ocorreu devido a falha de curto circuito c.c.. A Fig. 13 mostra o inversor internamente, onde foi encontrada uma lagartixa que estava ocasionando o curto circuito entre os cabos positivo e negativo do circuito c.c..

Apesar do equipamento possuir índice de proteção IP65 (à prova de poeira e protegido contra jato e água), para possibilitar a conexão do cabo de comunicação foi feita uma abertura na sua carcaça. Após este evento essa abertura foi lacrada, a fim de evitar novos problemas com agentes externos.



Fig. 13 Causa da inatividade do SFCR no ano de 2018 (18-20/04/2018).

## 6. CONCLUSÕES

A operação contínua de 60 meses, do primeiro sistema fotovoltaico conectado à rede da Cooperativa de Eletrificação – CERSUL, mostrou um alto grau de confiabilidade do sistema fotovoltaico com apenas 1 evento de origem externa. A maioria das ocorrências são devido a oscilações de tensão da rede de distribuição de energia elétrica, porém a perda energética é mínima, outros eventos como manutenções e falta de fornecimento são ocorrências de maior duração, mas em média o atendimento é rápido e eficaz.

Dessa forma a operação do sistema fotovoltaico registrou produtividade anual média de 1479,7 kWh/kWp. O fator de capacidade média foi de 16,87 %, estando dentro dos valores reportados pra o Brasil. Questões de temperatura de operação, parâmetros elétricos c.c. e c.a. e tempo de atendimento às ocorrências reportadas estão dentro da normalidade, dessa forma o sistema fotovoltaico tem

apresentado bom desempenho em campo e geração de energia elétrica superior aos valores estimados pelas ferramentas computacionais.

#### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Também à CERSUL e a PHB Eletrônica.

#### REFERÊNCIAS

- ANEEL (2010) *PRODIST Módulo 8-Qualidade da Energia Elétrica*.
- Beliski, L. M., Scarabelot, L. T. e Rampinelli, G. A. (2018) “Análise da qualidade de energia elétrica de sistemas fotovoltaicos de geração distribuída em unidades prosumidoras residenciais”, *VII Congresso Brasileiro de Energia Solar - CBENS 2018*.
- Chen, S. *et al.* (2013) “Determining the optimum grid-connected photovoltaic inverter size”, *Solar Energy*. Pergamon, 87, p. 96–116. doi: 10.1016/j.solener.2012.09.012.
- Cruz, A. D. da *et al.* (2018) “Análise de Desempenho de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede no Estado do Tocantins sob Diferentes Orientações”, *VII Congresso Brasileiro de Energia Solar - CBENS 2018*, p. 2–10.
- Davi, G. A. *et al.* (2016) “Energy performance evaluation of a net plus-energy residential building with grid-connected photovoltaic system in Brazil”, *Energy and Buildings*. Elsevier, 120, p. 19–29.
- Deschamps, M. E. e Rüther, R. (2019) “Optimization of inverter loading ratio for grid connected photovoltaic systems”, *Solar Energy*. Elsevier Ltd, 179, p. 106–118.
- da Fonseca, J. E. F. *et al.* (2020) “Degradation analysis of a photovoltaic generator after operating for 15 years in southern Brazil”, *Solar Energy*. Elsevier Ltd, 196, p. 196–206. doi: 10.1016/j.solener.2019.11.086.
- INMET (2018) *Boletim Climático - Estado do Rio Grande do Sul*.
- INPE (2017) “Atlas Brasileiro de Energia Solar - 2a edição”, *Inpe*, p. 80. doi: 978-85-17-00030-0.
- Khatib, T., Mohamed, A. e Sopian, K. (2013) “A review of photovoltaic systems size optimization techniques”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Pergamon, 22, p. 454–465.
- Kormann, L. *et al.* (2014) “Desenvolvimento de Mapas de Avaliação do Desempenho de Sistemas Fotovoltaicos em Diferentes Ângulos de Inclinação e de Azimute”, *ASADES*, 18, p. 04.01-04.08.
- Nascimento, L. R. e Rüther, R. (2014) “Fifteen years and counting: The reliable long-term performance of the first grid-connected, building-integrated, thin-film photovoltaic installation in Brazil”, in *2014 IEEE 40th Photovoltaic Specialist Conference, PVSC 2014*. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., p. 3372–3377. doi: 10.1109/PVSC.2014.6925657.
- Olalla, C. *et al.* (2018) “Mitigation of Hot-Spots in Photovoltaic Systems Using Distributed Power Electronics”, *Energies*. MDPI AG, 11(4), p. 726. doi: 10.3390/en11040726.
- Piedehierro, A. A. *et al.* (2014) “Evaluation of enhancement events of total solar irradiance during cloudy conditions at Granada (Southeastern Spain)”, *Atmospheric Research*. Elsevier, 135–136, p. 1–7.
- Pinho, J. T. e Galdino, M. A. (2014) *Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos*. Rio de Janeiro: CEPTEL - CRESESB.
- De Queiroz, A. R. *et al.* (2016) “Climate change impacts in the energy supply of the Brazilian hydro-dominant power system”, *Renewable Energy*. Pergamon, 99, p. 379–389.
- Rampinelli, G. A. (2010) “Estudo de Características Elétricas e Térmicas de Inversores para Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede”, *Tese de Doutorado - Universidade Federal do Rio Grande do Sul*.
- Salazar, A. M., Queen, E. e Macabebe, B. (2016) *Hotspots Detection in Photovoltaic Modules Using Infrared Thermography*.
- Santos, A. J. de L., Rampinelli, G. A. e Scarabelot, L. T. (2019) “Análise Econômica Da Complementariedade Entre Sistemas Fotovoltaicos E Sistemas De Aquecimento Solar De Água”, in *8º Simpósio de Integração Científica e Tecnológica do Sul Catarinense*. Santa Rosa do Sul.
- Scarabelot, L. T., Machado, A. B. e Rampinelli, G. A. (2019) “ANÁLISE DE INDICADORES DE DESEMPENHO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA EM OPERAÇÃO NO SUL DE SANTA CATARINA”, in *4º Congresso Brasileiro de Geração Distribuída*. Recife, PE.
- Scarabelot, L. T. e Rampinelli, G. A. (2018) “Desenvolvimento de software de dimensionamento e análise do sistema de compensação de geração distribuída em unidades prosumidoras”, *VII Congresso Brasileiro de Energia Solar - CBENS 2018*.
- Scarabelot, L. T. e Rampinelli, G. A. (2019) “Development of sizing software and analysis of distributed generation compensation system in prosuming units”, *Brazilian Journal of Business*, 1, p. 1237–1251.
- Scarabelot, L. T., Rampinelli, G. A. e Rambo, C. R. (2018) “AVALIAÇÃO DO SISTEMA DE COMPENSAÇÃO DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA COM SISTEMAS FOTOVOLTAICOS EM UNIDADES PROSUMIDORAS RESIDENCIAIS”, in *VII Congresso Brasileiro de Energia Solar*. Gramado.
- Scarabelot, L. T., Rampinelli, G. A. e Rambo, C. R. (2019) “ANÁLISE DE EVENTOS DE SOBREIRRADIÂNCIA E IMPACTOS NA POTÊNCIA DO SISTEMA FOTOVOLTAICO EM DIFERENTES FATORES DE DIMENSIONAMENTO DE INVERSOR”, in *Congresso Brasileiro de Geração Distribuída*.
- Vera, L. H., Priebe, C. W. M. e Krenzinger, A. (2006) “Comparação do desempenho de módulos fotovoltaicos após seis anos de operação”, *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 10, p. 25–32.
- Waqar Akram, M. *et al.* (2020) “Study of manufacturing and hotspot formation in cut cell and full cell PV modules”, *Solar Energy*. Elsevier Ltd, 203, p. 247–259.