

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA**

**ANDRIELE BRATTI MACHADO**

**ANÁLISE TEMPORAL E ESPACIAL DE INDICADORES DE  
DESEMPENHO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS DE GERAÇÃO  
DISTRIBUÍDA EM OPERAÇÃO NO SUL DE SANTA CATARINA**

Araranguá, SC  
2019

ANDRIELE BRATTI MACHADO

**ANÁLISE TEMPORAL E ESPACIAL DE INDICADORES DE  
DESEMPENHO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS DE GERAÇÃO  
DISTRIBUÍDA EM OPERAÇÃO NO SUL DE SANTA CATARINA**

Trabalho de Conclusão de Curso,  
apresentado à Universidade Federal de  
Santa Catarina, como parte das  
exigências para a obtenção do título de  
Engenheiro(a) de Energia.

Araranguá, 01 de julho de 2019.

BANCA EXAMINADORA

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Giuliano Arns Rampinelli (Orientador)  
Universidade Federal de Santa Catarina

  
\_\_\_\_\_  
Me. Fernando Schuck de Oliveira  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

  
\_\_\_\_\_  
Profa. Me. Leticia Toret Scarabelot  
Universidade Federal de Santa Catarina

## RESUMO

A geração distribuída está regulamentada no Brasil desde a publicação da Resolução Normativa nº 482, em 2012, tornando possível gerar e consumir energia elétrica localmente, a partir de fontes renováveis de energia. A geração distribuída reduz a necessidade de construção de novas linhas de transmissão, perdas de energia elétrica durante o transporte e permite a compensação através de créditos de energia elétrica. A análise de indicadores de desempenho de sistemas fotovoltaicos promove a tecnologia, além de auxiliar a operação e o monitoramento destes. Este trabalho apresenta uma análise temporal e espacial do desempenho energético de cinco sistemas fotovoltaicos instalados em unidades prosumidoras residenciais, localizadas no extremo sul catarinense. Os sistemas fotovoltaicos em operação são analisados a partir de dados da plataforma de monitoramento, em tempo real, que permitem a determinação de indicadores de desempenho, possibilitando a comparação entre os sistemas fotovoltaicos. Os indicadores de desempenho calculados foram o fator de capacidade, em porcentagem e a produtividade, em kWh/kWp. Os sistemas encontram-se nas cidades de Criciúma, Turvo, Meleiro, Meleiro/Sapiranga e Araranguá e possuem as potências de 3,71 kWp, 1,25 kWp, 4,16 kWp, 1,35 kWp e 3,25 kWp, respectivamente. O período de análise está compreendido entre janeiro de 2017 e dezembro de 2018 para os sistemas de Criciúma, Meleiro e Turvo e entre janeiro e dezembro de 2018 para os demais sistemas. Também foi analisado o fluxo de energia elétrica das unidades consumidoras correspondentes aos sistemas fotovoltaicos conectados à rede de Criciúma e Turvo, durante o ano de 2017, para posterior comparação dos perfis de consumo. Para analisar o fluxo de energia elétrica foram extraídos os dados de geração de energia elétrica também da plataforma de monitoramento dos inversores e com base nas faturas, obteve-se os dados de consumo da rede e injeção de energia elétrica na rede. Ao final do trabalho é possível observar a variação mensal do fator de capacidade e da produtividade de cada sistema fotovoltaico, possibilitando a comparação dos mesmos. Em alguns meses é notável diferenças entre os indicadores, entretanto, as médias anuais não são tão afetadas. Os resultados para a análise do fluxo de energia elétrica demonstram que o percentual de energia elétrica injetada na rede da distribuidora depende, principalmente, dos perfis de ocupação das residências.

**Palavras-chave:** Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica. Indicadores de Desempenho. Análise Temporal. Análise Espacial.

## ABSTRACT

Distributed generation was regulated in Brazil from Normative Resolution No. 482, in 2012. Distributed generation reduces the construction of new transmission lines and losses of electricity during transportation. Operability is through the net metering system. The analysis of performance indicators of photovoltaic systems promotes the technology and assists the operation and the monitoring of the systems. This work presents an analysis of the energy performance of five photovoltaic systems installed in residential prosumers located in southern Santa Catarina. Photovoltaic systems in operation are analyzed from real-time data that allow the determination of performance indicators. The calculated performance indicators were capacity factor and final yield. The systems are located in the cities of Criciúma, Turvo, Meleiro, Meleiro/Sapiranga and Araranguá and have nominal power of 3.71 kWp, 1.25 kWp, 4.16 kWp, 1.35 kWp and 3.25 kWp, respectively. The period of analysis is comprised between January 2017 and December 2018 for the Criciúma, Meleiro and Turvo systems and between January and December 2018 for the other systems. The electricity flow of the Criciúma and Turvo photovoltaic systems during the year 2017 was also analyzed. It is possible to observe the monthly variation of the capacity factor and final yield of each photovoltaic system. In some months, differences between indicators are noticeable, however, the annual averages are not affected. The results for the electricity flow analysis show that the percentage of electric energy injected depends mainly on the occupancy profiles of the residences.

**Keywords:** Grid Connected Photovoltaic System. Performance indicators. Temporal Analysis. Space Analysis.

## 1 INTRODUÇÃO

A matriz elétrica brasileira é considerada renovável e dependente das grandes centrais hidrelétricas, as quais representam 65,2 % da oferta interna de energia, segundo dados disponibilizados pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), tornando-se suscetível as condições climáticas (ANEEL, 2008; EPE, 2018).

Uma alternativa favorável para a descentralização da geração de energia elétrica no país e, conseqüentemente, a redução de perdas durante a transmissão é a instalação de sistemas fotovoltaicos *on-grid* em edificações (JUNIOR, 2018). Essa configuração é enquadrada, de acordo com a Resolução Normativa (REN) nº 482 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), publicada em 17 de abril de 2012, como geração distribuída (ANEEL, 2012).

A Geração Distribuída (GD) passou a ser regulamentada no Brasil com a publicação da REN 482/2012 e, desde então, a energia elétrica pode ser gerada e consumida localmente, através de fontes renováveis de energia ou cogeração qualificada, além de tornar possível a compensação de energia elétrica (BELISKI; SCARABELOT; RAMPINELLI, 2018). Posteriormente, em 2015, a normativa foi atualizada pela REN 687 que ampliou os benefícios da GD, caracterizando sistemas de até 75 kW como de microgeração e sistemas de 75 kW a 5 MW como de minigeração distribuída (ANEEL, 2012, 2015). A REN 482/2012 encontra-se novamente em processo de revisão, referente ao sistema de compensação de energia elétrica, principalmente (ANEEL, 2019a).

Normalmente localizados próximos ao local de consumo, os sistemas de geração distribuída reduzem a necessidade de construção de novas linhas de transmissão e distribuição de energia elétrica. Além disso, essa configuração apresenta importantes vantagens, como a atenuação das emissões de gases de efeito estufa (LACCHINI; RÜTHER, 2015).

Em 2019, a potência instalada de geração distribuída no Brasil atingiu 1 GW, impulsionada pelos sistemas fotovoltaicos que representam 86 % da potência instalada de GD no país (ANEEL, 2019b). Os sistemas fotovoltaicos de geração distribuída apresentam crescimento exponencial, atingindo 87.578 conexões de micro e minigeração distribuída no início de julho de 2019 no Brasil, segundo a ANEEL (ANEEL, 2019b).

A redução dos preços dos sistemas fotovoltaicos, a competitividade econômica em relação a outras fontes de energia, a simplicidade no manuseio e na instalação devido a característica modular e a fácil manutenção, são fatores que favorecem a inserção desses sistemas em unidades prosumidoras. O termo unidades prosumidoras refere-se àquelas que,

além de serem consumidoras também são geradoras de energia, originando um fluxo bidirecional de energia elétrica nos sistemas conectados à rede (BELISKI; SCARABELOT; RAMPINELLI, 2018).

A medição do fluxo bidirecional de energia em uma unidade prossumidora é internacionalmente conhecido como *net metering*, configurando o sistema de compensação de energia elétrica. Assim, é realizada a contabilização entre a energia consumida e a energia injetada na rede e, conseqüentemente, o faturamento é dado pela energia ativa (EID et al., 2014).

O Balanço Energético Nacional (BEN), publicado em 2018 pela EPE, apresenta o setor residencial como responsável por 21,5 % do consumo da oferta interna de energia elétrica, tornando-se o segundo setor do país que mais consome esse insumo (EPE, 2018). Neste contexto, os sistemas fotovoltaicos de GD apresentam-se como uma solução para a redução do impacto do consumo elétrico residencial na matriz elétrica brasileira (MACHADO; SCARABELOT; RAMPINELLI, 2018a).

Em 2013, o setor residencial no Brasil correspondeu a cerca de 26 % do consumo de energia elétrica, apresentando o maior índice de crescimento. As regiões do país, níveis de renda e características dos ocupantes definem os hábitos e perfis de consumo, enquanto que a popularização de equipamentos eletroeletrônicos torna-se o principal fator para o crescimento da demanda (VILLAREAL; MOREIRA, 2016).

No Brasil, 74,14 % do total de sistemas fotovoltaicos de geração distribuída estão instalados em unidades consumidoras residenciais (ANEEL, 2019b). Isso ocorre devido as maiores tarifas de energia elétrica deste grupo em relação a outros, acarretando maior viabilidade técnica e econômica. Segundo a Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica (ABINEE), somente em 2015, com a deliberação da Revisão Tarifária Extraordinária pela ANEEL, as tarifas de energia sofreram um reajuste médio de 23,4 %. Ainda, ocorreram reajustes anuais para as concessionárias ao longo do mesmo ano e acréscimos as faturas de energia elétrica devido as bandeiras tarifárias (NAKABAYASHI, 2015).

Analisar o desempenho de sistemas fotovoltaicos integrados a edificações e a qualidade da energia entregue por esses, agregam confiabilidade e promovem a tecnologia. Segundo Mello (2016), os sistemas fotovoltaicos conectados à rede podem ser avaliados através de índices de mérito técnico que expressam a produtividade e o desempenho dos mesmos.

O presente Trabalho de Conclusão de Curso tem como objetivo realizar uma análise temporal e espacial de sistemas fotovoltaicos *on-grid*, situados no extremo sul catarinense, a partir da determinação de índices de desempenho que podem ser aplicados a quaisquer

configurações de sistemas fotovoltaicos (MELLO, 2016). Além disso, também são apresentados os perfis de consumo de duas unidades prosumidoras equivalentes aos Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede (SFCRs) de Turvo e Criciúma.

Este trabalho está dividido em quatro seções, além desta introdutória. A segunda seção compreende a uma breve revisão bibliográfica que engloba o referencial teórico e o estado da arte, onde são apresentados os principais tópicos sobre o tema. A seção 3 apresenta a metodologia utilizada, onde são descritos os sistemas fotovoltaicos e as equações utilizadas. A seção 4 trata dos resultados obtidos a partir do monitoramento de cinco sistemas fotovoltaicos instalados em unidades prosumidoras residenciais e localizados no extremo sul do estado de Santa Catarina, no Brasil.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Nesta seção são apresentados o embasamento teórico e o estado da arte relacionados a sistemas fotovoltaicos de geração distribuída e índices de desempenho, para melhor entendimento deste Trabalho de Conclusão de Curso.

### **2.1 Referencial Teórico**

O objetivo dessa subseção é apresentar uma síntese dos principais tópicos para auxiliar na compreensão desta pesquisa.

#### **2.1.1 Geração Distribuída**

De acordo com Shayani (2010), a principal característica da GD é a proximidade com as cargas para que a energia gerada seja instantaneamente consumida, reduzindo custos e perdas com o uso do sistema de transmissão de energia elétrica.

Segundo a REN 482/2012, GD é uma central geradora de energia elétrica, de até 5 MW<sup>1</sup>, originada de fontes renováveis de energia elétrica ou cogeração qualificada e devidamente conectada na rede de distribuição por meio de instalações de Unidades Consumidoras (UCs) (ANEEL, 2015).

---

<sup>1</sup> Microgeração distribuída: potência instalada menor ou igual a 75 kW. Minigeração distribuída: potência instalada superior a 75 kW e menor ou igual a 5 MW para fontes renováveis e cogeração qualificada.

A GD pode causar alguns impactos técnicos na rede de distribuição. A inversão do fluxo de potência original, por exemplo, estabelece novos requisitos para dimensionamento dos equipamentos pertencentes as linhas de transmissão e distribuição. Além disso, podem ocorrer elevações de tensão e corrente, visto que os equipamentos e condutores da rede elétrica são projetados para atender correntes pré-determinadas que podem apresentar elevações não calculadas, devido a implementação da geração distribuída (CAMARGOS; SHAYANI; OLIVEIRA, 2016). Por outro lado, a qualidade da energia elétrica devido as pequenas variações de frequência e tensão que o sistema admite e valorização do imóvel são alguns exemplos dos benefícios da GD para as unidades consumidoras (BELISKI, 2017).

Apesar da geração distribuída não ser exclusiva de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica, essa configuração é predominante, representando 99 % dos sistemas de GD instalados no Brasil (ANEEL, 2019b). A Figura 1 apresenta o resumo das conexões de SFCRs no Brasil por ano.

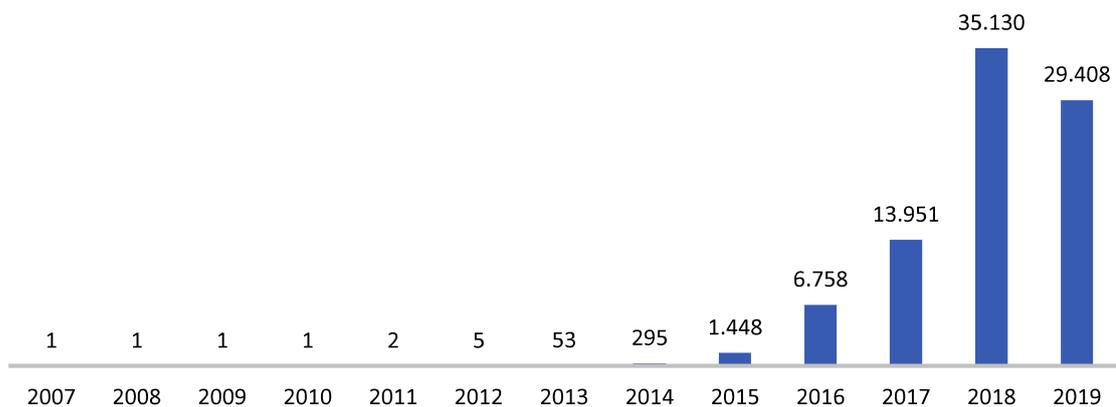


Figura 1 – Quantidade anual de conexões de sistemas fotovoltaicos de geração distribuída no Brasil.

Fonte: (Adaptado de ANEEL, 2019b).

Nos primeiros seis meses de 2019 foram conectados aproximadamente 84 % do total de sistemas fotovoltaicos de GD que foram conectados no ano de 2018 (ANEEL, 2019b). Este cenário favorável é justificado pela redução nos preços dos sistemas fotovoltaicos, reajustes tarifários, incentivos mediante linhas de créditos do BNDES (Banco Nacional do Desenvolvimento) e a abertura da consulta pública para revisão da REN 482/2012 pela ANEEL, que prevê mudanças no sistema de compensação (ANEEL, 2019a, 2019c; GESTOR SOLAR, 2019; GREENER, 2019).

### 2.1.2 Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede

Para Souza (2016), SFCRs são aqueles destinados ao fornecimento de energia elétrica a um ou mais consumidores. Essa configuração é caracterizada pelo fluxo bidirecional de energia elétrica que consiste no sistema de compensação de energia, conhecido internacionalmente como *net metering* (SCARABELOT, L. T.; RAMPINELLI, G. A.; RAMBO, 2018).

No sistema de compensação não há a comercialização de energia elétrica, isto é, nos períodos em que a energia elétrica gerada é maior do que a energia elétrica consumida na edificação, há injeção de energia na rede elétrica da distribuidora (ROSA; GASPARIN, 2016; SCARABELOT, L. T.; RAMPINELLI, G. A.; RAMBO, 2018). Caso o contrário ocorra: o consumo seja maior do que a geração, o fluxo acontece da rede elétrica da distribuidora para a unidade consumidora (BELISKI; SCARABELOT; RAMPINELLI, 2018). A Figura 2 detalha o fluxo de energia elétrica para unidades prosumidoras.

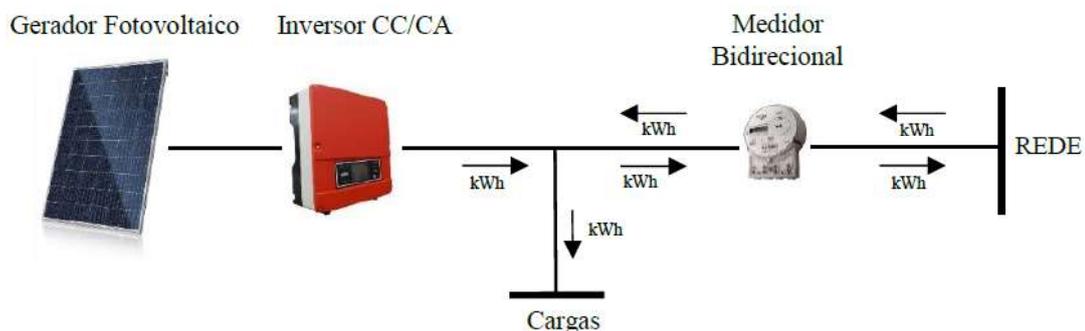


Figura 2 – Fluxo bidirecional de energia elétrica em unidades prosumidoras.

Fonte: (SCARABELOT; RAMPINELLI; RAMBO, 2018).

Os sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica são compostos essencialmente por módulos fotovoltaicos que convertem energia radiante do sol em eletricidade e inversores de frequência, que convertem eletricidade em corrente contínua para corrente alternada para injeção da mesma na rede elétrica (LEITE et al., 2018). Em sistemas de GD, a rede elétrica possui características de acumuladora ilimitada, dispensando o uso de armazenamento de energia elétrica em baterias (BELISKI; SCARABELOT; RAMPINELLI, 2018).

## 2.2 Estado da Arte

Gasparin e Krenzinger (2017) comparam, a partir de simulação, o desempenho de um sistema fotovoltaico de 1.500 Wp instalado em diferentes cidades brasileiras. O sistema foi simulado no *software* SAM (*System Advisor Model*) com inclinação igual à latitude do local e ângulo azimutal igual a 0° (norte), ou seja, em condições otimizadas de operação. Os resultados são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Resultados da simulação de um sistema fotovoltaico de 1.500 Wp sob condições ideais de operação.

Cidade	Latitude	Energia Anual (kWh)	Produtividade (kWh/kWp)	Taxa de Desempenho (%)	Fator de Capacidade (%)
Santa Maria/RS	29.70° S	2.047	1.362	0,78	15,5
Curitiba/PR	25.52° S	1.920	1.277	0,78	14,6
São Paulo/SP	23.62° S	2.079	1.383	0,77	15,8
Rio de Janeiro/RJ	22.90° S	2.276	1.514	0,77	17,3
Campo Grande/MS	20.47° S	2.364	1.573	0,77	18,0
Belo Horizonte/MG	19.85° S	2.341	1.558	0,76	17,8
Brasília/DF	15.87° S	2.379	1.583	0,77	18,1
Bom Jesus da Lapa/BA	13.27° S	2.463	1.639	0,74	18,7
Fortaleza/CE	3.78° S	2.326	1.548	0,77	17,7
Manaus/AM	3.13° S	1.933	1.286	0,73	14,7

Fonte: (Adaptado de GASPARIN; KRENZINGER, 2017).

Cruz et al. (2018) utilizam os índices de mérito técnico como o fator de capacidade e a produtividade para analisar as performances energéticas de quatro sistemas fotovoltaicos instalados no estado do Tocantins. A Tabela 2 apresenta as características dos sistemas fotovoltaicos analisados.

Tabela 2 – Características dos SFCRs analisados por Cruz et al. (2018).

	Sistema 1	Sistema 2	Sistema 3	Sistema 4
Potência (Wp)	3.120	4.950	7.150	5.100
Inclinação	15°	15°	20°	0°
Orientação	Norte	Oeste	Norte	-
Período Analisado	Ago/2016 – Jul/2017	Ago/2015 – Jul/2016	Ago/2016 – Jul/2017	Ago/2016 – Jul/2017

Fonte: (Adaptado de CRUZ et al., 2018).

O maior fator de capacidade calculado ocorreu no sistema 2 e correspondeu a 17,1 %, enquanto o menor FC calculado foi igual a 15,2 % para o sistema 3. A maior e menor

produtividades anuais calculadas foram iguais a 1.500,7 kWh/kWp e 1.335,4 kWh/kWp para os sistemas 2 e 3, respectivamente. Além disso, os quatro SFCRs foram comparados com outros quatro sistemas instalados em diferentes localidades, conforme Tabela 3. As variações mensais dos indicadores de desempenho analisados são apresentadas nas Figuras 3 e 4 (CRUZ et al., 2018).

Tabela 3 – Resumo dos resultados calculados e analisados por Cruz et al. (2018).

Sistema	Local	Ano de Operação	Potência Instalada (kWp)	FC (%)	Produtividade (kWh/kWp)
1	Palmas/TO	2016-2017	3,1	18,1	1.469,9
2	Palmas/TO	2016-2017	5,0	17,1	1.500,7
3	Palmas/TO	2015-2016	7,2	15,2	1.315,4
4	Pedro Afonso/TO	2016-2017	5,1	16,4	1.439,0
UTFPR	Curitiba/PR	2014	2,1	13,2	1.146,0
UFV	Natal/RN	2014	56,4	18,8	1.648,0
Teórico	Palmas/TO	2016	3,1	17,4	1.525,3
SFCR	Itumbiara/GO	2015-2016	5,5	17,3	1.513,2

Fonte: (Adaptado de CRUZ et al., 2018).

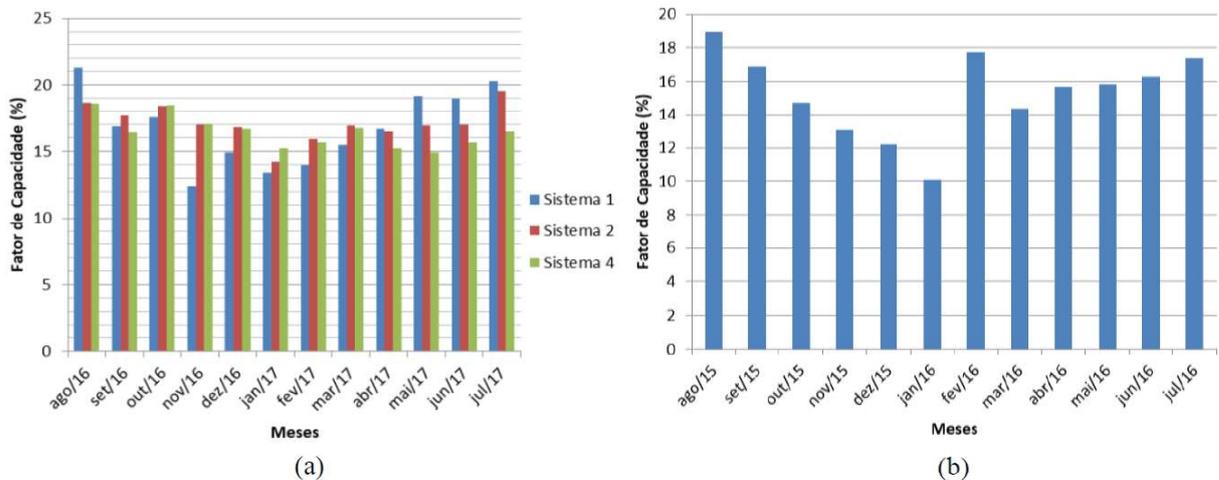


Figura 3 – Resultados obtidos para o fator de capacidade (%), em base mensal.

Fonte: (CRUZ et al., 2018).

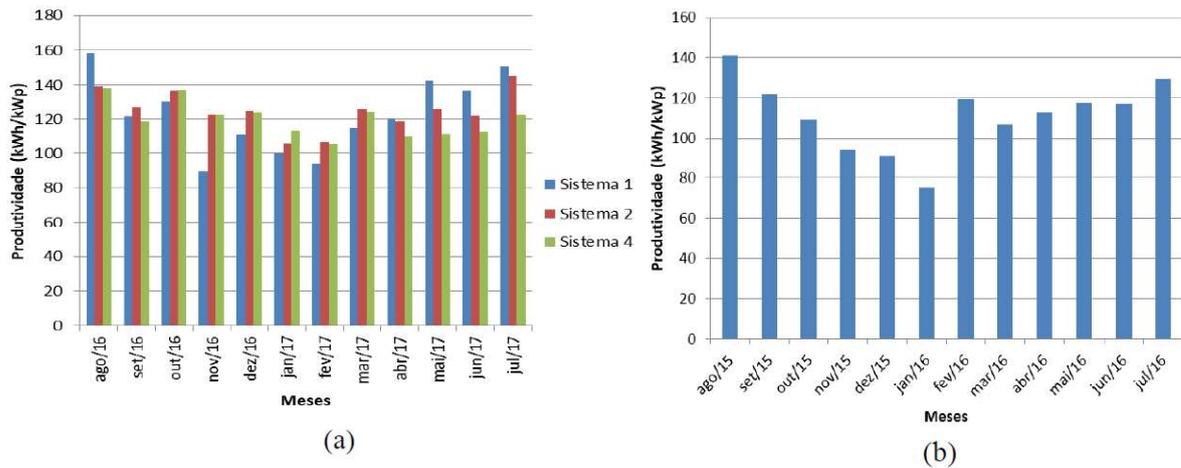


Figura 4 – Resultados obtidos para a produtividade (kWh/kWp), em base mensal.

Fonte: (CRUZ et al., 2018).

Belém et al. (2018) apresentaram uma análise financeira e uma análise da produção real de energia elétrica de um SFCR residencial, instalado em setembro de 2015, na cidade de Palmas/TO. A potência nominal do sistema é de 3,57 kWp, com 8 módulos orientados para leste e 6 módulos orientados para oeste. Foram analisados o fator de capacidade e a produtividade para o primeiro ano de operação do sistema fotovoltaico e obteve-se 19,5 % para o fator de capacidade e 1.710 kWh/kWp para a produtividade, ambos em base anual, conforme Tabela 4. Além disso, o sistema foi comparado com outros sistemas de diferentes potências, localidades e anos de operação, sendo que o sistema residencial de Palmas apresentou os melhores indicadores devido aos índices de irradiação solar elevados na região.

Tabela 4 – Comparação entre diversos SFCRs em operação.

Sistema	Potência Instalada (kWp)	Ano de Operação	Local	Produtividade (kWh/kWp)	Fator de Capacidade (%)
Residência	3,57	2015-2016	Palmas/TO	1.710	19,5
Instituição Pública	56,40	2014-2015	Natal/RN	1.656	18,9
UFTPR	2,10	2014	Curitiba/PR	1.149	13,2
UFSC	2,00	2005	Florianópolis/SC	1.277	14,6
USP/IEE	12,30	2004	São Paulo/SP	1.090	12,5
764 sistemas	Média de 15,60	2011-2013	Alemanha	1.030	11,7
532 sistemas	Média de 13,10	2011-2013	Itália	1.285	14,7

Fonte: (Adaptado de BELÉM et al., 2018).

Lima, Ferreira e Morais (2017) realizaram uma análise de vários indicadores de desempenho, entre eles, o fator de capacidade e a produtividade para um sistema fotovoltaico instalado na Universidade Estadual do Ceará, no Brasil. O SFCR analisado possui 2,2 kWp, foi monitorado de junho de 2013 a maio de 2014 e apresentou produtividade de 1.685,5 kWh/kWp e fator de capacidade igual a 19,2 %, ambos em base anual. Verificou-se ainda que durante os meses de novembro, dezembro e janeiro há sombra de um poste da rede elétrica no sistema o que diminui os seus indicadores de desempenho. Os resultados são demonstrados nas Figuras 5 e 6.

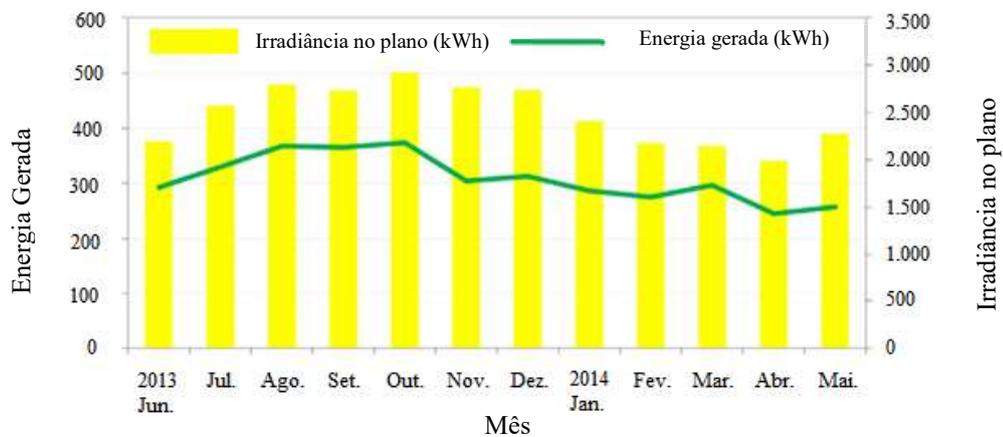


Figura 5 – Produtividade em média diária mensal.

Fonte: (Adaptado de LIMA; FERREIRA; MORAIS, 2017).

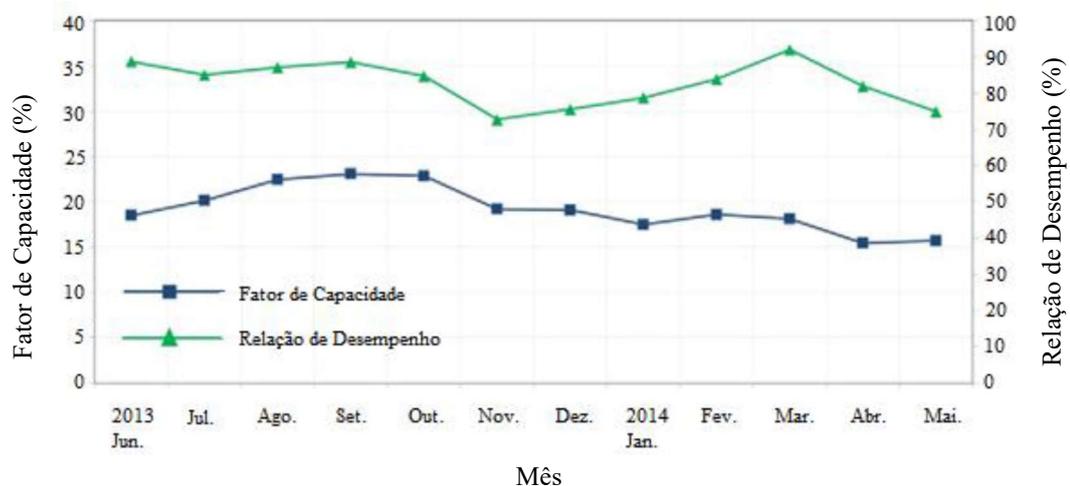


Figura 6 – Taxa média de desempenho e fator de capacidade.

Fonte: (Adaptado de LIMA; FERREIRA; MORAIS, 2017).

Nascimento e Ruther (2014) analisaram o desempenho do primeiro gerador fotovoltaico (FV) com módulos de silício amorfo conectado à rede elétrica e integrado a uma edificação no Brasil, durante 15 anos de operação, sendo 11 anos com a configuração original. Os resultados em base anual podem ser observados na Figura 7.

O sistema encontra-se na cidade de Florianópolis/SC, possui 2 kWp de potência e foi instalado no ano de 1997, passando por uma revitalização no final de 2008. No decorrer desses 15 anos ocorreram cinco falhas, duas relacionadas ao inversor, duas relacionadas aos conectores e uma trinca em um módulo FV. Foram analisadas a taxa de desempenho (TD) e a produtividade, sendo que a primeira foi igual a 74 % para os dados medidos e 76 % para os dados estimados. Já a produtividade anual variou de 1.072 kWh/kWp a 1.205 kWh/kWp, com média de 1.126 kWh/kWp para os 15 anos avaliados (NASCIMENTO; RUTHER, 2014).

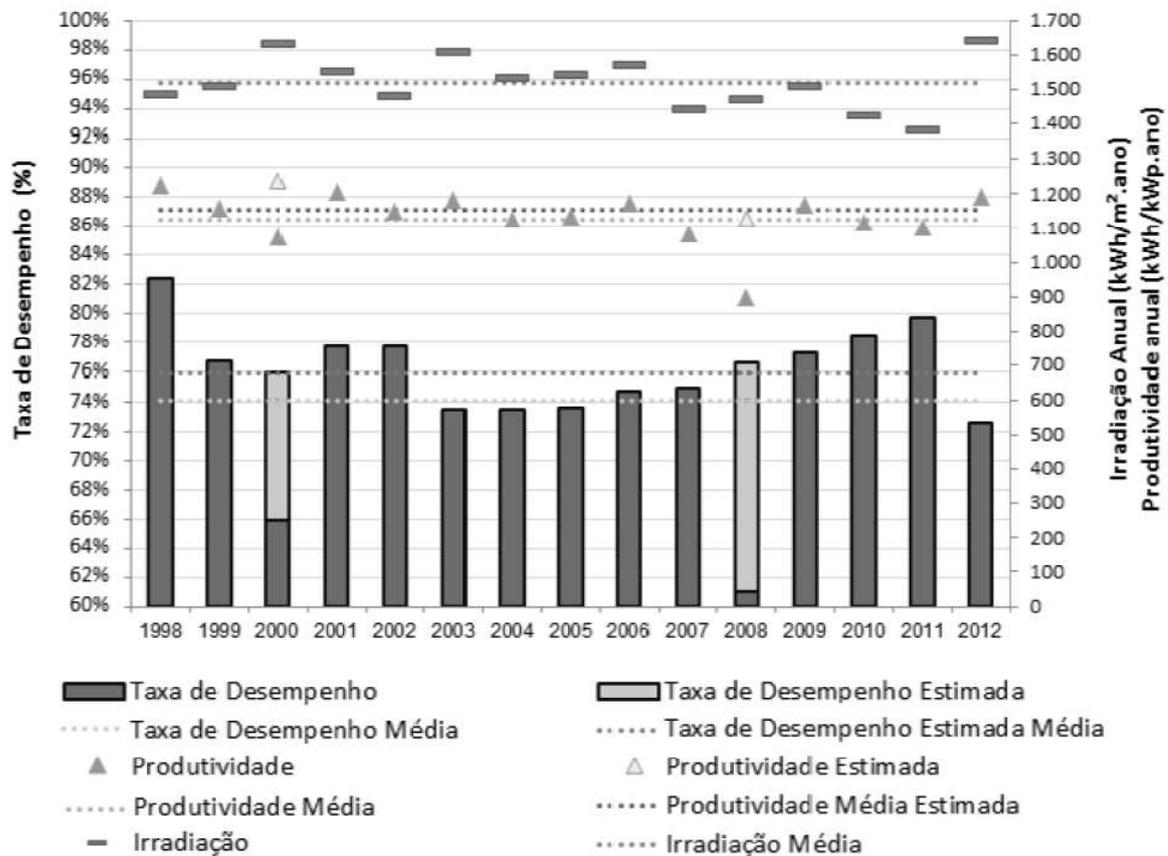


Figura 7 – Taxa de desempenho e produtividade ao longo de 15 anos de operação de um SFCR de 2 kWp, instalado em Florianópolis – SC.

Fonte: (NASCIMENTO; RUTHER, 2014).

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Essa seção apresentará a metodologia utilizada para a realização deste trabalho.

#### 3.1 SFCRs em Unidades Prossumidoras Residenciais

Neste TCC são realizadas uma análise temporal e espacial de cinco sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica, localizados no extremo sul de Santa Catarina, a partir da determinação de indicadores de desempenho. Ademais, são analisados os fluxos de energia elétrica de duas unidades prossumidoras residenciais, equivalentes aos SFCRs de Turvo e Criciúma. Para tanto, faz-se necessário a descrição de cada sistema fotovoltaico, elencando suas principais características. Assim como, a apresentação de equações empregadas para determinação do desempenho de cada sistema fotovoltaico.

Tabela 5 – SFCR instalado na cidade de Criciúma – SC, com início de monitoramento em 13/11/2016 (sistema Criciúma).

Sistema Fotovoltaico Criciúma		
Arranjo Fotovoltaico	Potência Instalada	3.710 Wp
	Potência Individual	265 Wp
	Quantidade Módulos	14
	Strings	2
Inversor	Modelo	ABB PVI 3.6 OUTD
	Potência	3.600 W
Ângulos	Inclinação	20°
	Azimute	0°

Fonte: A autora.

Tabela 6 – SFCR instalado na cidade de Turvo – SC, com início de monitoramento em 12/06/2015 (sistema Turvo).

Sistema Fotovoltaico Turvo		
Arranjo Fotovoltaico	Potência Instalada	1.250 Wp
	Potência Individual	250 Wp
	Quantidade Módulos	5
	Strings	1
Inversor	Modelo	PHB1500-SS
	Potência	1.500 W
Ângulos	Inclinação	25°
	Azimute	60° L

Fonte: A autora.

Tabela 7 – SFCR instalado na cidade de Meleiro – SC, com início de monitoramento em 04/11/2016 (sistema Meleiro).

Sistema Fotovoltaico Meleiro		
Arranjo Fotovoltaico	Potência Instalada	4.160 Wp
	Potência Individual	260 Wp
	Quantidade Módulos	16
	Strings	2
Inversor	Modelo	ABB PVI 3.6 OUTD
	Potência	3.600 W
Ângulos	Inclinação	20°
	Azimute	30° O / 30° L

Fonte: A autora.

Tabela 8 – SFCR instalado na cidade de Araranguá – SC, com início de monitoramento em 21/12/2017 (sistema Araranguá).

Sistema Fotovoltaico Araranguá		
Arranjo Fotovoltaico	Potência Instalada	3.250 Wp
	Potência Individual	325 Wp
	Quantidade Módulos	10
	Strings	1
Inversor	Modelo	PHB3000 – NS
	Potência	3.000 W
Ângulos	Inclinação	20°
	Azimute	0°

Fonte: A autora.

Tabela 9 – SFCR instalado na cidade de Meleiro – SC, com início de monitoramento em 10/10/2016 (sistema Meleiro/Sapiranga).

Sistema Fotovoltaico Meleiro/Sapiranga		
Arranjo Fotovoltaico	Potência Instalada	1.350 Wp
	Potência Individual	270 Wp
	Quantidade Módulos	5
	Strings	1
Inversor	Modelo	PHB1500 – NS
	Potência	1.500 W
Ângulos	Inclinação	20°
	Azimute	30° L

Fonte: A autora.

### 3.2 Indicadores de Desempenho

Taxa de desempenho, produtividade e fator de capacidade são os três principais índices de mérito para analisar o desempenho energético de diferentes sistemas fotovoltaicos

conectados à rede elétrica (TONIN, 2017). Para fins deste trabalho são analisados somente os índices de fator de capacidade e produtividade, visto que a taxa de desempenho é obtida a partir de dados da radiação solar (CASSARES; ALMEIRA; ZILLES, 2018).

Os indicadores de desempenho normalizam os sistemas, permitindo a comparação entre eles, mesmo que esses estejam em diferentes condições de operação (diferentes localidades, *layouts* e potências) (CRUZ et al., 2018; LIMA; FERREIRA; MORAIS, 2017).

### 3.2.1 Fator de Capacidade (FC)

O Fator de Capacidade (FC) de um sistema fotovoltaico é um indicador de desempenho definido pela razão entre a energia elétrica convertida pelo sistema fotovoltaico (kWh) e a energia elétrica convertida caso o sistema operasse em potência nominal durante todo o período analisado, na condição padrão de 1.000 W/m<sup>2</sup>, 25° C e AM 1,5 (LIMA; FERREIRA; MORAIS, 2017). Os resultados apresentados de FC são em porcentagem e em base mensal. O FC pode ser calculado pela Eq. (1)

$$FC = \frac{E_{CA}}{E_{STD}} = \int_0^{\Gamma} \frac{P_{CA}(t) dt}{P_{STD}(t) dt} \quad (1)$$

onde:  $E_{CA}$  é a energia elétrica convertida pelo sistema fotovoltaico,  $E_{STD}$  é a energia elétrica que seria convertida caso o sistema fotovoltaico operasse durante todo o período em potência nominal na condição padrão,  $\Gamma$  é o período analisado,  $P_{CA}$  é a potência elétrica convertida pelo sistema e  $P_{STD}$  é a potência elétrica que seria convertida pelo sistema caso ele operasse em potência nominal, na condição padrão, durante todo o período analisado.

### 3.2.2 Produtividade (YIELD)

A produtividade (Y) de um sistema fotovoltaico é a razão entre a energia elétrica convertida pelo sistema fotovoltaico (kWh) e a potência nominal do mesmo (kWp). Esse índice pode ser determinado em diferentes bases temporais, por exemplo, horária, diária, mensal e anual (RAMPINELLI, 2010).

A produtividade do sistema, para os resultados deste trabalho, é calculada pela a Eq. (2) e em base mensal

$$Y = \frac{1}{P_{STD}} \int_0^{\Gamma} P_{CA}(t) dt \quad (2)$$

onde:  $P_{STD}$  é a potência nominal do SFCR na condição padrão (STC) de 1.000 W/m<sup>2</sup>,  $\Gamma$  é o período analisado e  $P_{CA}$  é a potência elétrica realmente convertida pelo SFCR em operação (DÁVI et al., 2016).

### 3.3 Análise Temporal e Espacial

As análises temporal e espacial dos indicadores de desempenho são importantes para o dimensionamento, bem como para a compensação e previsão de energia elétrica de sistemas de geração distribuída (NARIMATU; CRIBARI; GUIMARÃES, 2018).

Todos os dados analisados foram extraídos da plataforma de monitoramento *wifi* de cada sistema fotovoltaico descrito neste trabalho. O tratamento dos dados e elaboração dos gráficos realizou-se a partir do *software* Microsoft Excel aplicando as equações apresentadas na metodologia deste trabalho.

Os intervalos de tempo em que os dados são registrados, assim como, o período de análise de cada sistema fotovoltaico apresentam-se na Tabela 10. Para este trabalho foram tratados e analisados somente os dados de potência c.a.

Tabela 10 – Integralização temporal dos dados de cada sistema fotovoltaico analisado neste trabalho.

Sistema	Intervalo de Tempo	Período Analisado
Criciúma	15 minutos	Jan/2017 – Dez/2018
Turvo	5 minutos	Jan/2017 – Dez/2018
Meleiro	15 minutos	Jan/2017 – Dez/2018
Araranguá	2 minutos	Jan/2018 – Dez/2018
Meleiro/Sapiranga	2 minutos	Jan/2018 – Dez/2018

Fonte: A autora.

Os sistemas fotovoltaicos de Meleiro, Araranguá e Meleiro/Sapiranga apresentaram falhas ao longo do período analisado. A fim de preencher as falhas para cálculo das médias mensais anuais dos indicadores, elas foram completadas com a média aritmética simples do mês faltante dos sistemas fotovoltaicos restantes.

O sistema de Araranguá possui uma falha no mês de fevereiro de 2018 devido a queima da antena *wifi* que permite o monitoramento do sistema fotovoltaico. Este mês, para cálculo da média mensal anual dos indicadores, foi preenchido com o valor resultante da média aritmética

simples do mês de fevereiro dos sistemas de Criciúma, Turvo, Meleiro e Meleiro/Sapiranga. O sistema fotovoltaico de Meleiro apresentou uma lacuna no mês de junho de 2018 devido a configuração da internet. O valor mensal foi completado com a média aritmética simples do mês de junho dos SFCRs de Criciúma, Turvo e Araranguá. O terceiro sistema fotovoltaico que apresentou falha foi o sistema de Meleiro/Sapiranga que devido a queima dos conectores MC4, o sistema ficou inoperante nos meses de junho e julho de 2018. Esses meses foram preenchidos com o valor da média aritmética simples dos indicadores de junho e julho dos sistemas fotovoltaicos que possuíam dados medidos.

### **3.4 Fluxo de Energia Elétrica**

A fim de analisar o fluxo de energia elétrica em unidades prosumidoras residenciais são avaliados o perfil residencial de consumo e a geração de energia elétrica medida.

Os dados de geração de energia elétrica medida dos SFCRs foram levantados a partir da plataforma de monitoramento dos inversores e com base nas faturas foram extraídos os dados de consumo da rede e injeção de energia elétrica dos sistemas fotovoltaicos na rede. Estas informações combinadas permitem a determinação da energia consumida instantaneamente (MACHADO; SCARABELOT; RAMPINELLI, 2018b).

## **4 RESULTADOS**

Para melhor compreensão, os resultados são divididos em três subseções. A primeira subseção apresenta os resultados referentes a análise espacial dos indicadores de desempenho, a segunda subseção apresenta os resultados pertinentes a análise temporal dos índices de mérito, ambas para os cinco sistemas fotovoltaicos conectados à rede estudados neste trabalho. A terceira subseção compreende aos resultados da análise do fluxo de energia elétrica de duas unidades prosumidoras, uma correspondente ao SFCR de Turvo e outra ao SFCR de Criciúma.

Os SFCRs foram comparados e analisados a partir dos indicadores de desempenho apresentados na seção anterior. Os resultados obtidos para o fator de capacidade mensal, bem como, para a produtividade mensal são apresentados por meio de histogramas.

#### 4.1 Análise Espacial

A Figura 8 compara mensalmente o indicador fator de capacidade para os três sistemas fotovoltaicos que iniciaram seu monitoramento no ano de 2017, enquanto a Figura 9 apresenta a comparação mensal de produtividade entre os sistemas.

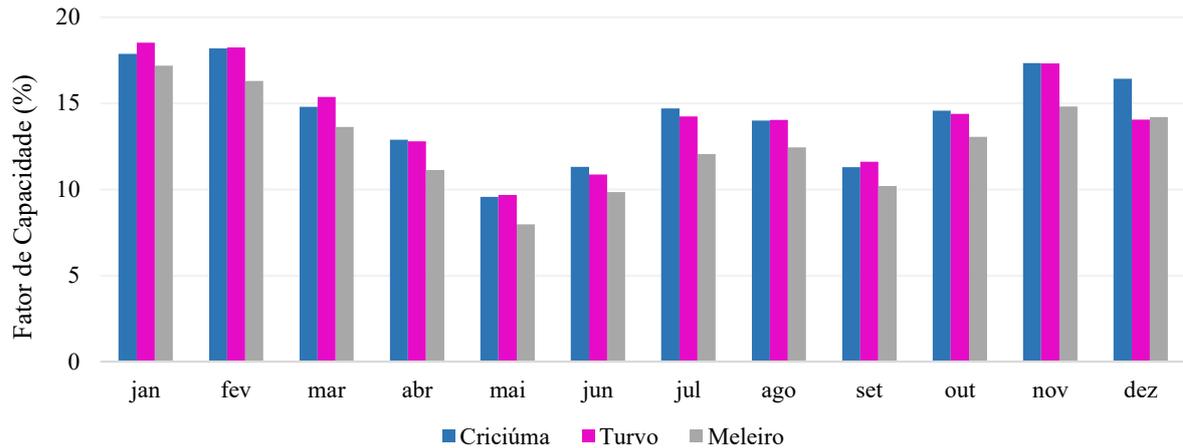


Figura 8 – FC mensal, em porcentagem, para os SFCRs de Criciúma, Turvo e Meleiro ao longo do ano de 2017.

Fonte: A autora.

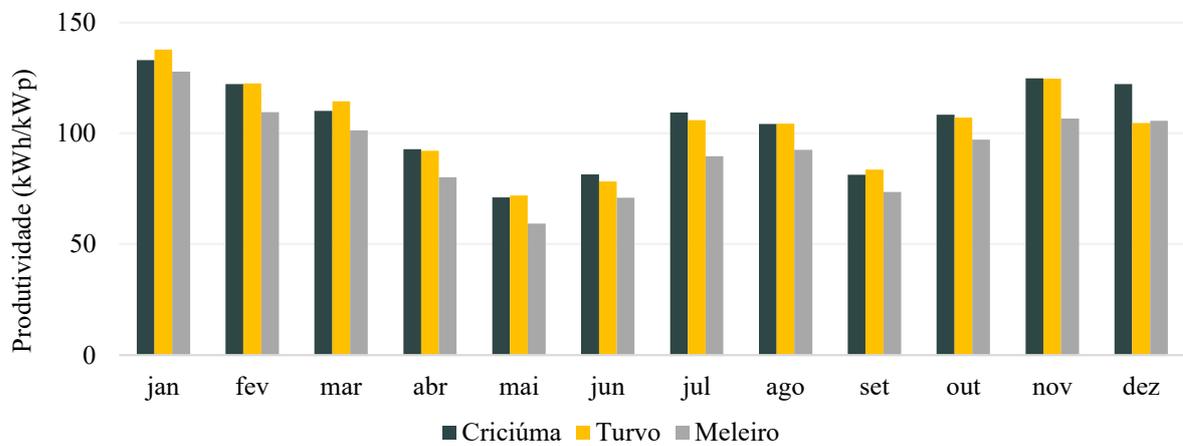


Figura 9 – Y mensal, em kWh/kWp, para os SFCRs de Criciúma, Turvo e Meleiro ao longo do ano de 2017.

Fonte: A autora.

Nota-se que os indicadores dos sistemas fotovoltaicos se comportam de maneira semelhante para os mesmos meses. Os SFCRs instalados nas cidades de Turvo e Criciúma são mais eficientes do que o sistema instalado na cidade de Meleiro, visto que o fator de capacidade e a produtividade destes são superiores em praticamente todos os meses.

Durante o ano de 2017, o FC médio mensal anual para os sistemas de Criciúma, Turvo e Meleiro correspondeu a 14,41 %, 14,26 % e 12,73 %, respectivamente. A produtividade média mensal anual, considerando a proporcionalidade dos indicadores de mérito, apresentou o valor de 105,08 kWh/kWp para o sistema de Criciúma, 103,95 kWh/kWp para o sistema de Turvo e 92,84 kWh/kWp para o sistema de Meleiro. Segundo Kormann et al. (2014), os SFCRs instalados no Brasil apresentam FC entre 13 % e 18 %, assim, o sistema de Meleiro está um pouco abaixo da média brasileira.

Os maiores valores de produtividade mensal calculados ocorreram no mês de janeiro para todos os sistemas, sendo 132,96 kWh/kWp, para o sistema de Criciúma, 137,79 kWh/kWp para o sistema de Turvo e 127,79 kWh/kWp para o sistema de Meleiro. Já os mínimos calculados foram de 71,12 kWh/kWp, 71,97 kWh/kWp e 59,27 kWh/kWp para os sistemas de Criciúma, Turvo e Meleiro, respectivamente, todos para o mês de maio. O FC assumiu valor máximo no mês de janeiro para dois sistemas: 18,52 % para Turvo e 17,18 % para Meleiro. O sistema de Criciúma apresentou o pico no mês de fevereiro, 18,19 %. Enquanto os mínimos foram observados durante o mês de maio, assim como na produtividade, atingindo 9,56 %, 9,67 % e 7,97 % para os sistemas de Criciúma, Turvo e Meleiro, respectivamente.

Conforme apresentado na Tabela 7, o sistema de Meleiro é dividido em dois subsistemas com orientações diferentes. Segundo Martini, Ferreira e Santos (2018), essa característica impacta diretamente na eficiência, diminuindo-a. Outro dado a ser considerado é a revitalização do sistema de distribuição, após início de operação do sistema fotovoltaico de Meleiro, que ocasiona sombra parcial no mesmo. Em consequência disto, constata-se uma queda na eficiência do SFCR, pois seus indicadores de desempenho apresentaram uma leve redução. A Tabela 11 apresenta as médias mensais dos indicadores de desempenho dos sistemas fotovoltaicos de Criciúma, Turvo e Meleiro durante o ano de 2017.

Tabela 11 – Média e desvio padrão dos indicadores de desempenho entre os SFCRs de Criciúma, Turvo e Meleiro ao longo do ano de 2017.

(continua)

	Fator de Capacidade		Produtividade	
	Média (%)	$\sigma$ (%)	Média (kWh/kWp)	$\sigma$ (kWh/kWp)
Jan	17,86	0,67	132,85	5,00
Fev	17,57	1,11	118,08	7,43
Mar	14,60	0,89	108,62	6,65
Abr	12,27	0,99	88,33	7,15
Mai	9,07	0,95	67,46	7,10
Jun	10,68	0,76	76,88	5,44

Tabela 11 – Média e desvio padrão dos indicadores de desempenho entre os SFCRs de Criciúma, Turvo e Meleiro ao longo do ano de 2017.

(conclusão)

	Fator de Capacidade		Produtividade	
	Média (%)	$\sigma$ (%)	Média (kWh/kWp)	$\sigma$ (kWh/kWp)
Jul	13,67	1,42	101,67	10,53
Ago	13,49	0,91	100,40	6,74
Set	11,04	0,74	79,46	5,31
Out	14,01	0,83	104,22	6,17
Nov	16,49	1,46	118,69	10,49
Dez	14,89	1,32	110,81	9,84
Média	13,80	1,00	100,62	7,32

Fonte: A autora.

A fim de mensurar a dispersão dos dados utilizou-se o desvio padrão médio ( $\sigma$ ), que em termos gerais, indica a dispersão probabilística dos dados estimados em relação aos valores medidos (MONTGOMERY; RUNGER, 2016). Para o FC o maior desvio padrão ocorreu no mês de novembro, com 1,46 %, devido ao sistema de Meleiro que apresentou um valor bem abaixo dos demais. Já o menor valor observa-se no mês de janeiro, com 0,67 %. Os maiores e menores valores para o desvio padrão médio referente ao indicador produtividade correspondem a 10,53 kWh/kWp no mês de julho e 5,00 kWh/kWp no mês de janeiro, respectivamente. As Figuras 10 e 11 apresentam a variação mensal dos indicadores de desempenho fator de capacidade e produtividade, respectivamente, para os sistemas de Criciúma, Turvo, Meleiro, Araranguá e Meleiro/Sapiranga, durante o ano de 2018.

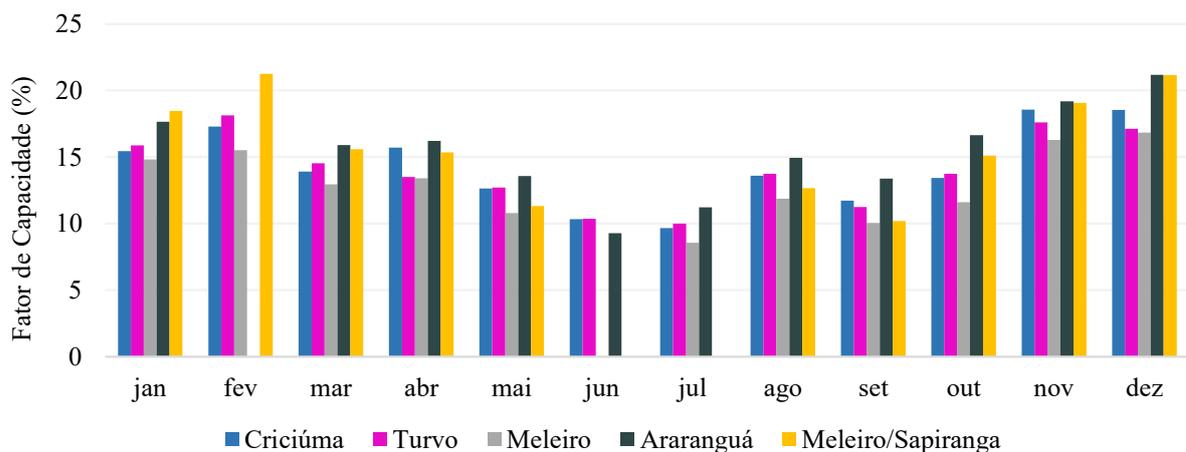


Figura 10 – Fator de capacidade mensal, em porcentagem, para os SFCRs de Criciúma, Turvo, Meleiro, Araranguá e Meleiro/Sapiranga, ao longo do ano de 2018.

Fonte: A autora.

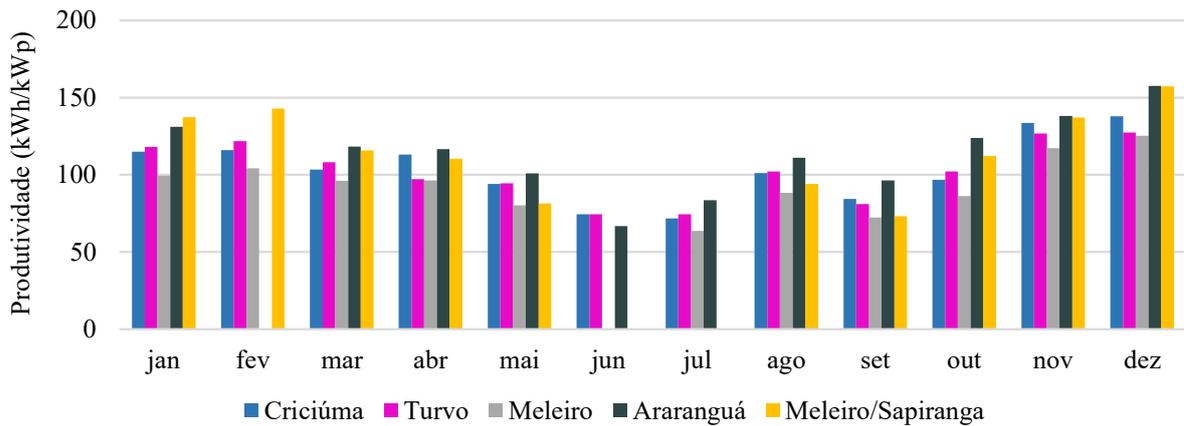


Figura 11 – Produtividade mensal, em kWh/kWp, para os SFCRs de Criciúma, Turvo, Meleiro, Araranguá e Meleiro/Sapiranga ao longo do ano de 2018.

Fonte: A autora.

Nota-se claramente o comportamento semelhante entre os indicadores apresentados nas Figuras 10 e 11, visto que ambos dependem da irradiação solar variável ao longo do ano (GASPARIN; KRENZINGER, 2017).

As Figuras 10 e 11 demonstram, assim como para o ano de 2017, que o sistema de Meleiro possui os menores indicadores em todos os meses quando comparado com os outros quatro sistemas. Em contrapartida, outros dois sistemas destacam-se: Araranguá e Meleiro/Sapiranga, apresentando os maiores indicadores de FC e Y em média mensal, conforme Tabela 12. O SFCR de Araranguá possui condições otimizadas de operação (GASPARIN; KRENZINGER, 2017), de acordo com a Tabela 8, está orientado para o Norte geográfico com inclinação de aproximadamente 20°, permitindo o pleno aproveitamento da irradiação solar incidente. O SFCR de Meleiro/Sapiranga não possui condições otimizadas de operação, uma vez que possui desvio azimutal de 30° leste, mas também apresentou bons indicadores, o que pode ser justificado pela falta de dados no período de inverno, os quais foram estimados pelas médias mensais anuais dos outros sistemas.

As falhas do sistema de Meleiro/Sapiranga ocorreram devido a defeitos nos conectores MC4 (Figura 12) que acarretaram a queima do inversor e conseqüentemente, no desligamento do sistema fotovoltaico até a troca do inversor. O período de lacuna devido à falta de dados é de 31/05/2018 a 13/08/2018. Além disso, durante o mês de fevereiro, em consequência da queima da antena *wifi* acoplada ao inversor que permite o monitoramento do sistema, os dados para esse mês no SFCR de Araranguá ficaram comprometidos e foram descartados pela falta de confiabilidade dos mesmos. Também, durante o mês de junho, devido a um problema na

configuração da internet, os dados do SFCR de Meleiro não foram monitorados e armazenados, criando uma lacuna.



Figura 12 – Conectores MC4 que ocasionaram a falha do SFCR de Meleiro/Sapiranga.

Fonte: A autora.

Tabela 12 – Resultados apresentados nas Figuras 10 e 11 para os cinco SFCRs ao longo de 2018.

	FC médio (%)	Y média (kWh/kWp)	FC máximo (%)	FC mínimo (%)	Y máxima (kWh/kWp)	Y mínima (kWh/kWp)
Criciúma	14,23	103,46	18,55	9,65	137,87	71,82
Turvo	14,04	102,32	18,13	9,99	127,28	74,35
Meleiro*	12,71	91,78	16,83	8,55	125,24	63,62
Araranguá*	15,60	113,79	21,17	9,29	157,52	66,87
Meleiro/Sapiranga*	15,08	109,54	21,25	9,85	157,27	71,92

Fonte: A autora.

\*Ano incompleto.

A Tabela 12 resume os resultados apresentados nas Figuras 10 e 11. As médias mensais anuais calculadas para os SFCRs de Meleiro, Araranguá e Meleiro/Sapiranga foram aproximadas devido as falhas que ocorreram na coleta de dados. O preenchimento desses meses para cálculo das médias mensais anuais seguiu o procedimento descrito na metodologia deste trabalho.

Em 2018, o sistema de Meleiro também apresentou os menores valores médios para o fator de capacidade e a produtividade. Além da revitalização da rede de distribuição que começou a fazer sombra parcial no sistema, outro fato importante deve ser destacado: o baixo FDI (Fator de Dimensionamento do Inversor) (CRUZ et al., 2018). O FDI é definido pela razão entre a potência nominal do inversor e a potência de pico do gerador fotovoltaico, quando esse valor é baixo, o inversor pode apresentar cortes de potência e, conseqüentemente, reduzir a

energia gerada e os indicadores de desempenho (SCARABELOT; RAMBO; RAMPINELLI, 2018).

A Tabela 13 apresenta as médias mensais dos indicadores de desempenho dos cinco sistemas fotovoltaicos analisados durante o ano de 2018.

Tabela 13 – Média e desvio padrão dos indicadores de desempenho entre os SFCRs de Criciúma, Turvo, Meleiro, Araranguá e Meleiro/Sapiranga ao longo do ano de 2018.

	Fator de Capacidade		Produtividade	
	Média (%)	$\sigma$ (%)	Média (kWh/kWp)	$\sigma$ (kWh/kWp)
Jan	16,44	1,54	120,20	14,76
Fev	18,04	2,08	121,23	13,97
Mar	14,57	1,22	108,36	8,99
Abr	14,83	1,30	106,78	9,37
Mai	12,20	1,13	90,23	9,01
Jun	9,99	0,43	71,92	3,10
Jul	9,85	0,95	73,32	7,08
Ago	13,36	1,16	99,38	8,65
Set	11,52	1,21	82,94	8,71
Out	14,10	1,89	104,25	14,42
Nov	18,13	1,21	130,54	8,71
Dez	18,96	2,11	141,04	15,69
Média	14,33	1,35	104,18	10,20

Fonte: A autora.

As médias mensais anuais dos anos de 2017 e 2018, apresentadas nas Tabelas 12 e 13, apresentam valores semelhantes, com pequenas variações de um ano para o outro. Entretanto, observando o desvio padrão médio da produtividade, há uma significativa dispersão dos dados para esse indicador, passando de 7,32 kWh/kWp no ano de 2017 para 10,20 kWh/kWp no ano de 2018. O maior desvio padrão do indicador produtividade ocorreu no mês de dezembro, com 15,69 kWh/kWp, devido a diferença de 32,28 kWh/kWp entre o sistema de Meleiro e Araranguá. Já o menor valor observa-se no mês de junho, com 0,43 % para o fator de capacidade, uma vez que os dados dos sistemas de Meleiro e Meleiro/Sapiranga foram aproximados pela média aritmética simples dos demais sistemas.

## 4.2 Análise Temporal

Esta seção apresenta os resultados individuais para o fator de capacidade e produtividade dos cinco sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica.

A Figura 13 apresenta as variações mensais do fator de capacidade, enquanto a Figura 14 representa a distribuição mensal da produtividade, ambos dos SFCRs de Araranguá e Meleiro/Sapiranga, ao longo do ano de 2018.

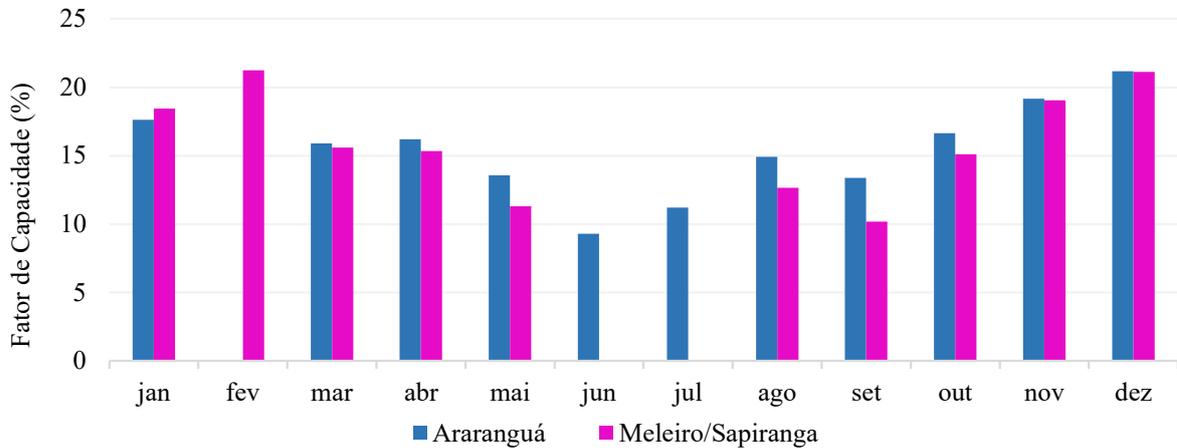


Figura 13 – FC mensal, em porcentagem, para os SFCRs de Araranguá e Meleiro/Sapiranga ao longo de 2018.

Fonte: A autora.

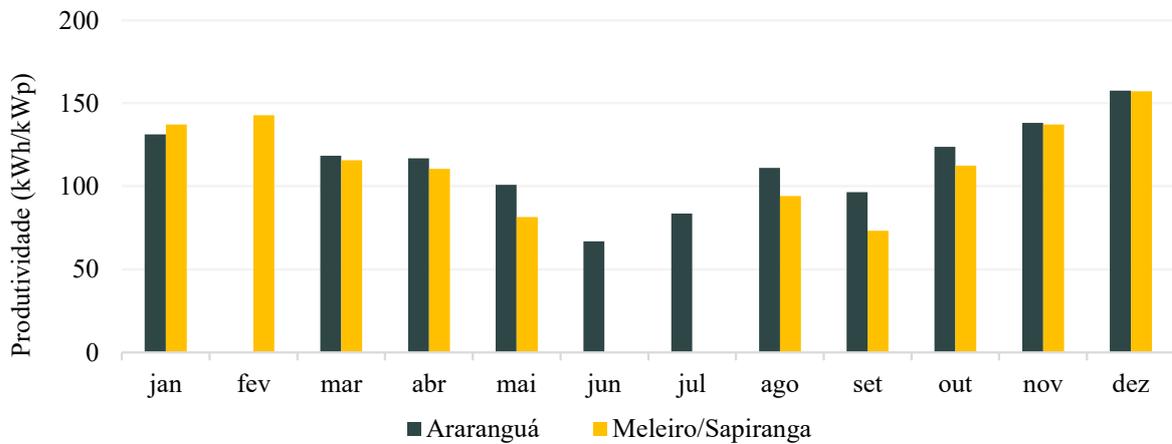


Figura 14 – Y mensal, em kWh/kWp, para os SFCRs de Araranguá e Meleiro/Sapiranga ao longo de 2018.

Fonte: A autora.

Esses sistemas são apresentados juntos e separados dos demais porque são os únicos que possuem um ano de monitoramento, enquanto os demais possuem dois anos de monitoramento. Como apresentado na análise espacial dos indicadores, esses sistemas possuem os melhores desempenhos quando comparados ao restante, nota-se que para o mês de dezembro o FC de ambos os sistemas ultrapassa 20 %, ficando acima da média brasileira (KORMANN et al., 2014). É possível observar que as curvas crescem no período de verão e diminuem durante

o inverno, visto a dependência do indicador da irradiação solar (LIMA; FERREIRA; MORAIS, 2017).

Os maiores valores calculados para o FC de Araranguá foram: 21,17 % (dezembro) e 19,18 % (novembro). Neste caso, devido a falha no monitoramento *wifi* do inversor, o mês de fevereiro foi descartado e substituído pela média aritmética simples do mês de fevereiro dos demais sistemas, reduzindo seu valor por causa do sistema de Meleiro. Já para o sistema de Meleiro/Sapiranga os maiores valores calculados de FC foram: 21,25 % (fevereiro) e 21,14 % (dezembro). A maior produtividade ocorreu no mês de dezembro para ambos os sistemas, assumindo 157,53 kWh/kWp em Araranguá e 157,27 kWh/kWp em Meleiro/Sapiranga.

Os menores resultados encontrados para o sistema de Meleiro/Sapiranga, também devido as falhas no monitoramento e, conseqüentemente, a falta de dados para os meses de junho e junho, ocorreram nos meses de setembro e maio, correspondendo a 11,20 % e 11,31 %, respectivamente. Enquanto para o sistema de Araranguá, observou-se os menores fatores de capacidade nos meses de junho (9,29 %) e julho (11,22 %). Para a Y, os resultados inferiores foram observados no mês de junho para Araranguá (66,87 kWh/kWp) e no mês de setembro para Meleiro/Sapiranga (80,61 kWh/kWp). Considerando as médias mensais calculadas para preenchimento das lacunas do sistema de Meleiro/Sapiranga, os menores valores ocorreriam nos meses de junho e julho, com 9,99 % e 9,85 % para o fator de capacidade e 71,92 kWh/kWp e 73,32 kWh/kWp, respectivamente.

O mês de agosto destaca-se em relação aos demais, visto que está fora do período de verão, onde ocorrem os maiores valores de irradiação solar no Brasil (INPE, 2017). Para o sistema de Araranguá, no mês de agosto, o fator de capacidade foi equivalente a 14,93 % e a produtividade a 111,08 kWh/kWp, bem próximo ao mês de março, por exemplo, com 15,90 % e 118,26 kWh/kWp. Para o sistema de Meleiro/Sapiranga verificou-se algo semelhante, o mês de agosto também é destacado apresentando um fator de capacidade igual a 12,66 %, superando o mês de setembro com 11,20 %. No mês de agosto de 2018, de acordo com o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), houve uma anomalia de -57 % de precipitação para a cidade de Urussanga/SC (INMET, 2018a).

As Figuras 15 e 16 apresentam, respectivamente, a comparação do fator de capacidade e da produtividade mensais entre os anos de 2017 e 2018 para o SFCR de Criciúma.

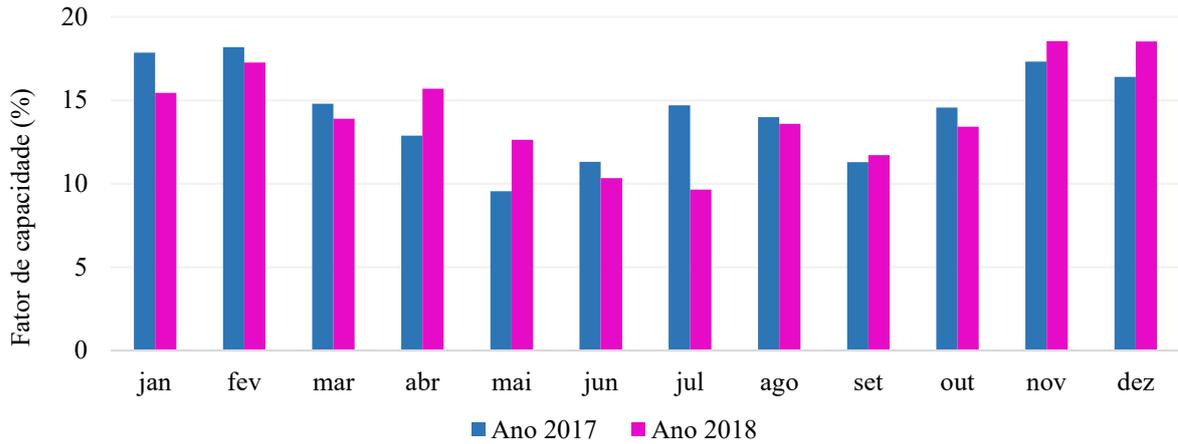


Figura 15 – Comparação do FC mensal, em porcentagem, para o SFCR de Criciúma entre os anos de 2017 e 2018.

Fonte: A autora.

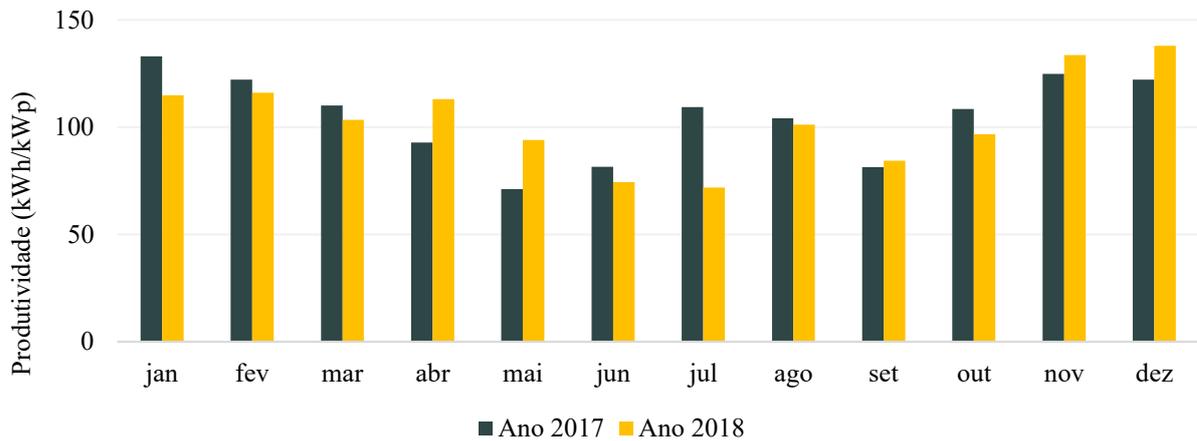


Figura 16 – Comparação da Y mensal, em kWh/kWp, para o SFCR de Criciúma entre os anos de 2017 e 2018.

Fonte: A autora.

Observa-se variações relevantes quando se compara os indicadores de um ano para outro, mês a mês. As maiores diferenças calculadas foram verificadas no mês de julho, reduzindo o fator de capacidade de 14,70 % em 2017 para 9,65 % em 2018 ( $\sigma = 3,57\%$ ) e a produtividade de 109,35 kWh/kWp para 71,82 kWh/kWp (26,54 kWh/kWp), conforme apresentado na Tabela 14.

Tabela 14 – Variação mensal dos indicadores de desempenho para o sistema fotovoltaico de Criciúma.

(continua)

	FC 2017 (%)	FC 2018 (%)	$\sigma$ (%)	Y 2017 (kWh/kWp)	Y 2018 (kWh/kWp)	$\sigma$ (kWh/kWp)
Jan	17,87	15,45	1,71	132,96	114,92	12,76

Tabela 14 – Variação mensal dos indicadores de desempenho para o sistema fotovoltaico de Criciúma.  
(conclusão)

	FC 2017 (%)	FC 2018 (%)	$\sigma$ (%)	Y 2017 (kWh/kWp)	Y 2018 (kWh/kWp)	$\sigma$ (kWh/kWp)
Fev	18,19	17,28	0,64	122,20	116,09	4,32
Mar	14,80	13,91	0,63	110,09	103,47	4,68
Abr	12,89	15,70	1,99	92,81	113,04	14,30
Mai	9,56	12,64	2,18	71,12	94,04	16,20
Jun	11,32	10,34	0,69	81,50	74,43	4,99
Jul	14,70	9,65	3,57	109,35	71,82	26,54
Ago	14,00	13,60	0,29	104,18	101,18	2,12
Set	11,30	11,72	0,30	81,35	84,41	2,16
Out	14,57	13,43	0,81	108,43	96,71	8,29
Nov	17,33	18,55	0,87	124,78	133,59	6,23
Dez	16,42	18,53	1,49	122,15	137,87	11,11
Média	14,41	14,23	1,26	105,08	103,46	9,48

Fonte: A autora.

A Figura 17 apresenta a comparação do fator de capacidade mensal entre o ano de 2017 e o ano de 2018, enquanto a Figura 18 apresenta a distribuição mensal da produtividade para o mesmo período, ambos do SFCR de Meleiro. Identifica-se uma lacuna no mês de junho do ano de 2018 em consequência de falha do monitoramento.

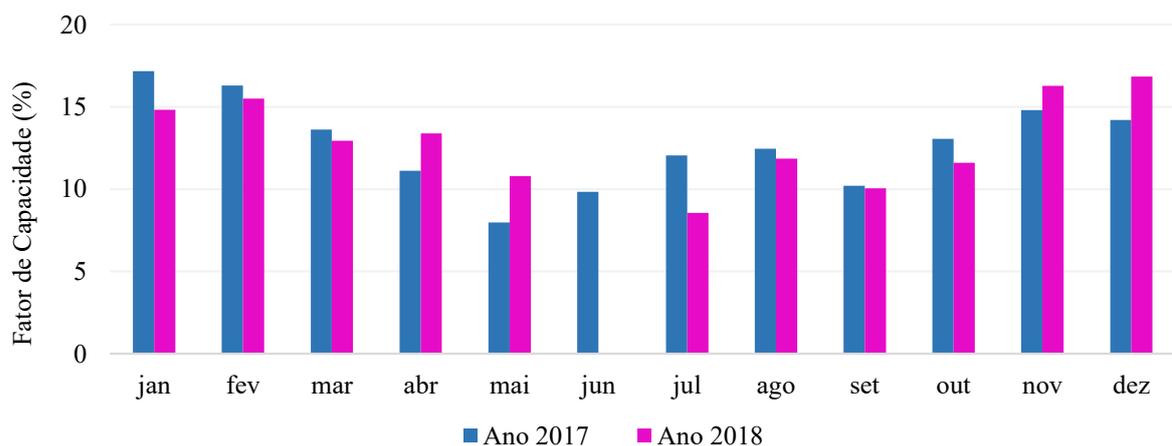


Figura 17 – Comparação do FC mensal, em porcentagem, para o SFCR de Meleiro entre 2017 e 2018.

Fonte: A autora.

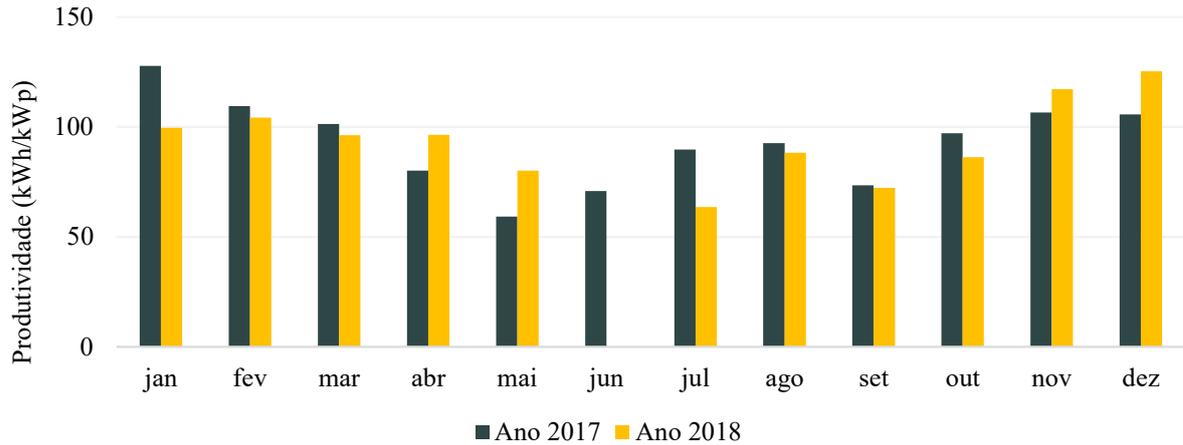


Figura 18 – Comparação da Y mensal, em kWh/kWp, para o SFCR de Meleiro entre 2017 e 2018.

Fonte: A autora.

As maiores dispersões nos dados foram no mês de julho, assim como para o SFCR de Criciúma, porém, neste, os valores foram menos expressivos. O fator de capacidade teve redução de 12,05 % para 8,55 %, caracterizando um desvio padrão de 2,47 % e a produtividade diminuiu de 89,66 kWh/kWp para 63,62 kWh/kWp de um ano para o outro ( $\sigma = 18,41$  kWh/kWp). As médias mensais dos indicadores de desempenho são apresentadas na Tabela 15, assim como, a média anual e o desvio padrão médio mensal.

Tabela 15 – Variação mensal dos indicadores de desempenho para o sistema fotovoltaico de Meleiro.

	FC 2017 (%)	FC 2018 (%)	$\sigma$ (%)	Y 2017 (kWh/kWp)	Y 2018 (kWh/kWp)	$\sigma$ (kWh/kWp)
Jan	17,18	14,81	1,67	127,79	99,55	19,97
Fev	16,30	15,51	0,56	109,51	104,23	3,73
Mar	13,62	12,93	0,49	101,35	96,23	3,62
Abr	11,12	13,39	1,60	80,09	96,40	11,53
Mai	7,97	10,78	1,99	59,27	80,21	14,80
Jun	9,85	9,99	0,10	70,89	71,92	0,73
Jul	12,05	8,55	2,47	89,66	63,62	18,41
Ago	12,45	11,86	0,42	92,61	88,23	3,10
Set	10,20	10,05	0,11	73,47	72,33	0,81
Out	13,06	11,60	1,03	97,14	86,27	7,68
Nov	14,81	16,27	1,04	106,58	117,18	7,49
Dez	14,20	16,83	1,86	105,67	125,24	13,84
Média	12,73	12,71	1,11	92,84	91,78	8,81

Fonte: A autora.

O SFCR de Turvo é analisado temporalmente a partir das Figuras 19 e 20. A Tabela 16 resume os resultados obtidos, em média mensal, e o desvio padrão médio dos dados.

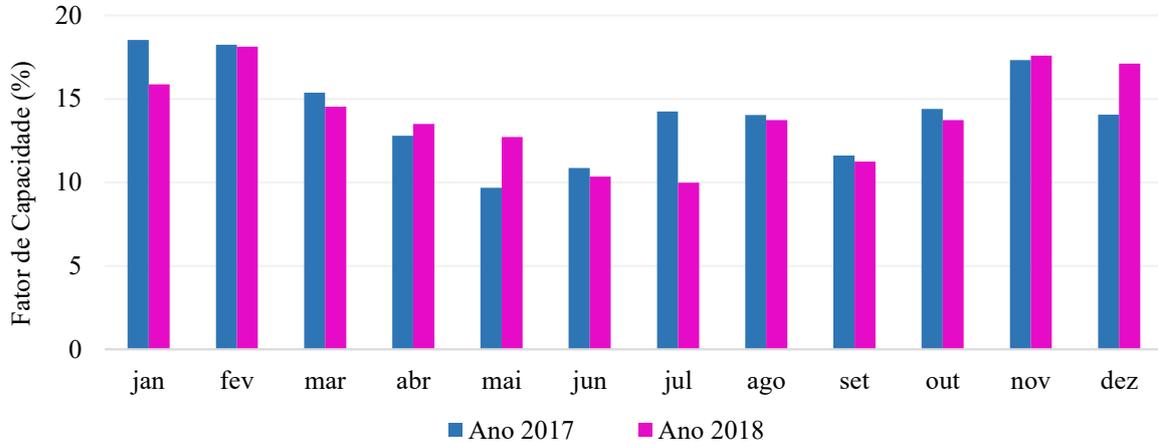


Figura 19 – Comparação do FC mensal, em porcentagem, para o SFCR de Turvo entre 2017 e 2018.

Fonte: A autora.

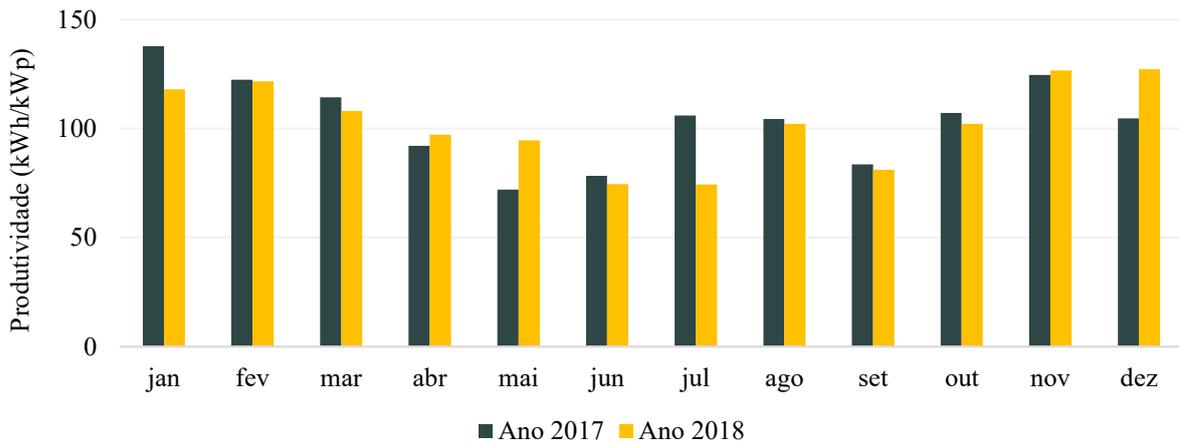


Figura 20 – Comparação da Y mensal, em kWh/kWp, para o SFCR de Turvo entre 2017 e 2018.

Fonte: A autora.

Tabela 16 – Variação mensal dos indicadores de desempenho para o sistema fotovoltaico de Turvo.

(continua)

	FC 2017 (%)	FC 2018 (%)	$\sigma$ (%)	Y 2017 (kWh/kWp)	Y 2018 (kWh/kWp)	$\sigma$ (kWh/kWp)
Jan	18,52	15,87	1,88	137,79	118,06	13,95
Fev	18,23	18,13	0,08	122,54	121,82	0,51
Mar	15,38	14,53	0,60	114,41	108,08	4,47
Abr	12,79	13,50	0,51	92,08	97,22	3,64
Mai	9,67	12,71	2,15	71,97	94,57	15,98
Jun	10,87	10,34	0,37	78,26	74,47	2,68
Jul	14,25	9,99	3,01	106,00	74,35	22,38

Tabela 16 – Variação mensal dos indicadores de desempenho para o sistema fotovoltaico de Turvo.

	FC 2017 (%)	FC 2018 (%)	$\sigma$ (%)	Y 2017 (kWh/kWp)	Y 2018 (kWh/kWp)	$\sigma$ (kWh/kWp)
Ago	14,03	13,74	0,21	104,40	102,22	1,54
Set	11,61	11,25	0,25	83,57	81,01	1,81
Out	14,40	13,73	0,47	107,10	102,15	3,50
Nov	17,32	17,59	0,19	124,72	126,67	1,38
Dez	14,06	17,11	2,16	104,59	127,28	16,04
Média	14,26	14,04	0,99	103,95	102,32	7,32

Fonte: A autora.

As maiores variações de 2017 para 2018 ocorreram nos meses de julho e dezembro, chegando a 3,01 % de desvio para o fator de capacidade em julho. Em contrapartida, o mês de fevereiro praticamente não exibe diferença nos indicadores de desempenho durante o período, apresentando 0,51 kWh/kWp de desvio padrão.

Para os cinco sistemas fotovoltaicos apresentados nesse trabalho, o mês de julho foi o que explicita os mais elevados desvios padrões médios, o que pode ser justificado pela precipitação anômala que ocorreu durante esse mês no ano de 2018. Segundo dados disponibilizados pelo INMET, em Torres/SC, a precipitação mensal foi 123 % acima do normal (INMET, 2018b).

### 4.3 Análise do Fluxo de Energia Elétrica

As Tabelas 17 e 18, apresentam dados de energia elétrica dos SFCRs de Turvo e Criciúma, respectivamente. Além disso, são apresentados a média, o total e o desvio padrão ( $\sigma$ ) dos dados.

Tabela 17 – Dados do sistema fotovoltaico de Turvo para o ano de 2017.

Mês	Consumo da Rede (kWh)	Energia Injetada (kWh)	Energia Consumida Instant. (kWh)	Geração Total (kWh)	Energia Injetada (%)
Janeiro	244,00	93,00	77,91	170,91	54,41
Fevereiro	214,00	87,00	75,81	162,81	53,44
Março	247,00	82,00	69,12	151,12	54,26
Abril	144,00	76,00	52,89	128,89	58,97
Mai	110,00	76,00	42,16	118,16	64,32
Junho	123,00	54,00	24,72	78,72	68,60
Julho	99,00	79,00	37,23	116,23	67,97

Tabela 17 – Dados do sistema fotovoltaico de Turvo para o ano de 2017.

Mês	Consumo da Rede (kWh)	Energia Injetada (kWh)	Energia Consumida Instant. (kWh)	Geração Total (kWh)	(conclusão)
					Energia Injetada (%)
Agosto	106,00	83,00	40,26	123,26	67,97
Setembro	116,00	94,00	41,21	135,21	69,52
Outubro	100,00	70,00	33,67	103,67	67,52
Novembro	110,00	110,00	51,51	161,51	68,11
Dezembro	118,00	92,00	48,21	140,21	65,62
Média	144,25	83,00	49,56	132,56	63,34
Total	1.731,00	996,00	594,70	1.590,70	-
$\sigma$	56,51	14,05	16,85	26,87	6,24

Fonte: A autora.

Tabela 18 – Dados do sistema fotovoltaico de Criciúma para o ano de 2017.

Mês	Consumo da Rede (kWh)	Energia Injetada (kWh)	Energia Consumida Instant. (kWh)	Geração Total (kWh)	Energia Injetada (%)
Janeiro	745,00	209,00	273,28	482,28	43,34
Fevereiro	625,00	224,00	211,36	435,36	51,45
Março	622,00	245,00	222,45	467,45	52,41
Abril	398,00	186,00	160,91	346,91	53,62
Mai	328,00	219,00	141,44	360,44	60,76
Junho	410,00	118,00	93,62	211,62	55,76
Julho	347,00	238,00	139,13	377,13	63,11
Agosto	352,00	239,00	121,98	360,98	66,21
Setembro	400,00	227,00	165,26	392,26	57,87
Outubro	345,00	182,00	131,71	313,71	58,02
Novembro	358,00	271,00	184,84	455,84	59,45
Dezembro	346,00	237,00	181,88	418,88	56,58
Média	439,67	216,25	168,99	385,24	56,55
Total	5.276,00	2.595,00	2.027,86	4.622,86	-
$\sigma$	140,83	39,57	49,50	75,59	5,98

Fonte: A autora.

Os dados extraídos das faturas de energia elétrica são o consumo abatido pela rede (kWh) e a energia elétrica injetada na rede (kWh). Essa, por sua vez, corresponde a energia elétrica injetada na rede em períodos onde o consumo foi menor que a geração. A energia consumida instantaneamente pelas unidades prosumidoras, ou seja, aquela que não foi registrada pelo medidor, pode ser determinada a partir dos dados de geração total de energia elétrica apontada pelo inversor subtraindo-se o montante de energia que foi injetada na rede. A geração de energia elétrica medida tem média mensal de 132,56 kWh com desvio padrão de 26,87 kWh e 385,24 kWh com desvio padrão de 75,59 kWh, para os sistemas de Turvo e Criciúma, respectivamente.

A Figura 21 apresenta o perfil de injeção de energia elétrica das unidades prosumidoras. A geração de energia elétrica dos SFCRs, está dividida em energia elétrica injetada na rede e energia elétrica consumida instantaneamente.

Para o sistema de Turvo, 63 % da energia elétrica, em média mensal, foi injetada na rede enquanto para o sistema de Criciúma, a energia elétrica injetada na rede, em média mensal, foi de 56 %, este perfil é bastante característico de residências familiares. O consumo é reduzido durante o dia pois, normalmente, os indivíduos passam boa parte do dia fora de casa e o pico de consumo ocorre no período noturno. Dessa forma, o número de pessoas em uma residência não tem impacto no perfil de consumo, mas sim o nível de ocupação, ou seja, quanto tempo as pessoas permanecem na residência e quantas pessoas permanecem (WALLIS; NACHREINER; MATTHIES, 2016).

A energia elétrica injetada na rede é consumida a noite ou em períodos em que não há geração, por meio do sistema *net metering*. Ao final do período de análise o abatimento no consumo proporcionado pelos SFCRs foi de 91,89 % e 87,62 %, para Turvo e Criciúma, respectivamente.

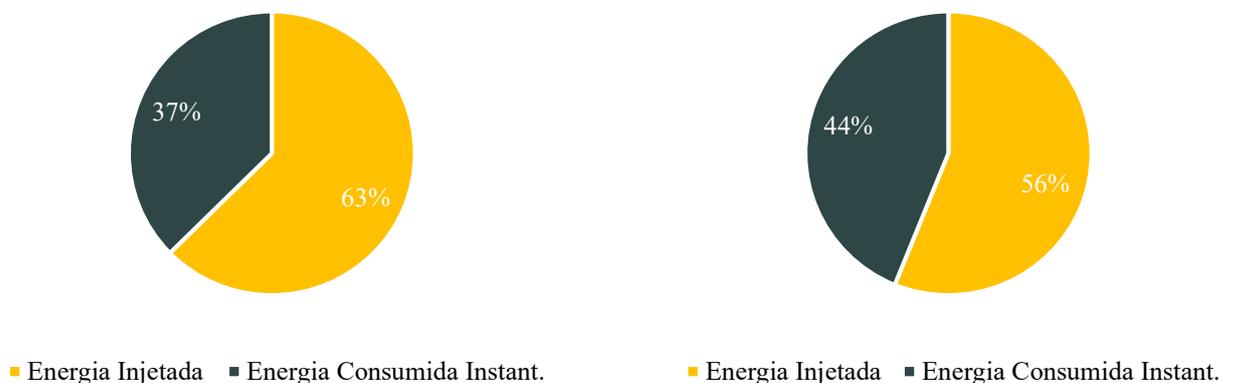


Figura 21 – Balanço de energia injetada e consumida instantaneamente, em média mensal anual, para os sistemas Turvo e Criciúma, respectivamente.

Fonte: A autora.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esse trabalho analisou o desempenho de cinco sistemas fotovoltaicos conectados à rede em diferentes cidades do sul catarinense e ao longo dos seus períodos de operação e monitoramento. Também foram analisados os fluxos de energia elétrica de duas unidades

prossumidoras residenciais, uma na cidade de Turvo e outra na cidade de Criciúma, ambas em Santa Catarina.

Os SFCRs possuem potências e *layouts* diferentes que foram normalizados pelos indicadores de desempenho fator de capacidade e produtividade, para posterior comparação dos mesmos. Para cálculo dos indicadores foram extraídos da plataforma de monitoramento *wifi* de cada inversor os dados de potência c.a, os quais foram tratados e analisados. Já com base nas faturas foram extraídos os dados de consumo da rede e injeção de energia elétrica dos sistemas fotovoltaicos na rede, para cálculo do fluxo de energia elétrica.

Os resultados demonstram que os SFCRs de Meleiro/Sapiranga e Araranguá possuem os melhores desempenhos quando comparados aos demais, enquanto o SFCR de Meleiro apresenta os menores indicadores mensais. Em relação à média brasileira de fator de capacidade (13 a 18 %) para SFCRs fixos, os sistemas de Criciúma, Araranguá, Meleiro/Sapiranga e Turvo estão dentro do esperado. Já o sistema de Meleiro está um pouco abaixo da média, visto que há sombra parcial no mesmo devido a revitalização na rede de distribuição que atende a UC.

As médias mensais anuais para o fator de capacidade e produtividade para o sistema de Criciúma foram, respectivamente: 14,41 % e 105,08 kWh/kWp para o ano de 2017, 14,23 % e 103,46 kWh/kWp para o ano de 2018. Os indicadores para o sistema de Meleiro apresentam os seguintes valores: 12,73% e 92,84 kWh/kWp (2017), 12,71 % e 91,78 kWh/kWp (2018). Já para o sistema de Turvo, o fator de capacidade, em média mensal anual, foi igual a: 14,26 % (2017) e 14,04 % (2018) e a produtividade, também em média mensal anual, corresponde a: 103,95 kWh/kWp (2017) e 102,32 kWh/kWp (2018). As médias mensais anuais para os SFCR de Meleiro/Sapiranga foram: 15,08 % para o FC e 109,54 kWh/kWp para a Y e para o SFCR de Araranguá foram 15,60 % (FC) e 113,79 kWh/kWp (Y).

Nota-se que para Criciúma e Turvo os indicadores de desempenho foram menores em 2018, visto que o mês de julho foi atípico, com precipitação acima da média. O sistema de Meleiro apresentou uma pequena redução de 2017 para 2018 porque houve falha na coleta de dados do mês de junho, que foi preenchido com a média dos demais sistemas.

O levantamento de dados das faturas de energia elétrica das unidades prossumidoras mostrou que 63 % da energia elétrica gerada, em média mensal, pelo sistema de Turvo é injetada na rede enquanto para o sistema de Criciúma a média mensal da energia elétrica injetada na rede foi de 56 %. Isso ocorre, pois, o consumo em uma residência normalmente é reduzido durante o dia, já que, normalmente, os indivíduos passam boa parte do dia fora de casa. Por meio do sistema *net metering* ao final do período de análise o abatimento no consumo

proporcionado pelos SFCRs foi de 91,89 % e 87,62 %, para as UCs de Turvo e Criciúma, respectivamente.

A tecnologia fotovoltaica está consolidada no mercado e, no Brasil, a inserção de sistemas fotovoltaicos de geração distribuída na matriz elétrica possui crescimento exponencial, seguindo uma tendência mundial. A busca pela diversidade energética e o desenvolvimento sustentável alavancam as energias renováveis.

A energia solar fotovoltaica possui particularidades que fomentam sua aplicação no âmbito residencial, visto a facilidade de instalação e harmonia com a arquitetura das edificações. A classe residencial é dominante nas instalações de SFCRs e destaca-se pelas altas tarifas e bandeiras de energia elétrica, apresentando o melhor retorno de investimento.

O aumento gradual dessa tecnologia no mercado requer atenção quanto a qualidade e o desempenho desses sistemas. Entender como eles se comportam, qual o impacto que podem ter nas redes de distribuição, como é a qualidade da energia entregue pelos sistemas fotovoltaicos, suas intermitências devido as variações de irradiação solar ou falhas e o perfil residencial de injeção de energia elétrica na rede, são de grande importância para mudanças no sistema elétrico de potência. Esses estudos podem corroborar com a inserção da tarifa branca e posteriormente, das redes elétricas inteligentes.

## REFERÊNCIAS

ANEEL. Atlas de Energia Elétrica do Brasil. v. 3º Edição, 2008.

ANEEL. Resolução Normativa nº 482. ANEEL, 2012.

ANEEL. Resolução Normativa nº 687. ANEEL, p. 24, 2015.

ANEEL. **Revisão de Regras Para Geração Distribuída Será Discutida Nesta Quinta-feira (21/2) na ANEEL**, 2019a. Disponível em: <[http://www.aneel.gov.br/sala-de-imprensa/-/asset\\_publisher/zXQREz8EVIZ6/content/id/18040700](http://www.aneel.gov.br/sala-de-imprensa/-/asset_publisher/zXQREz8EVIZ6/content/id/18040700)>.

ANEEL. **Quantidade de Sistemas de Geração Gistribuída no Brasil por Fonte**, 2019b.

Disponível em:

<<https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoizjM4NjM0OWYtN2IwZS00YjViLTllMjItN2E5MzBkN2ZlMzVklwidCI6IjQwZDZmOWI4LWVjYTctNDZhMi05MmQ0LWVhNGU5YzAxNzBIMSIsImMiOjR9>>.

ANEEL. **Geração Distribuída - Regulamentação Atual e Processo de Revisão**, p. 27, 2019c.

BELÉM, T. C. et al. Análise da Produção de 24 Meses de um Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede no Estado do Tocantins. **VII Congresso Brasileiro de Energia Solar - CBENS 2018**, 2018.

BELISKI, L. M. Análise da Qualidade de Energia Elétrica de Sistemas Fotovoltaicos de Geração Distribuída em Unidades Prossumidoras Residenciais. **Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Federal de Santa Catarina**, p. 46, 2017.

BELISKI, L. M.; SCARABELOT, L. T.; RAMPINELLI, G. A. Análise da Qualidade de Energia Elétrica de Sistemas Fotovoltaicos de Geração Distribuída em Unidades Prossumidoras Residenciais. **VII Congresso Brasileiro de Energia Solar - CBENS 2018**, 2018.

CAMARGOS, R. S. C.; SHAYANI, R. A.; OLIVEIRA, M. A. G. DE. Método Para Análise Comparativa dos Impactos Técnicos da Geração Distribuída Fotovoltaica Concentrada e Pulverizada. **Revista Brasileira de Energia Solar**, v. 7, n. 2, p. 115–122, 2016.

CASSARES, M. A. R.; ALMEIRA, M. P.; ZILLES, R. Análise da Produtividade do Primeiro Ano de Operação de um Sistema Fotovoltaico com Seguidor Solar de Eixo. **VII Congresso Brasileiro de Energia Solar - CBENS 2018**, 2018.

CRUZ, A. D. DA et al. 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, 2018.

DÁVI, G. A. et al. Energy Performance Evaluation of a Net Plus-Energy Residential Building With Grid-Connected Photovoltaic System in Brazil. **Energy and Buildings - Elsevier**, v. 120, p. 19–29, maio 2016.

EID, C. et al. The Economic Effect of Electricity Net-Metering With Solar PV: Consequences For Network Cost Recovery, Cross Subsidies and Policy Objectives. **Energy Policy**, v. 75, p. 244–254, dez. 2014.

EPE. **Balanco Energético Nacional**, p. 294, 2018.

GASPARIN, F. P.; KRENZINGER, A. Desempenho de um Sistema Fotovoltaico em Dez Cidades Brasileiras com Diferentes Orientações do Pannel. **Revista Brasileira de Energia Solar**, v. 8, n. 1, p. 10–17, 2017.

GESTOR SOLAR. **Retrospectiva Mercado Geração Distribuída 2018 e perspectiva para 2019**. Disponível em: <<http://www.gestorsolar.blog/retrospectiva-mercado-geracao-distribuida-2018-e-perspectiva-para-2019/>>.

GREENER. **Estudo Estratégico - Mercado Fotovoltaico de Geração Distribuída**, p. 144, 2019.

INMET. **Boletim Climático - Estado do Rio Grande do Sul: outubro, novembro e dezembro (2018)**, p. 6, 2018.

INMET. **Boletim Climático - Estado do Rio Grande do Sul: setembro, outubro e**

novembro (2018), p. 6, 2018.

INPE. Atlas Brasileiro de Energia Solar - 2a edição. **Inpe**, p. 80, 2017.

JUNIOR, L. G. DE O. Razões que Levaram os Consumidores de Energia Elétrica a se Transformarem em Geradores: uma Análise da Geração Fotovoltaica na Cidade de Vitória - ES. **Dissertação de Mestrado - Universidade Federal do Espírito Santo**, p. 134, 2018.

KORMANN, L. et al. Desenvolvimento de Mapas de Avaliação do Desempenho de Sistemas Fotovoltaicos em Diferentes Ângulos de Inclinação e de Azimute. **ASADES**, v. 18, p. 04.01-04.08, 2014.

LACCHINI, C.; RÜTHER, R. The Influence of Government Strategies on the Financial Return of Capital Invested in PV Systems Located in Different Climatic Zones in Brazil. **Renewable Energy**, v. 83, p. 786–798, nov. 2015.

LEITE, M. C. C. et al. Harmonic Analysis of a Photovoltaic Systems Connected to Low Voltage Grid. **IEEE Latin America Transactions**, v. 16, p. 112-117, 2018.

LIMA, L. C. DE; FERREIRA, L. DE A.; MORAIS, F. H. B. DE L. Performance Analysis of a Grid Connected Photovoltaic System in Northeastern Brazil. **Energy for Sustainable Development - Elsevier**, v. 37, p. 79–85, abr. 2017.

MACHADO, A. B.; SCARABELOT, L. T.; RAMPINELLI, G. A. Análise de Indicadores de Desempenho de Sistemas Fotovoltaicos de Geração Distribuída em Operação do Sul de Santa Catarina. **7º Simpósio de Integração Científica e Tecnológica do Sul Catarinense - SICT Sul**, p. 265–271, 2018a.

MACHADO, A. B.; SCARABELOT, L. T.; RAMPINELLI, G. A. Análise do Fluxo de Energia Elétrica em Unidades Prossumidoras Residenciais a Partir de Medição e Simulação. **7º Simpósio de Integração Científica e Tecnológica do Sul Catarinense**, 2018b.

MARTINI, L. E.; FERREIRA, C. DE A.; SANTOS, Í. P. DOS. Análise Comparativa de Performance Entre um Sistema Solar Fotovoltaico de uma Edificação Escolar e de uma Residência. **VII Congresso Brasileiro de Energia Solar - CBENS 2018**, v. 0, 2018.

MELLO, A. D. Análise de Desempenho de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede a partir da Determinação de Índices de Mérito. **Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Federal de Santa Catarina**, 15 jun. 2016.

MONTGOMERY, D. C.; RUNGER, G. C. **Estatística Aplicada e Probabilidade Para Engenheiros**. 6. ed. 2016.

NAKABAYASHI, R. Microgeração Fotovoltaica no Brasil: Viabilidade Econômica. **IEE USP - LSE**, 2015.

NARIMATU, B. R. S.; CRIBARI, F. A.; GUIMARÃES, W. T. Avaliação de Desempenho de um Sistema Fotovoltaico Comercial de 14,56 kWp no Município de Serra. **VII Congresso Brasileiro de Energia Solar**, 2018.

NASCIMENTO, L. R. DO; RUTHER, R. A Avaliação de Longo Prazo de um Sistema Fotovoltaico Integrado à Edificação Urbana e Conectado à Rede Elétrica Pública. **Revista Brasileira de Energia Solar**, v. 1, p. 73–81, 2014.

RAMPINELLI, G. A. Estudo de Características Elétricas e Térmicas de Inversores para Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede. **Tese de Doutorado - Universidade Federal do Rio Grande do Sul**, 2010.

ROSA, A. R. O.; GASPARIN, F. P. Panorama da Energia Solar Fotovoltaica no Brasil. **Revista Brasileira de Energia Solar**, v. 7, n. 2, p. 140–147, 2016.

SCARABELOT, L. T.; RAMPINELLI, G. A.; RAMBO, C. R. Avaliação do Sistema de Compensação de Geração Distribuída com Sistemas Fotovoltaicos em Unidades Prosumidoras Residenciais. **VII Congresso Brasileiro de Energia Solar - CBENS 2018**, 2018.

SCARABELOT, L. T.; RAMBO, C. R.; RAMPINELLI, G. A. A Relative Power-Based Adaptive Hybrid Model for DC/AC Average Inverter Efficiency of Photovoltaics Systems. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 92, p. 470–477, 2018.

SHAYANI, R. A. Método Para Determinação do Limite de Penetração da Geração Distribuída Fotovoltaica em Redes Radiais de Distribuição. **Tese de Doutorado - Universidade de Brasília**, 2010.

SOUZA, A. C. DE. Análise dos Impactos da Geração Distribuída por Fonte Solar Fotovoltaica na Qualidade da Energia Elétrica. **Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Uberlândia**, 22 fev. 2016.

TONIN, F. S. Caracterização de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica na Cidade de Curitiba. **Dissertação de Mestrado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná**, 2017.

VILLAREAL, M. J. C.; MOREIRA, J. M. L. Household Consumption of Electricity in Brazil Between 1985 and 2013. **Energy Policy**, v. 96, p. 251–259, 2016.

WALLIS, H.; NACHREINER, M.; MATTHIES, E. Adolescents and Electricity Consumption; Investigating Sociodemographic, Economic, and Behavioural Influences on Electricity Consumption in Households. **Energy Policy**, v. 94, p. 224–234, 2016.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus pelas oportunidades, por ter me guiado e permitido que, aos poucos, as conquistas chegassem. Por ter dado forças para seguir em todos os momentos que não acreditei que conseguiria.

À minha família, em especial a minha mãe Darlete e meu irmão Alexsandro, por toda a ajuda e incentivo.

Ao meu namorado Diego, pelo imenso apoio, incentivo e paciência, por sempre estar presente e compartilhar comigo os momentos difíceis e as conquistas. Por sempre ter sido carinhoso e compreensivo durante todo o período da minha graduação. Obrigada por estar ao meu lado.

Às amigas, principalmente Letícia e Thayane, por dividirem as frustrações do meio acadêmico e sempre estarem dispostas a ajudar. Por compartilharem conhecimento e por terem feito os últimos anos de graduação mais alegres. E a todos os amigos que compartilharam comigo momentos especiais.

Ao Prof. Dr. Giuliano Arns Rampinelli, pelo incentivo, paciência e auxílio. Por ter confiado em mim e assumido a responsabilidade da entrega deste trabalho.

À Me. Letícia Toretto Scarabelot, pela oportunidade de estágio, pelo dia-a-dia, pelos ensinamentos e pela liberação dos dados de monitoramento da LEnergy, permitindo a realização desse trabalho.

Ao Prof. Me. Fernando Schuck de Oliveira, pela disponibilidade em participar da banca examinadora, contribuindo para este trabalho.

À Universidade Federal de Santa Catarina, CTS, pela oportunidade de me tornar Engenheira de Energia.