

DESEMPENHO ENERGÉTICO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE LOCALIZADOS NA EUROPA E NO SUL DO BRASIL A PARTIR DE ANÁLISE MULTI-ÍNDICES

Eduardo da Silva Almerão – eduardosa630@gmail.com
Andriele Bratti Machado – andriele_bratti_@hotmail.com
Letícia Toreti Scarabelot – leticiascarabelot@yahoo.com.br
Giuliano Arns Rampinelli – giuliano.rampinelli@ufsc.br
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciência Tecnologia e Saúde

Resumo. O movimento a favor das fontes de energias renováveis vem crescendo em cenário mundial devido principalmente a acordos climáticos que visam a redução da emissão de gases nocivos a atmosfera. Entre as fontes de energia limpa, a energia solar apresenta grande crescimento tanto em cenário nacional quanto internacional. Como consequência da expansão do mercado de energia solar fotovoltaico, pesquisas e estudos que visam avaliar os impactos e desempenho desta tecnologia vem ganhando maior espaço. Uma forma de verificar o comportamento de sistemas fotovoltaicos é através da análise dos índices de desempenho, estes índices auxiliam no monitoramento e refletem as características de um sistema, como eficiência, produtividade, perdas e desempenho, além de possibilitar a comparação de sistemas fotovoltaicos independentes da sua localização e tecnologia. Este trabalho apresenta a análise dos índices de mérito a partir de dados históricos de dois sistemas localizados na Europa, nas cidades de Delft (Holanda) e Bratislava (Eslováquia), e cinco sistemas localizados no estado de Santa Catarina (Brasil), nas cidades de Araranguá, Criciúma, Meleiro, Meleiro/Sapiranga e Turvo. O objetivo deste estudo é comparar e verificar o comportamento dos sistemas fotovoltaicos localizados no Sul do Brasil, Eslováquia e Holanda, através da análise dos indicadores de desempenho. O resultado desta análise para cada sistema é apresentado no formato de gráficos de barras e linhas. Ao final deste estudo é perceptível visualizar a oscilação do fator de capacidade, índice de produtividade e índice de desempenho global de acordo com a disposição da incidência solar sobre os arranjos fotovoltaicos e a variação da temperatura durante o ano.

Palavras-chave: Energia Solar, Sistemas Fotovoltaicos, Índices de Desempenho Energético

1. INTRODUÇÃO

A geração distribuída caracteriza-se por unidades de geração de energia elétrica localizadas na proximidade do consumidor final. A geração distribuída é regida pela REN 482 que classifica sistemas de até 75 KW como microgeração, já para a minigeração a limitação dos sistemas varia de 75 kW a 5 MW. Segundo (Malfa 2002) a geração distribuída fotovoltaica é a geração que não é planejada de modo centralizado, nem despachada de modo centralizado, não havendo, portanto, um órgão que comande as ações das unidades de geração descentralizada.

O território brasileiro apresenta predominância do clima tropical, caracterizado por temperaturas altas, períodos chuvosos no verão e seco no inverno, como consequência das características climáticas e geográficas a extensão territorial apresenta alta incidência solar em todas as estações do ano. Em contrapartida, a Europa, continente de clima predominantemente temperado continental, com as estações do ano bem definidas, e em função da sua localização geográfica os índices de incidência solar são extremamente menores quando comparados aos índices registrados no Brasil, apesar disto o continente europeu é destaque no uso e avanço da energia solar, atingindo no ano de 2020 a marca de 137,2 GW de potência instalada que em conjunto com outras fontes renováveis contabilizaram 38% da energia gerada no continente europeu (European Commission, 2021).

A energia solar fotovoltaica já é uma tecnologia sólida e bem desenvolvida para a produção de energia elétrica em larga escala, no ano de 2021 a geração distribuída no Brasil atingiu 7 GW, impulsionada principalmente pela implementação de sistemas fotovoltaicos, que representam 95,8% da geração distribuída no território nacional. Conforme o Plano Decenal de Expansão de Energia Elétrica 2030 (MME; EPE, 2021), as expectativas são favoráveis para a ampliação da tecnologia fotovoltaica no território nacional, as perspectivas apontam que no ano de 2030 a geração centralizada fotovoltaica será responsável pela produção de 21 TWh, e a potência instalada da geração distribuída alcançará valores entre 16,8 GW e 24,5 GW.

A expansão acelerada desta tecnologia vem assegurando um maior incentivo para trabalhos que buscam prever o comportamento dos sistemas fotovoltaicos continuem a ser desenvolvidos. Uma forma de realizar isto é através de parâmetros standardizados que identificam o desempenho de dos sistemas fotovoltaicos. Estes parâmetros devem permitir a detecção de problemas operacionais facilitando a comparação de sistemas de diferentes desenhos, tecnologia e

localização geográfica. Desta forma se dimensionam sistemas com uma maior confiabilidade e qualidade. Estes métodos estandardizados de classificação dos sistemas fotovoltaicos também ajudam a enquadrar os sistemas dentro de uma expectativa apropriada, aumentando a credibilidade da tecnologia. (VERA; KRENZINGER, 2011)

Estes parâmetros são denominados índices de mérito ou índices de desempenho energético e são estabelecidos pela *International Energy Agency* (IEA – PVPS). A adoção destes índices permite realizar o monitoramento e a comparação de desempenho de sistemas fotovoltaicos que possuem diferentes estruturas, localização geográfica e irradiação incidente sobre o arranjo fotovoltaico.

O objetivo deste artigo é estudar o comportamento e desempenho de sistemas fotovoltaicos localizados na cidade de Delft (Holanda), Bratislava (Eslováquia) e no Sul do Brasil, nas cidades de Araranguá, Criciúma, Meleiro, Meleiro/Sapiranga e Turvo, a partir de uma análise multi-índices de desempenho energético.

2. ÍNDICES DE MÉRITO

Os índices de mérito são indicadores que permitem a comparação de desempenho entre sistemas fotovoltaicos que operam em diferentes condições de localidade e configuração (BENEDITO, 2009). Em outras palavras, a utilização destes parâmetros possibilita uma comparação direta entre sistemas que apresentam características distintas, como, disponibilidade do recurso solar, ângulo de inclinação, tecnologia da célula e localização geográfica.

2.1 Fator de Capacidade

O Fator de Capacidade (FC) de um sistema fotovoltaico é um índice expresso em porcentagem que representa a energia gerada em relação a capacidade total de energia que poderia ser gerada. Segundo Kormann et al. (2014), os sistemas fotovoltaicos instalados no território brasileiro apresentam FC entre 13% e 18%.

A equação 1 apresenta o Fator de Capacidade que é definido pela razão entre a produção de energia elétrica real e a produção de energia elétrica caso o sistema operasse 24 horas diárias em sua potência nominal em condição padrão (1000 W/m² e 25 °C) (RAMPINELLI, 2010).

$$FC = \frac{ECA}{ESTD} = \frac{\int_0^{\tau} PCA(t).dt}{\int_0^{\tau} PSTD(t).dt} \quad (1)$$

Onde, FC representa o fator de capacidade, ECA é a energia produzida injetada na rede, ESTD é a energia teórica injetada na rede caso o sistema trabalhe 24 horas diárias na condição de teste padrão, PCA é a potência elétrica injetada na rede e PSTD é a potência gerada nas condições padrão em caso de operação 24 horas por dia.

2.2 Produtividade do Sistema

A Produtividade do Sistema (YF) é expressa pela equação 2.

$$YF = \frac{\int_0^{\tau} PCA(t).dt}{PSTD} \quad (2)$$

A Produtividade do Sistemas é definida pela razão entre a energia elétrica convertida por cada kWp instalado e pode ser determinada para o arranjo fotovoltaico e para o sistema fotovoltaico. O índice de produtividade indica o número de horas que o sistema deveria operar em sua potência em condição padrão para converter a mesma quantidade de energia convertida no período considerado. (RAMPINELLI, 2010).

2.3 Produtividade de Referência

A Produtividade de Referência (YR) é dada pela equação 3. Este parâmetro caracteriza o recurso solar no local de instalação do sistema fotovoltaico. A unidade deste parâmetro é horas de sol na condição padrão (1000 W/m²) em determinado período de estudo. (IEC, 1998).

$$YR = \frac{H(\gamma, \beta)}{GSTD} \quad (3)$$

Onde, $H(\gamma, \beta)$ representa a irradiância no plano inclinado do arranjo fotovoltaico e GSTD representa a irradiância padrão de 1000 W/m².

2.4 Índice de Desempenho Global

O Índice de Desempenho Global (PR ou Performance Ratio) dado pela equação 4, é a relação entre o índice de produtividade (YF) e a produtividade de referência (YR).

$$PR = \frac{YF}{YR} \quad (4)$$

O Índice de Desempenho Global é muito útil pois ele quantifica as perdas globais ocorridas no sistema devido à ineficiência do inversor, às perdas na fiação, incompatibilidades na conversão CC para CA, aos componentes de proteção, temperatura dos módulos, instalação incorreta do painel, sujeira e eventuais desligamentos. Este índice de mérito representa a real capacidade do sistema em converter a energia solar disponível no plano dos painéis em eletricidade, pois é a razão entre a energia entregue pelo sistema e a energia que esteve disponível no plano considerado (MARION, ADELSTEIN, et al., 2005).

O índice PR é extremamente útil para avaliar sistemas fotovoltaicos conectados à rede inseridos em diferentes latitudes. A diferença do índice PR entre dois ou mais sistemas fotovoltaicos, não reflete a real capacidade de produção de energia elétrica, a presença de um PR alto não significa maior produção de energia quando comparado a um sistema com baixo PR, um sistema pode produzir altos valores de energia elétrica mesmo apresentando um índice de desempenho global baixo, isto se deve principalmente a presença de altas taxas de incidência solar no local de inserção do arranjo fotovoltaico.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

A análise dos dados solarimétricos dos sistemas localizados no continente europeu, foi realizada através das informações disponíveis no site SolarGis, na plataforma PvSpot. Esta plataforma disponibiliza os dados provenientes de dois sistemas localizados em território europeu e utilizados neste estudo. O sistema localizado na Universidade de Tecnologia de Delft (Holanda), apresenta potência instalada de 15,24 kWp e período de monitoramento de 2011 a 2020. O sistema localizado na Escola Secundária de Engenharia Elétrica na Bratislava (Eslováquia), possui potência instalada de 19,1 kWp e período de monitoramento de 2010 a 2020.

Os sistemas fotovoltaicos localizados no território brasileiro estão instalados na região Sul do estado de Santa Catarina. O sistema da cidade de Araranguá apresenta período de monitoramento de 2018 a 2019 e possui potência instalada de 3,25 kWp. O sistema localizado na cidade de Criciúma apresenta período de monitoramento de 2017 a 2019 e possui potência instalada de 3,71 kWp. O sistema localizado na cidade de Meleiro apresenta período de monitoramento de 2017 a 2019 e potência instalada de 4,16 kWp. O sistema localizado na cidade de Meleiro/Sapiranga, apresenta período de monitoramento de 2018 a 2019 e potência instalada de 1,35 kWp. E o sistema localizado na cidade de Turvo, apresenta período de monitoramento de 2017 a 2019 e potência instalada de 1,25 kWp. Os dados dos sistemas localizados na região sul do estado de Santa Catarina foram obtidos através de uma plataforma de monitoramento via Wi-Fi, que registra os dados diários da produção de energia de cada sistema individualmente.

A Tab. 1 reúne informações a respeito das características individuais de cada sistema analisado, como: orientação azimutal, inclinação do arranjo fotovoltaico, potência instalada e tempo de monitoramento de cada sistema fotovoltaico.

Tabela 1 – Aspectos Individuais dos Sistemas Fotovoltaicos Analisados

	Araranguá	Criciúma	Eslováquia	Holanda	Meleiro	Meleiro/ Sapiranga	Turvo
Potência Instalada	3,25 kWp	3,71 kWp	19,1 kWp	15,4 kWp	4,160 kWp	1,350 kWp	1,250 kWp
Azimute	0°	0°	180°	180°	30°O/ 30°L	30°L	60°L
Inclinação	20°	20°	30°	26°	20°	20°	25°
Monitoramento	2018-2019	2017-2019	2010-2020	2011-2020	2017-2019	2018-2019	2017-2019

Além das características individuais de cada sistema fotovoltaico, também foram extraídos dados climáticos referentes a temperatura média das cidades localizadas em território europeu e brasileiro. As informações climatológicas para as cidades de Delft e Bratislava foram extraídas respectivamente da página da Universidade Tecnológica de Delft (TU Delft) e do site britânico YourWeather. Os dados referentes as cidades do Sul Catarinense foram obtidos através da página do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), das cinco cidades brasileiras analisadas, apenas Araranguá possui estação climatológica com dados disponíveis na plataforma do INMET, em função disto e da pequena distância entre as cinco cidades, a temperatura média do extremo Sul de Santa Catarina foi considerada igual a temperatura média de Araranguá.

4. RESULTADOS

Os históricos de dados retirados das plataformas de monitoramento referentes a cada sistema e posteriormente foram tratados e analisados de acordo com os índices de mérito apresentados anteriormente.

A Fig. 1 apresenta o Fator de Capacidade (FC) para as duas cidades situadas na Europa, Bratislava e Delft. É perceptível o crescimento do índice FC nos meses referentes ao verão no hemisfério norte, como consequência de índices mais elevados de incidência solar. Para o sistema localizado na Bratislava o maior valor de FC é 19,11%, registrado durante o mês de junho, na cidade de Delft, o sistema fotovoltaico apresentou o melhor fator de capacidade no mês de maio, registrando 18,77%. Em função da menor disponibilidade do recurso solar nos meses de inverno, os menores fatores de capacidade para ambos os sistemas ocorrem durante este período, os sistemas da Bratislava e Delft apresentam no mês de dezembro os menores valores de FC, 5% e 3,2% respectivamente, como consequência, nestes meses os sistemas apresentam menor geração de energia elétrica.

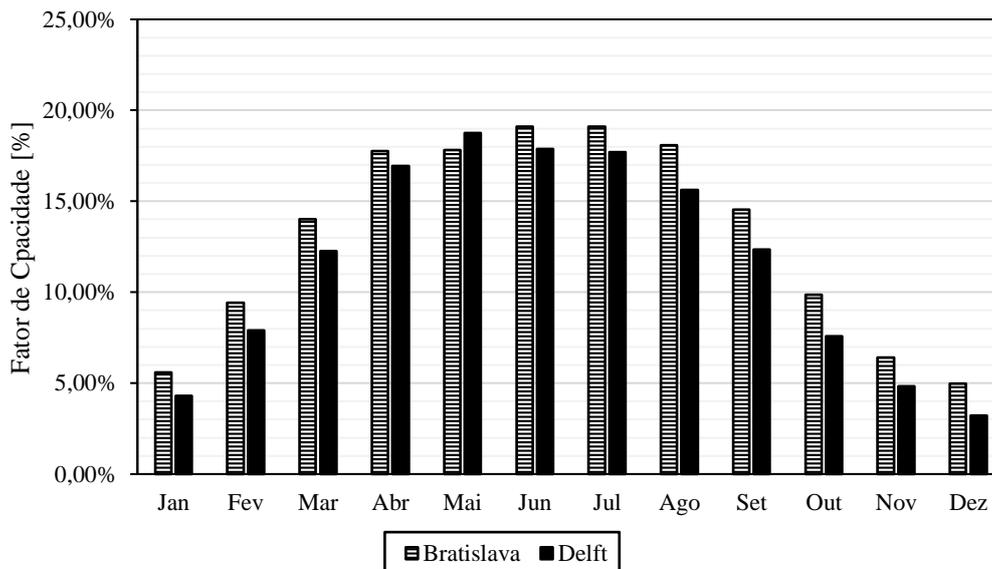


Figura 1 – Fator de Capacidade (FC) para os sistemas das cidades de Bratislava e Delft.

A Fig. 2 apresenta o Índice de Produtividade (YF) dos sistemas localizados em Bratislava e Delft. O sistema da cidade de Bratislava apresenta o maior índice YF no mês de agosto, com produtividade de 142 kWh/kWp. Para o sistema localizado na cidade de Delft o maior índice YF registrado foi de 140 kWh/kWp referente ao mês de maio. A menor produtividade é registrada nos meses condizentes com o inverno europeu, para ambos os sistemas fotovoltaicos o menor índice YF foi registrado no mês de dezembro, o sistema da Bratislava apresentou 37 kWh/kWp e o sistema de Delft apresentou 24 kWh/kWp.

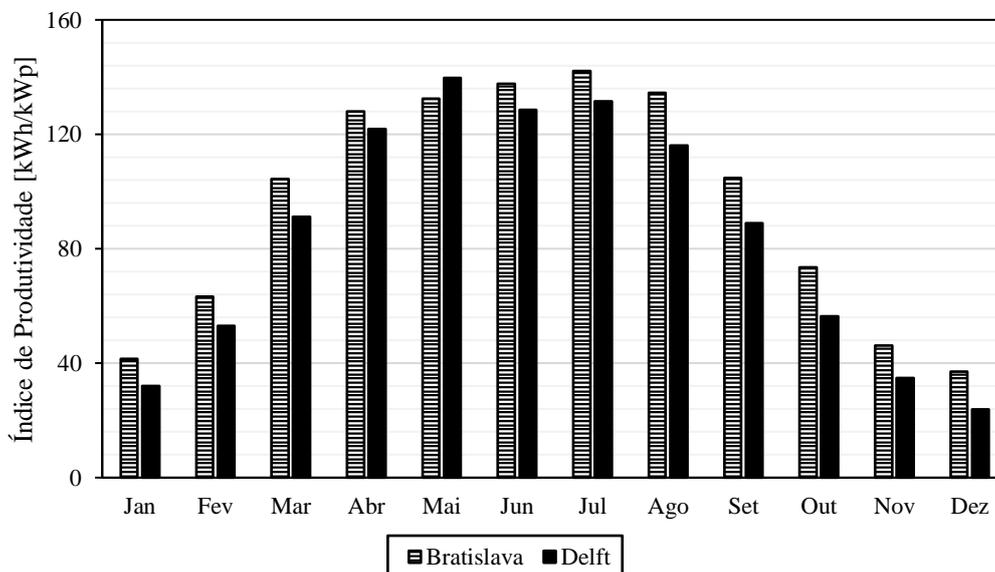


Figura 2 – Produtividade do Sistema (YF) para os sistemas das cidades de Bratislava e Delft.

A Fig. 3 apresenta o Índice de Desempenho Global (PR) para as cidades de Bratislava e Delft. O maior índice PR para ambos os sistemas ocorreu no mês de fevereiro, a cidade de Bratislava apresentou 93,52% e a cidade de Delft apresentou 96,35%. O menor índice PR registrado na cidade de Bratislava foi 76,7%, referente ao mês de agosto. O menor índice PR para a cidade de Delft foi de 76,21% registrado no mês de outubro.

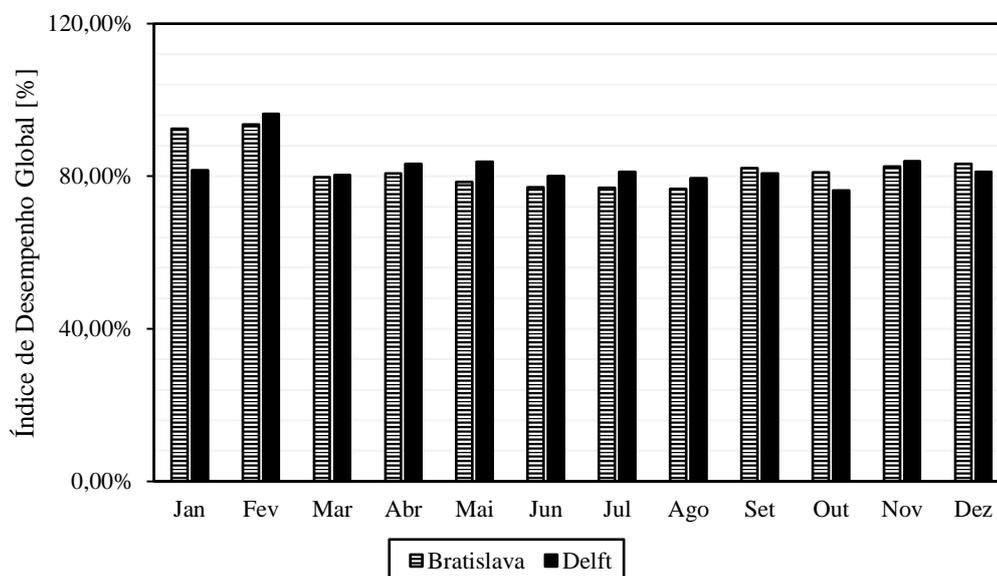


Figura 3 – Índice de Desempenho Global para os sistemas das cidades de Bratislava e Delft.

A Fig. 4 apresenta o Fator Capacidade para os cinco sistemas fotovoltaicos das cidades localizadas no hemisfério sul, no estado de Santa Catarina. A cidade de Araranguá registrou o maior valor de FC no mês de dezembro, quando obteve 22,21%. Para a cidade de Criciúma o maior valor de FC foi de 18,75%, referente ao mês de dezembro. Na cidade de Meleiro e Meleiro/Sapiranga o registro do maior índice FC ocorreu no mês de dezembro, apresentando valores de 16,37% e 22% respectivamente. Para a cidade de Turvo, o mês com maior índice FC foi o mês de fevereiro, registrando 18,5%. Os menores índices FC ocorreram nos meses de menor incidência solar. A cidade de Araranguá registrou no mês de junho o valor de 10,21%. A cidade de Criciúma registrou FC de 10,29% no mês de maio. Meleiro registrou em maio o valor de 8,62%. Na cidade de Meleiro/Sapiranga o mês de agosto registrou o valor de FC de 9,42%. E a cidade de Turvo registrou em junho o valor de 10,78%.

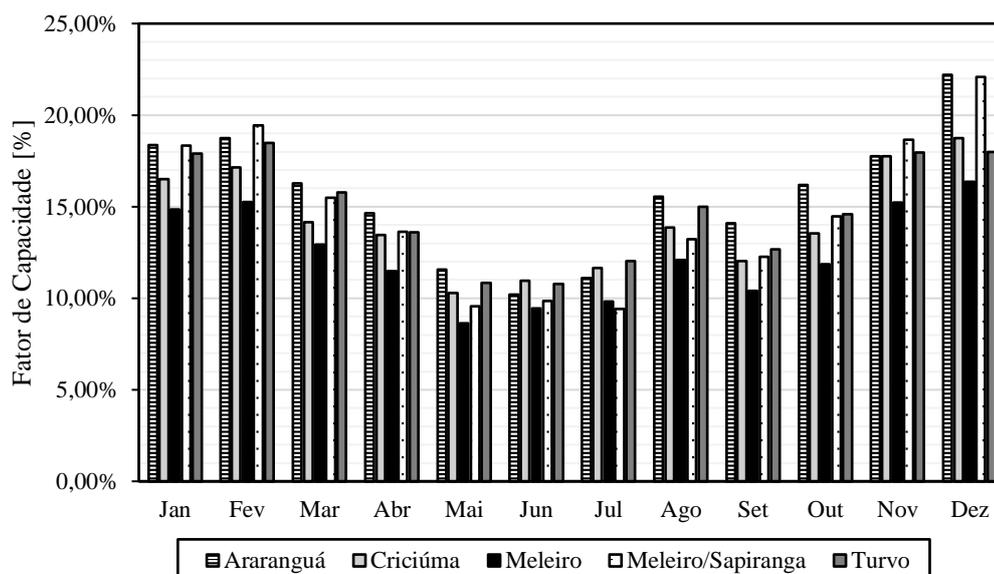


Figura 4 – Fator de Capacidade (FC) para os sistemas da região Sul de Santa Catarina.

A Fig. 5 apresenta o índice de produtividade (YF) para os sistemas fotovoltaicos localizados nas cidades do sul do estado de Santa Catarina. O maior valor do índice YF ocorreu em dezembro para todas as cinco cidades analisadas. A cidade de Araranguá registrou o valor de 165 kWh/kWp. A cidade de Criciúma registrou o valor de 140 kWh/kWp. Para a cidade de Meleiro, o maior valor registrado foi de 122 kWh/kWp. A cidade de Meleiro/Sapiranga registrou no mês citado o valor de 164 kWh/kWp. E Turvo registrou o valor de 134 kWh/kWp. A menor produtividade foi registrada durante os meses de menor incidência solar no hemisfério Sul. A cidade de Araranguá no mês de junho registrou o valor de 73 kWh/kWp. Para o sistema da cidade de Criciúma o menor registro ocorreu no mês de maio, quando foi registrado 77 kWh/kWp. Em Meleiro o menor valor registrado também ocorreu no mês de maio, quando o YF foi de 64 kWh/kWp. Na cidade de Meleiro/Sapiranga o menor índice de produtividade do sistema foi de 70 kWh/kWp, registrado no mês de julho. E o sistema de Turvo registrou 78 kWh/kWp, registrado no mês de junho.

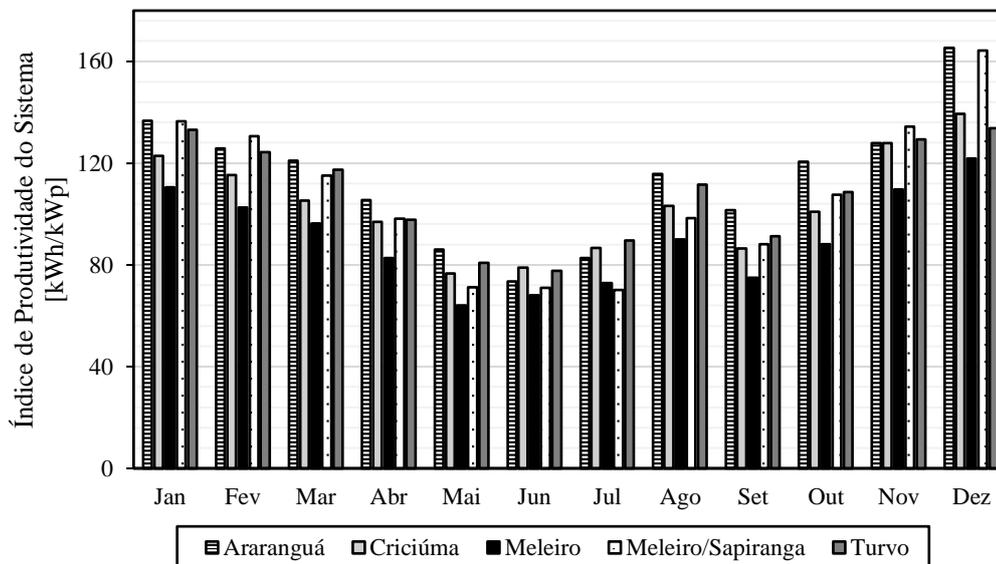


Figura 5 – Produtividade do Sistema (YF) para os sistemas da região Sul de Santa Catarina.

A Fig. 6 demonstra a comparação entre as temperaturas médias das cidades analisadas onde estão situados os sistemas fotovoltaicos analisados neste estudo, o Sul de Santa Catarina apresenta faixas de maior temperatura média e menor variação durante o ano quando comparado com as cidades de Delft e Bratislava, como consequência da ligação direta entre temperatura e irradiação solar, a região Sul Catarinense dispõe de maior disponibilidade do recurso solar ao longo do ano.

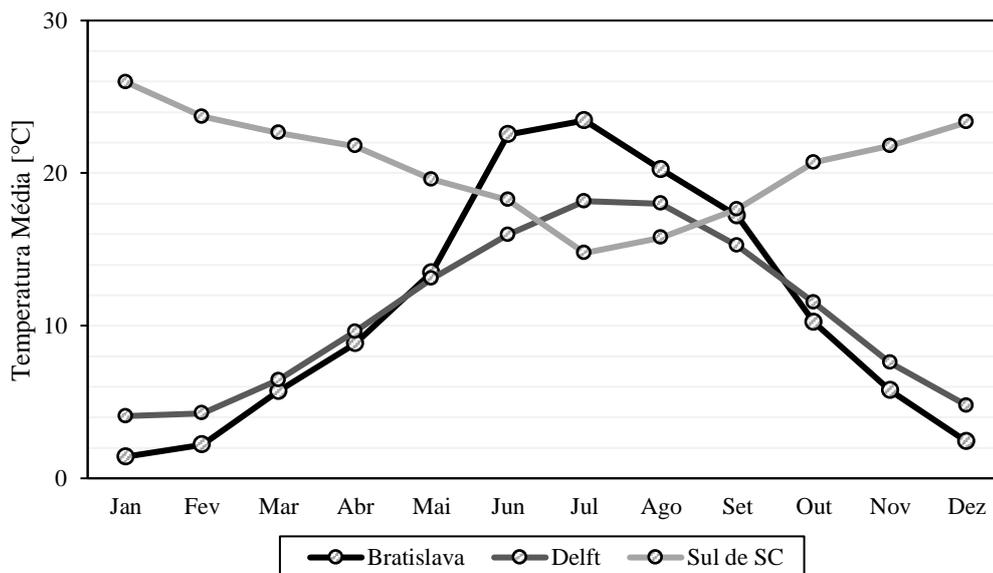


Figura 6 – Temperatura Média das Cidades em Território Europeu e Brasileiro

As Fig. 7 e Fig. 8 reúnem os valores de Produtividade do Sistema (YF) e Fator de Capacidade (FC) em forma de gráfico de linhas para os sistemas das cidades de Bratislava, Delft e a média dos cinco sistemas das cidades localizadas

no sul do estado catarinense. É perceptível identificar que os melhores índices de desempenho são referentes à média dos sistemas instalados no Brasil, os maiores valores de YF e FC acontecem em dezembro 145 kWh/kWp e 19,5% respectivamente e os menores valores foram registrados no mês de junho 73,75 kWh/kWp e 10,24% respectivamente. Ambas figuras demonstram como a baixa disponibilidade solar afeta drasticamente a produção de energia elétrica dos sistemas fotovoltaicos, tanto os sistemas instalados no hemisfério norte, onde o inverno apresenta a predominância de temperaturas próximas a 0°C, quanto os sistemas localizados no Brasil, onde as temperaturas durante os meses de inverno não são extremamente baixas, apresentam queda acentuada nos indicadores de desempenho. Em compensação, durante os meses de verão, os sistemas analisados apresentam resultados similares.

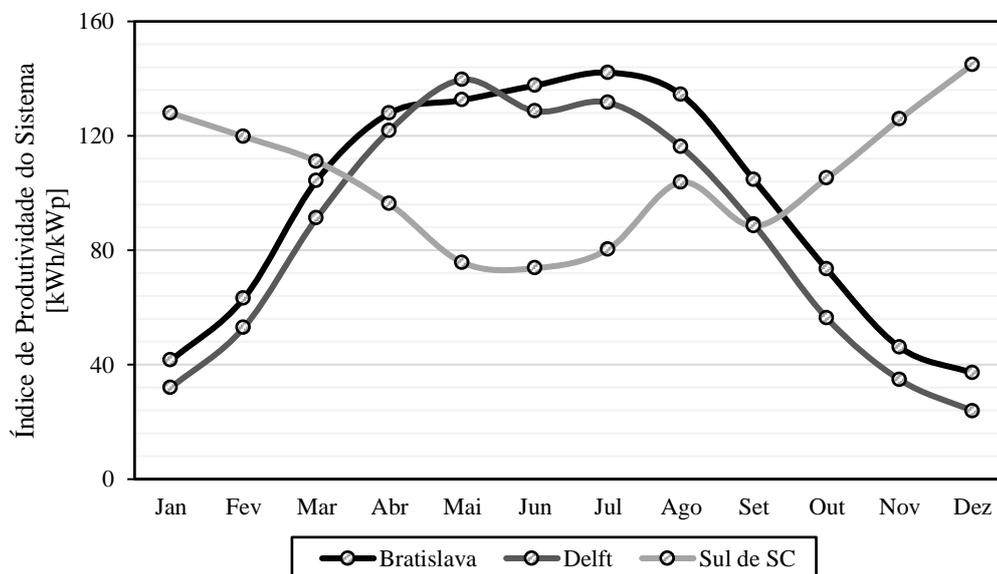


Figura 7 – Comparação da Produtividade do Sistema (YF) entre os sistemas localizados na Europa e Brasil.

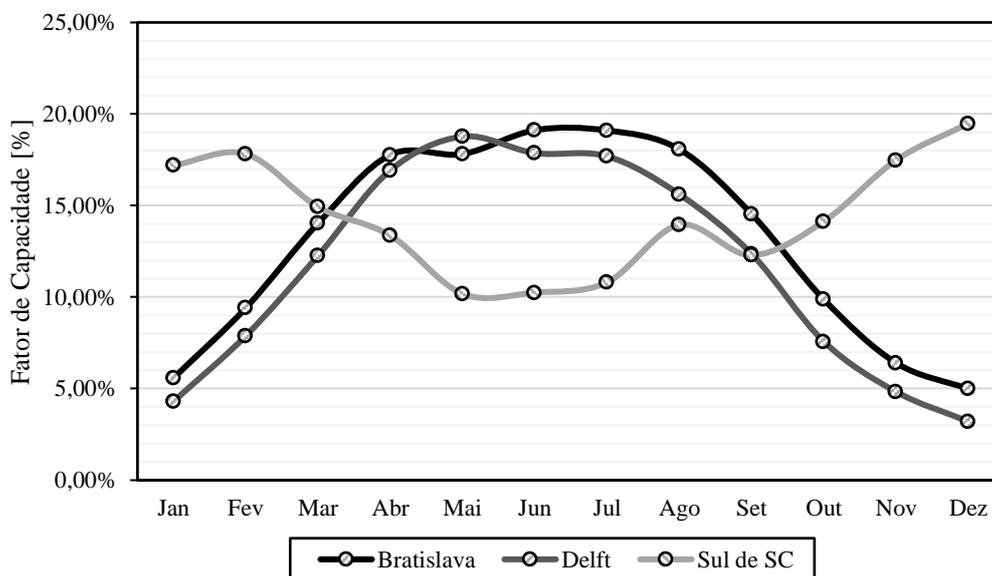


Figura 8 - Comparação do Fator de Capacidade (FC) entre os sistemas localizados na Europa e Brasil.

A Fig. 9 e Fig. 10 apresentam a dispersão da série de dados individualmente para cada sistema fotovoltaico. A Fig. 8 é referente a dispersão dos dados de Produtividade do Sistema (YF), os sistemas fotovoltaicos localizados no continente europeu possuem maior tempo de monitoramento, como consequência apresentam maior número de dados coletados, refletindo assim em uma maior dispersão, a menor dispersão de dados ocorre no sistema localizado na cidade de Araranguá em função de apresentar menor tempo de monitoramento. O mesmo acontece na análise da Fig. 9, referente a dispersão dos dados de Fator de Capacidade (FC), os sistemas localizados em Delft e na Bratislava apresentam a maior dispersão de dados, enquanto o sistema localizado em Araranguá apresenta uma menor dispersão. Em ambas as figuras

não existe a presença de “outliers”, indicando assim que não existem valores que se afastam drasticamente do conjunto de amostras de cada sistema.

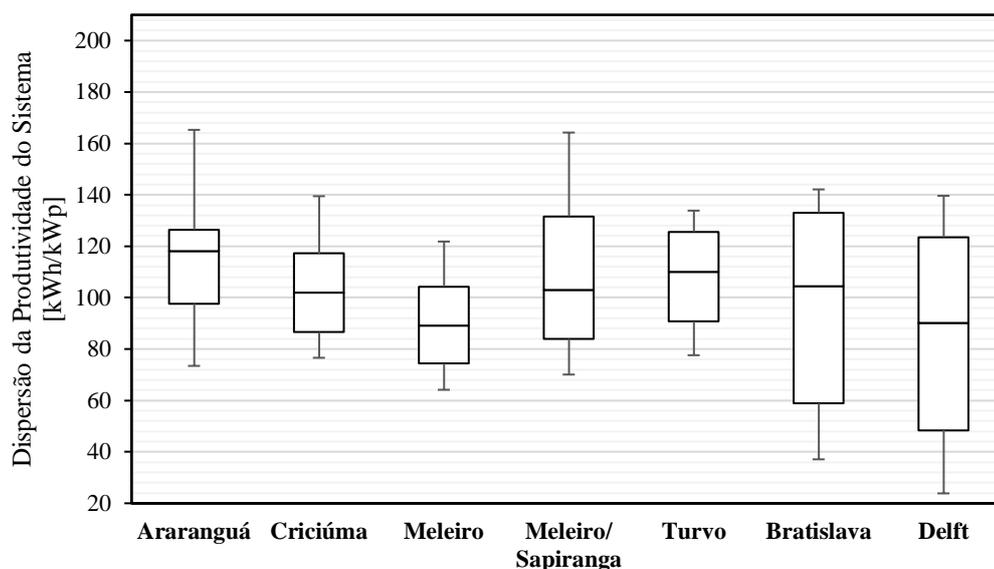


Figura 9 – Dispersão da Produtividade do Sistema de acordo com a amostra de dados disponibilizada.

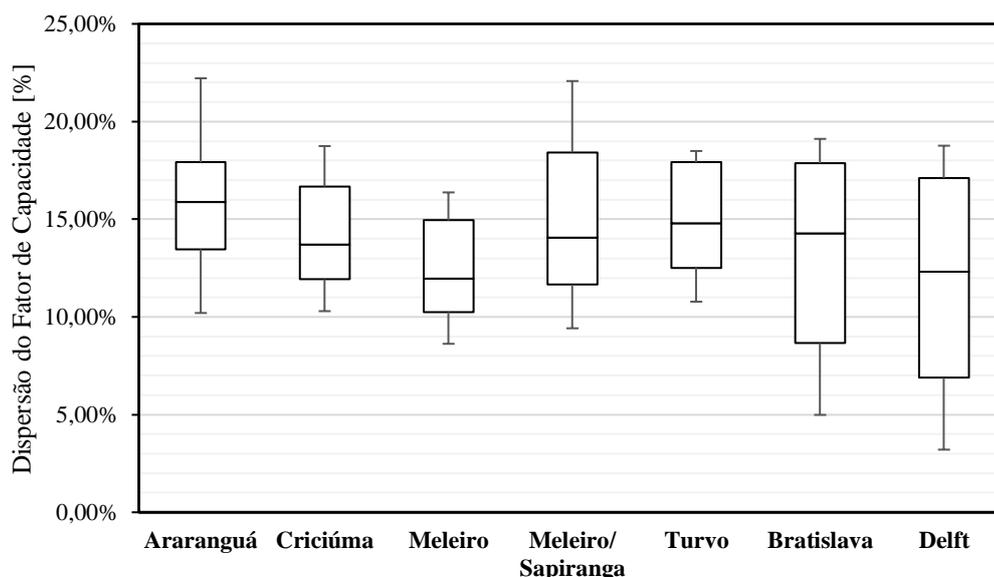


Figura 10 – Dispersão do Fator de Capacidade de acordo com a amostra de dados disponibilizada.

5. CONCLUSÃO

Este trabalho verificou a performance de 7 sistemas em operação distribuídos em cidades do Sul do Brasil e Europa, para isso foi de suma importância o uso de índices de desempenho, já que os sistemas possuem potências e localizações distintas. Os índices obtidos a partir dos dados históricos de cada sistema, representaram o desempenho dos arranjos fotovoltaicos de acordo com o recurso solar disponível no local de instalação.

Os resultados obtidos demonstram que os sistemas localizados no Sul Catarinense apesar de serem em média 6 vezes menores em potência instalada do que os sistemas fotovoltaicos europeus, apresentam indicadores de desempenho superiores aos sistemas de Delft e Bratislava. Nos meses de inverno, devido a inclinação da Terra em relação ao Sol, a incidência solar é menor, apesar disso, os sistemas fotovoltaicos localizados no Brasil apresentam a média do fator de capacidade igual ou superior a 10% e produtividade média dos sistemas é cerca de duas vezes maior que a produtividade apresentada nos sistemas europeus, enquanto os sistemas instalados na Europa apresentam a média do fator de capacidade inferior a 7% nos meses de inverno. A temperatura possui influência direta na eficiência das células fotovoltaicas, apesar de menores temperaturas significarem menor incidência solar devida a relação entre temperatura ambiente e

disponibilidade do recurso solar, a análise do índice de desempenho global para as cidades de Bratislava e Delft demonstra que este parâmetro é inversamente proporcional a temperatura, visto que em períodos de temperaturas amenas os sistemas localizados na Europa apresentam melhor desempenho.

A inserção da tecnologia fotovoltaica vem mantendo um ritmo de implantação acelerado mundialmente devido a necessidade de implantação de fontes renováveis, não poluentes e de menor impacto ambiental. Aliado a esta alavancagem é importante estar atento ao comportamento destes sistemas, visando entender e prevenir os impactos que acontecem nas redes de transmissão e distribuição devido a variação do recurso solar ao decorrer do ano.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Coordenadoria de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior (CAPES), à Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) e ao Núcleo Tecnológico de Energia Elétrica (NTEEL).

REFERÊNCIAS

- ANEEL. “Resolução Normativa nº 687”, ANEEL, p. 24, 2015
- BENEDITO, R. S. Caracterização da Geração Distribuída de Eletricidade por Meio de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede, no Brasil, sob os Aspectos Técnico, Econômico e Regulatório. Dissertação de Mestrado, USP, São Paulo, 2009.
- European Commission. Introductory remarks by Commissioner Simson during the meeting with CEOs from the Solar PV industry. Disponível em: https://ec.europa.eu/commission/commissioners/2019-2024/simson/announcements/introductory-remarks-commissioner-simson-during-meeting-ceos-solar-pv-industry_en. Acesso em: 29 nov. 2021.
- European Commission. State of the Energy Union 2021: Renewables overtake fossil fuels as the EU's main power source. Disponível em: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_21_5554. Acesso em: 29 nov. 2021.
- IEA-PVPS. “Analytical Monitoring of Grid-connected Photovoltaic Systems”. St. Ursen: Report Iea-pvps T13-03:2014, 2014. 90 p
- IEA-PVPS. “Analysis Of Photovoltaic Systems”. St. Ursen: Report Iea-pvps T2-01: 2000, 2000. 233 p
- 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.
- MALFA, Enrico. ABB on Sustainable Energy Markets. Università di Brescia, 2002.
- MME - MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA; EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. Plano Decenal de Expansão de Energia 2030. Brasília: MME/EPE, 2021. Disponível em: . Acesso em: 07 nov. 2021.
- MARION, B. et al. Performance parameters for grid-connected PV systems. Golden - Colorado: Photovoltaic Specialists Conference, IEEE, 2005.
- Rampinelli, Giuliano Arns. Estudo De Características Elétricas E Térmicas De Inversores Para Sistemas Fotovoltaicos Conectados À Rede. 2010. 285 f. Tese – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.
- STANDARDS COMMITTEE. IEC 61724: 1998: Photovoltaic system performance monitoring - Guidelines for measurement, data exchange and analysis. London: British Standard, 1998. 20 p.

EVALUATION OF ENERGY PERFORMANCE INDEX OF PHOTOVOLTAIC SYSTEMS CONNECTED IN THE ELECTRIC NET LOCATED IN EUROPE AND SOUTH OF BRAZIL

Abstract. *The movement in favor of renewable energies is growing worldwide because of climate agreements that have as a main objective the reduction of greenhouse gases. Among the clean energy sources, solar energy shows a great growth both nationally and internationally. As a consequence of the expansion of the PV market, studies and research that have as a main goal avail the impacts and performance of this technology are gaining a larger space. A way of verify the behavior of photovoltaic systems is through the analysis of performance index, this index support the monitoring of photovoltaic systems and as a result, they reflect the main features of a system, like efficiency, productivity, loss of energy and performance, beyond that, the use of performance index allow the comparison of photovoltaic systems independently of geographic location and technology. This study presents the analysis of performance index using historic data of two systems located in Europe, in the cities of Delft (Netherlands) and Bratislava (Slovakia), and five systems located in the state of Santa Catarina (Brazil), in the cities of Araranguá, Criciúma, Meleiro, Meleiro/Sapiranga and Turvo. The main goal of this study is to use these data to compare and to verify the behavior of each of these systems installed in the South of Brazil, Slovakia and Netherlands, through the analysis of the performance index. The result of the analysis for each system is presented in the form of bar and line graphs. At the end of this study it is clear to see the oscillation of the capacity factor, productivity index and performance ratio, according to the solar incidence over the solar system and the temperature variation during the year.*

Key words: Solar Energy, Photovoltaic Systems, Performance Index