

ANÁLISE DE DESEMPENHO E COMPARATIVA DE DOIS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS: UM COM INVERSOR STRING EM SOB E SOBREDIMENSIONAMENTO, E COM INVERSOR MLPE

Kleber Carneiro de Oliveira – kleber.oliveira@cear.ufpb.br

Vitória Alves Marques

Flavio da Silva Vitorino Gomes

Julia Alves Santos

Universidade Federal da Paraíba, Centro de Energias Alternativas e Renováveis (CEAR-UFPB)

Resumo. O estudo analisa o desempenho de dois sistemas fotovoltaicos conectados à rede (SFCR) localizados na cidade Garanhuns, Pernambuco. O SFCR 1, instalado no ano 2022 e composto por inversor Growatt e módulos Longi Solar, passou por uma expansão após 1 (um) ano, enquanto o SFCR 2, instalado no ano 2023 e potência CC equivalente a da expansão citada anteriormente, utilizou 2 (dois) micro inversores Deye conectados a 11 (onze) módulos FV individualmente. O artigo busca verificar a viabilidade técnica da expansão do SFCR 1 em comparação ao desempenho do SFCR 2 com base no histórico mensal de geração de energia elétrica, Fator de Dimensionamento do Inversor (FDI) e índices de mérito: Fator de Capacidade (FC), Taxa de Desempenho (PR) e Índice de Produtividade (Y_F). De acordo com o sistema de monitoramento de cada inversor do SFCR, o sistema referente à expansão do SFCR 1 (EXP SFCR 1) foi responsável por provocar um aumento de geração de energia elétrica de cerca de 578,6 kWh médio mensal. Já o SFCR 2 obteve uma média de geração elétrica no valor de 707,5 kWh/mês. O Fator de Dimensionamento de Inversor apresentou uma mudança considerável com a EXP SFCR 1, partindo de 0,94 para 0,69 e a Taxa de Produtividade no valor de 127,3 h/mês para 111,2 h/mês, já o SFCR 2 obteve 121,3 h/mês. Os resultados indicam que, após a expansão, o SFCR 1 apresentou modificações nos índices de mérito, com redução do FDI e da taxa de desempenho e produtividade de geração. Por outro lado, o SFCR 2, com micro inversores, demonstrou resultados satisfatórios, superando a média de geração do SFCR 1.1. A análise destaca a influência da irradiação solar na variação mensal da energia gerada nos dois sistemas.

Palavras-chave: Energia Solar Fotovoltaica, Índices de Mérito, Fator de Dimensionamento.

1. INTRODUÇÃO

A temática da sustentabilidade e a crescente preocupação com a redução de poluentes e impactos ambientais têm se tornado pertinentes a todos. Atualmente, a humanidade extrai suas fontes energéticas da natureza de maneira voraz, o que, se persistir, pode levar ao esgotamento dos recursos naturais. Embora novas fontes de energia não renovável, como os campos de petróleo em águas profundas, ainda sejam exploradas, sua viabilidade é questionável diante do crescimento populacional e econômico. Diante desse cenário, a energia solar emerge como uma alternativa promissora, sendo apontada por pesquisas e pelo mercado como a principal substituta dos combustíveis fósseis, devido à sua natureza não poluente, compactidade e baixo custo de manutenção (REASE, 2022).

No contexto do sistema energético brasileiro, o primeiro trimestre de 2023 testemunhou a maior produção de energia limpa dos últimos 12 anos. De acordo com dados do Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), mais de 90% da energia elétrica consumida pela sociedade nesse período derivou de fontes renováveis, incluindo hidrelétrica, eólica, biomassa e solar, revertendo uma tendência que perdurava desde 2011 (MME, 2023). Essa transformação é corroborada pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), que aponta para um horizonte de crescimento significativo da energia solar no Brasil, evidenciado pelo impulsionamento da fonte solar fotovoltaica como a segunda maior em potência instalada, atrás apenas da geração hidrelétrica. Embora a energia eólica ainda supere a fotovoltaica em termos de geração elétrica, juntas, representam aproximadamente 25% da capacidade instalada total no país, superando 205 GW ao final de 2022 (MME, 2023).

Nesse contexto, o Brasil ascende como o oitavo maior país em capacidade instalada para geração de energia solar, marcando sua estreia no ranking dos dez maiores geradores de energia solar do mundo, segundo dados da Agência Internacional de Energia Renovável (Irena). A capacidade instalada no país ultrapassa os 35 GW em 2023, conforme ABSOLAR (ABSOLAR, 2023).

A rápida integração da energia solar na matriz energética brasileira nos últimos anos impulsionou as concessionárias e todo o setor elétrico a buscar a regularização e o monitoramento eficaz das usinas, especialmente dos sistemas fotovoltaicos on-grid e híbridos. Tais ações demonstram impactos significativos no âmbito técnico do setor.

Diante desse cenário dinâmico, destaca-se a importância da análise da legislação que envolve a energia solar no setor elétrico e suas adaptações ao longo do tempo. A regulamentação do setor de geração distribuída é pautada pela Lei 14.300/2022, também conhecida como marco legal da Micro e Minigeração, e pelas Resoluções Normativas (REN) de nº 482/2012 e 687/2015. Além disso, as concessionárias, de acordo com suas regiões de atuação, fornecem documentos denominados Normativos de Distribuição, que orientam projetistas e clientes sobre limites e diretrizes técnicas específicas para cada região de concessão.

Portanto, o presente artigo aborda o desempenho técnico de 2 (dois) sistemas fotovoltaicos conectados a rede, localizados em uma mesma região de concessão e de índices de radiação solar, compostos por um inversor e outro com um micro inversor na tecnologia MLPE, fazendo uma análise no histórico de geração, fator de dimensionamento do inversor e os índices de mérito.

2. OBJETIVO E CARACTERÍSTICAS DOS SFCR

Esse estudo tem o objetivo de analisar o desempenho de geração e os índices de mérito de 2 (dois) sistemas fotovoltaicos conectados a rede (SFCR), os objetos de estudo. O primeiro sistema (SFCR 1) é composto por 1 (um) inversor e 16 (dezesesseis) módulos fotovoltaicos (FV), o qual, após 1 (um) ano de operação, teve sua potência total dos módulos FV, em kW_p, aumentada devido a um aumento da potência fotovoltaica instalada, passando então a ser nomeada por SFCR 1.1; e o segundo sistema (SFCR 2) em estudo contém 3 (três) micro inversores conectados a 11 (onze) módulos FV, a qual a quantidade de módulos foi definida por um dimensionamento com base apenas no valor de geração que atendessem o desejado pelo consumidor. E, por fim, verificar a viabilidade técnica da expansão na potência de pico no SFCR 1, em comparação ao desempenho apresentado no SFCR 2.

Os SFCR estão localizados na cidade Garanhuns do estado de Pernambuco, com as seguintes coordenadas geográficas: Latitude 08° 53' 25" Sul e Longitude 36° 29' 34" Oeste. Os módulos FV dos SFCR foram instalados na água Norte das edificações, com inclinação de 10° e azimute 0°, sem obstáculo que gere sombra para os sistemas.

O SFCR 1 é composto por módulos da marca *Longi Solar* e modelo LR4-72HPH 450M, os quais apresentam individualmente uma potência de pico, em condições de operação padrão STC, de 450 W_p e uma área de 2,17 m² cada módulo, totalizando uma área de 39,1 m². Os módulos geram energia por meio da corrente contínua (CC), havendo a necessidade da presença de um inversor para converter a CC em corrente alternada (CA), atendendo aos limites técnicos da unidade consumidora de geração e a rede de concessão da região, chamada Neoenergia Pernambuco. Portanto, nesse SFCR 1 foi utilizado um inversor *string* com potência nominal de saída (P_{CA}) de 10 kW da marca *Growatt* e modelo MIN 10000TL-X, para o sistema com a potência de entrada (P_{CC}) de 8,1 kW_p, como mostrado na Tab. 1.

Tabela 1 - Especificações de dimensionamento do SFCR 1 com inversor string.

	SFCR 1	SFCR 1.1
Início da Operação:	Janeiro do ano 2022	Dezembro do ano 2022
MÓDULO FV		
Quantidade:	18	32
Potência Nominal:	450 W _p	Expansão: 455 W _p
Modelo e Fabricante:	LR4-72HPH 450M da <i>Longi Solar</i>	Expansão: MFREN-MO- 144-455W da BelEnergy
INVERSOR STRING		
Quantidade:	1 (um) único	
Potência Nominal:	10 kW	
Modelo e Fabricante:	MIN 10000TL-X da <i>Growatt</i>	
POTÊNCIA TOTAL DOS MÓDULOS (P_{CC})	8,1 kW_p	14,5 kW_p

Além disso, o inversor do SFCR 1 foi inicialmente instalado com a P_{CC} mais baixa que a P_{CA} , por motivos de após 1 (um) ano em operação ocorrer a instalação de mais 14 (quatorze) módulos FV. A quantidade de módulos FV na expansão foi dimensionada considerando até o limite de potência máxima de entrada do inversor, $P_{CC,entrada}$ no valor de 15 kW_p. Assim, o SFCR 1 com a expansão dos módulos, ou seja, aumento da P_{CC} , foi nomeado de SFCR 1.1, apresentado na Tab. 1. E, para citar apenas a potência de pico (P_{CC}) da expansão do SFCR 1 de 6,4 kW_p referente à expansão dos módulos, foi chamado de EXP SFCR 1.

O inversor do SFCR 1 apresenta 3 (três) MPPTs, como mostrado na Tab. 2. Dessa forma, a configuração dos módulos solares do SFCR 1 foi conectada aos 2 (dois) MPPTs com apenas 1 (uma) *string* de 9 (nove) módulos em série cada. Já a EXP SFCR 1 utilizou o terceiro MPPT com 2 (duas) entradas, ou seja, conexão para 2 (duas) *strings* em paralelo com 8 (oito) módulos cada.

O SFCR 2 está localizado em outra edificação da mesma cidade, com um inversor de tecnologia MLPE (eletrônica de potência no nível do módulo) chamada micro inversor. Cada equipamento tem uma potência nominal de 2 kW da marca *Deye* e modelo SUN2000G3-US-220. Ele possui uma estrutura de conexão individual para 4 (quatro) módulos

FV, enquadrados dentro dos dados técnicos de entrada determinados pelo fabricante, como mostrado na Tab. 2. Essa tecnologia apresenta vários pontos positivos, por exemplo, a sua capacidade de extrair o ponto de máxima potência atuando em cada módulo, de forma individual, sendo possível trabalhar com o melhor desempenho de cada módulo FV. Nesse sistema, os módulos instalados têm potência de pico em STC de 530 Wp da marca *Jinko Solar* e modelo JKM530M-72HL4-TV, visto na Tab. 3, totalizando um P_{CC} no valor de 5,8 kWp referente aos 11 (onze) módulos em operação apresentado na Tab. 4.

Tabela 2 – Dados técnicos do *datasheet* do inversor de cada SFCR.

	STRING	MLPE
DADOS DE ENTRADA (CC)		
Potência Máxima Recomendada em STC (P_{CC})	15.000 W	210-600W
Tensão Máxima CC	600 V	60 V
Tensão de Start	100 V	20-60 V
Tensão Nominal	360 V	-
Faixa de Tensão MPP Trackers (MPPT)	60-550 V	25-55 V
Número de MPPT	3	4
Número de Strings por MPPT	1 / 1 / 2	1
Corrente Máxima de Entrada por MPPT	13,5 / 13,5 / 27 A	13 A
Corrente Máxima de Curto Circuito por MPPT	16,9 / 16,9 / 33,8 A	16 A
DADOS DE SAÍDA (CA)		
Máxima Potência nominal (P_{CA})	10.000 W	2.000 W
Potência máxima aparente CA	10.000 VA	-
Tensão nominal CA	220 V	220 V
Corrente de Saída Máxima	45,5 A	9,1 / 8,7 A
Tipo de Conexão	Monofásica	Monofásica
Eficiência Máxima	98,1 %	96,5 %

Tabela 3 – Dados técnicos do *datasheet* do módulo FV de cada SFCR.

	SFCR 1.1				SFCR 2	
	SFCR 1		Expansão do SFCR 1			
	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOTC
Potência Nominal (P_{max})	450 Wp	336,1 Wp	455 Wp	341,7 Wp	530 Wp	394 Wp
Tensão de Operação (V_{mp})	41,5 V	38,6 V	41,7 V	38,8 V	40,7 V	37,9 V
Corrente de Operação (I_{mp})	10,8 A	8,7 A	10,9 A	8,8 A	13,0 A	10,4 A
Tensão de Circuito Aberto (V_{oc})	49,3 V	46,2 V	49,5 V	46,5 V	49,3 V	46,6 V
Corrente de Curto Circuito (I_{sc})	11,6 A	9,4 A	11,6 A	9,4 A	13,7 A	11,1 A
Eficiência do Módulo	20,7 %		20,9 %		20,5 %	

Tabela 4- Especificações de dimensionamento do SFCR 2 com inversor de tecnologia MLPE.

SFCR 2	
Início da Operação:	Dezembro do ano 2022
MÓDULO FV	
Quantidade:	11
Potência Nominal:	530 Wp
Modelo e Fabricante:	JKM530M-72HL4-TV da <i>Jinko Solar</i>
INVERSOR MLPE	
Quantidade:	3
Potência Nominal:	2 kW
Modelo e Fabricante:	SUN2000G3-US-220 da <i>Deye</i>
POTÊNCIA TOTAL DOS MÓDULOS (P_{CC})	5,8 kWp

3. DESEMPENHO E LEVANTAMENTO TÉCNICO DOS SFCRs EM ESTUDO

O estudo de desempenho foi obtido a partir de uma base de dados exportadas da plataforma de monitoramento de cada SFCR, sendo respectivamente, a *OSS Growatt* e a *Solarman*. Foram extraídas informações como a quantidade de energia gerada em um período mensal e anual ao longo do período de funcionamento, a visualização da variação de P_{CA} .

A análise é realizada inicialmente por meio da comparação da energia gerada em um mesmo período de tempo entre os SFCR. Posteriormente, realiza-se os cálculos de Fator de Dimensionamento de Inversor (FDI) e Índices de Mérito. Este último aborda o Índice de Produtividade (Y_F), Taxa de Desempenho (em inglês, *performance ratio - PR*) e o Fator de Capacidade (FC).

3.1 Dados de Geração de Energia

Os dados de geração de energia elétrica dos 2 (dois) SFCR foram extraídos da plataforma de monitoramento integrado ao inversor string ou MLPE. O sistema contendo o inversor string, o SFCR 1 (sem a expansão dos módulos), iniciou a sua operação de funcionamento em Janeiro de 2022 e finalizou em Dezembro de 2022, como mostra na Fig. (1). Isso ocorreu devido ao aumento na P_{CC} , realizado no final de Dezembro, passando a operar com 14,5 kWp. Assim, o SFCR 1.1 (sistema com expansão) entra em operação no mês de Janeiro de 2023 até os dias atuais, contabilizando um total de 9 (nove) meses de geração, como apresentado na Fig. 1. Portanto, o mesmo inversor está instalado há 1 (um) ano e 9 (nove) meses na Unidade Geradora. Na Fig. 2 mostra o quanto de energia mensal gerada aumentou com a expansão de módulos no SFCR 1.

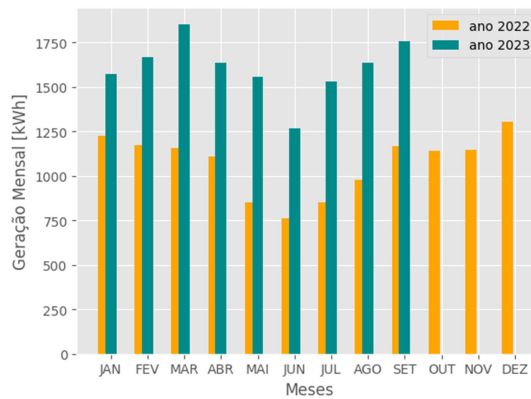


Figura 1 – Desempenho da energia mensal gerada do SFCR 1 e SFCR 1.1, respectivamente, no ano 2022 e 2023.

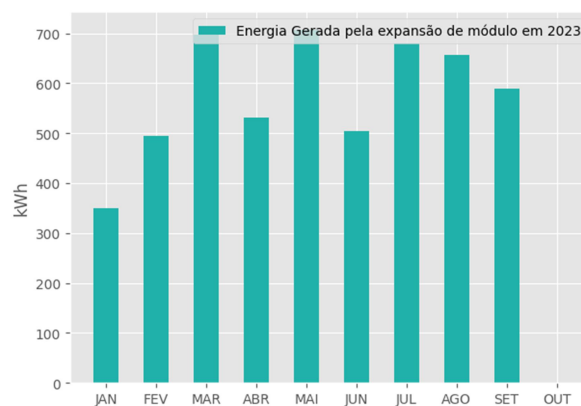


Figura 2 – Energia gerada na EXP SFCR 1 no ano 2023.

Como pode ser visualizado na Fig. 1, a geração mensal após a expansão teve um aumento considerável. A média mensal de geração de energia do SFCR 1 é no valor de 1.072,4 kWh, já a do SFCR 1.1 é de 1.609,7 kWh. Nessa maneira, foi obtido um aumento na produção de energia na média de 578,6 kWh, como apresentado na Fig. (2), com as intermitências da irradiação local.

O sistema com inversor MPLE iniciou a sua geração de energia elétrica na rede da concessionária no mês de Janeiro de 2023, possuindo até o momento 9 (nove) meses de funcionamento, como apresentado na Fig. 3. Nessa perspectiva,

como a P_{CC} da EXP SFCR 1 possui a potência de pico equivalente a do SFCR 2 e atua em um mesmo período de tempo, pode-se analisar o quanto as duas SFCR geraram, na Fig. 4.

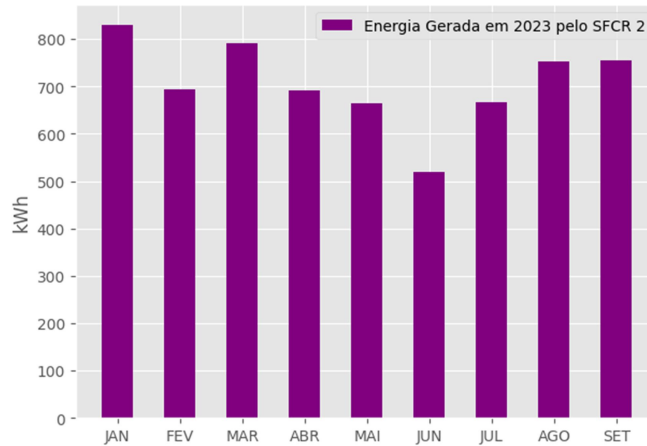


Figura 3 – Energia mensal gerada do SFCR 2 no ano 2023.

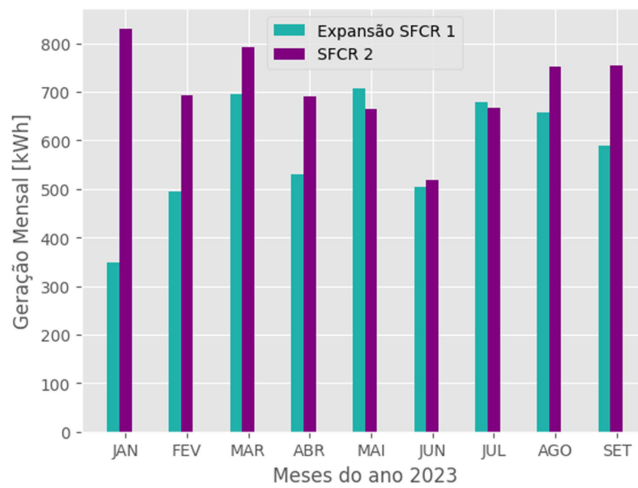


Figura 4 – Desempenho da energia mensal gerada no ano 2023 da EXP SFCR 1 e do SFCR 2.

Pode-se observar na Fig. 4 que ao longo dos meses a predominância é do SFCR 2 gerar mais energia que o equivalente à potência referente à EXP SFCR 1. Os dados quantitativos de geração de cada sistema é apresentado na Tabela 5. Ressalta-se que o SFCR 2 entrou em funcionamento durante o mês de Janeiro, o que gerou essa diferença de geração.

Tabela 5 – Energia mensal gerada pela expansão do SFCR 1 e o SFCR 2 no ano 2023.

EXP. SFCR 1	SFCR 2
349,3	830,7
494	693,3
696,7	791,9
530,5	691,9
707,9	665
503,7	519,7
679,7	666,1
656,8	753,2
589,2	755,7

3.2 Fator de Dimensionamento de Inversor

Fator de Dimensionamento do Inversor é calculado pela razão entre a potência de corrente alternada, ou seja, a potência nominal do inversor (P_{CA}) e a potência de pico dos módulos FV (P_{CC}), na unidade de potência apresentada na Eq. (1).

$$FDI = \frac{P_{CA} [kW]}{P_{CC} [kWp]} \quad (1)$$

Os valores de Fator de Dimensionamento de Inversor obtidos de cada SFCR podem ser analisados na Tab. 6. Diante disso, nota-se que o SFCR 1.1 apresenta uma queda no FDI ao se comparar com o SFCR 1, devido à expansão de módulo. Já o SFCR 2 apresenta dois fatores de dimensionamento devido ser formado por 3 (três) MLPE compostos por 2 (dois) conectados a 4 (quatro) módulos solares e 1 (um) micro inversor conectado a 3 (três) módulos dentro dos limites de conformidade.

Tabela 6 – Fator de dimensionamento de inversor dos sistemas fotovoltaicos em estudo.

FDI			
SFCR 1	SFCR 1.1	SFCR 2: 4 mód. conectados	SFCR 2: 3 mód. conectados
0,94	0,69	0,94	1,25

3.3 Índices de Mérito Geral

Fator de Capacidade

Fator de capacidade é determinado pela razão entre a energia gerada na unidade de energia em kWh e a multiplicação do período de tempo na mesma medida adotada na energia, em horas, e a P_{CA} instalada. Como nesse estudo foi utilizado o valor total de energia gerada, então, usou-se a quantidade de 365 dias para o SFCR 1 e 273 dias para os SFCR 1.1 e SFCR 2, por motivo do seu período de funcionamento de 9 (nove) primeiros meses do ano.

$$FC = \frac{E_{gerada} [kWh]}{P_{CC} [kWp] \times 24 \times dias} \quad (2)$$

Diante disso, a partir do monitoramento dos sistemas, foi possível extrair que a energia total gerada em kWh pelo SFCR 1 foi no valor de 12.869,4 kWh, o SFCR 1.1 dentro do seu período de funcionamento foi de 14.487,2 kWh e do SFCR 2 foi cerca de 6.367,5 kWh. Assim, utilizando a P_{CC} de cada sistema apresentado nas Tab. 1 e 4, obteve os resultados apresentados na Tab. 7.

Tabela 7 – Fator de Capacidade de cada SFCR.

Fator de Capacidade (FC)		
SFCR 1	SFCR 1.1	SFCR 2
0,18	0,15	0,17

Taxa de Desempenho (Performance Ratio) (%)

A Taxa de Desempenho é a relação entre a energia gerada em um período de um ano e a energia incidida sobre o módulo FV, considerando a eficiência energética do mesmo. Para a incidência solar (H) no módulo, foi adotado o valor de irradiação solar diária média mensal, por meio da consulta no site Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sergio de S. Brito (CRESESB) na categoria de Plano Inclinado.

$$PR = \frac{E_{gerada} [kWh]}{H [kWh/m^2.dia] \times dias \times A_{módulos} [m^2] \times \eta_{módulo}} \quad (3)$$

Para a obtenção dos resultados, foram utilizados os mesmos valores de energia total gerada do cálculo de Fator de Capacidade. Portanto, a Tab. 8 apresenta o desempenho dos 3 (três) sistemas, sendo possível visualizar a variação da taxa ao expandir a quantidade de módulos fotovoltaicos, pelo fato do P_{CC} ficar maior que o P_{CA} apresentado na Tab. 4.

Tabela 8 – Taxa de Desempenho dos sistemas fotovoltaicos.

Perform. Ratio (PR)		
SFCR 1	SFCR 1.1	SFCR 2
0,83	0,74	0,80

Índice de Produtividade (h/mês)

Índice de produtividade é obtido pela razão entre a energia gerada, em kWh, e a P_{CC} instalada no SFCR. O quantitativo da energia gerada foi extraído das Fig. 1 e 3, sendo então nomeado por *Yield* mensal, pelo resultado com os devidos dados utilizados nos gráficos.

$$Y_F = \frac{E_{gerada} [kWh]}{P_{CC} [kWp]} \quad (4)$$

Com a energia gerada mensalmente e a potência total dos módulos conectados ao inversor, foi possível calcular o índice de produtividade, o qual está apresentado na Tab. 9. Analisando os resultados, pode-se verificar que o SFCR 1 apresenta produtividade maior sobre a potência total dos módulos quando a instalação da expansão dos módulos não foi realizada. Já o sistema com o inversor MLPE apresentou resultados consideravelmente próximos ao do SFCR 1, e em alguns meses com até valor maior de produtividade de geração.

Tabela 9 – Índice de Produtividade dos SFCR com dados de geração mensal real.

Meses	Produtividade (Y_F)		
	SFCR 1	SFCR 1.1	SFCR 2
JAN	151,4	108,9	142,5
FEV	145,1	115,4	118,9
MAR	142,9	128,1	135,8
ABR	136,8	113,2	118,7
MAI	104,9	107,6	114,0
JUN	94,3	87,6	89,1
JUL	105,2	105,9	114,2
AGO	120,8	113,0	129,2
SET	144,1	121,4	129,6
OUT	140,7		
NOV	141,6		
DEZ	160,9		

Como todos os sistemas estão instalados na mesma região, eles estão sob as mesmas condições ambientais, ou seja, irradiância e temperatura. E desta forma, a energia gerada para todos os casos pode ser comparada.

Uma explicação para o sistema com microinversor ser significativamente menor em alguns meses, pode-se destacar que o microinversor tem uma curva de eficiência específica, e ela pode variar com base nas condições operacionais. Em alguns meses, as características de temperatura e radiação solar podem não ser ideais para a faixa de operação eficiente dos microinversores, resultando em uma eficiência global menor.

4. CONCLUSÃO

Este artigo abordou um estudo de desempenho técnico de 2 (dois) sistemas fotovoltaicos conectados à rede (SFCR). O SFCR com inversor *string* operou durante 1 (um) ano e 9 (nove) meses, sendo o primeiro ano com 18 (dezoito) módulos FV e nos meses seguintes com 32 (trinta e dois) módulos. O aumento na P_{CC} provocou algumas modificações nas taxas de desempenho. O FDI apresentava um valor de 0,94, e após a expansão passou para 0,69. Esse fator determina um sobrecarregamento no inversor, fazendo com que o equipamento de conversão trabalhe recebendo sua máxima potência de entrada. No FC foi obtido no SFCR 1 o valor de 0,18, já depois a expansão resultou em 0,15. Entende-se que utilizando o mesmo inversor *string* a capacidade de geração dele diminuiu ao expor à sobrecarga dos módulos FV. Assim como a taxa de desempenho (PR) decaiu também, pois o inversor não extrai a máxima potência na medida em que ocorre a sobrepotência, ou seja, o empenho energético do inversor diminuiu. Nessa perspectiva, o índice

de produtividade houve um decaimento assim como os demais índices de mérito, podendo ser visto na Tab. 12 a produtividade em horas mensais de cada SFCR.

Contudo, o sistema fotovoltaico com inversor MLPE (SFCR 2) apresentou resultados consideravelmente satisfatórios ao obter uma geração média de energia elétrica de 707,5 kWh, e ao longo dos meses ter uma média de geração maior que a EXP SFCR 1, apresentado na Fig. 4. Os FDI's obtidos foram de 0,94 para o microinversor conectado a 4 (quatro) módulos solares e 1,25 para o MLPE conectado a 3 (três) módulos, estando relativamente dentro da faixa nominal de operação um pouco de sob carregamento. Porém, o índice de produtividade do SFCR 2 foi indubitavelmente maior do que o apresentado pela expansão empregado no SFCR 1.1. Podendo concluir que o micro inversor trabalha com os módulos individualmente na sua máxima potência, na medida em que é incidido radiação solar sobre o módulo. A partir disso, a taxa de desempenho e fator de capacidade apresentaram valores maiores que o SFCR 1.1.

Ao longo dos meses, a energia mensal gerada e o índice de produtividade têm uma redução entre o período dos meses de abril e junho, devido à variação da irradiação incidente solar no local em estudo.

REFERÊNCIAS

- ABSOLAR, Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica, 2023. Energia solar supera 35 GW de capacidade instalada no Brasil. Disponível em: <<https://www.absolar.org.br/noticia/energia-solar-supera-35-gw-de-capacidade-instalada-no-brasil/>>
- MME, Ministério de Minas e Energia, 2023. Brasil registra maior produção de energia limpa dos últimos 12 anos. Disponível em: <<https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/brasil-registra-maior-producao-de-energia-limpa-dos-ultimos-12-anos>>.
- MME, Ministério de Minas e Energia, 2023. Brasil se torna o oitavo maior país do mundo em capacidade instalada para geração de energia solar. Disponível em: <www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias>.
- MME, Ministério de Minas e Energia, 2023. Capacidade instalada de geração distribuída solar cresce e atinge 18 GW. Disponível em: <<https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/capacidade-instalada-de-geracao-solar-cresce-e-atinge-18-gw>>.
- SILVA, F. A. H., 2022. Energia solar fotovoltaica no brasil: uma revisão bibliográfica. Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação (REASE), Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação-REASE, v. 8, n. 3, p. 860. Citado 2 vezes nas páginas 7 e 8.

THE PERFORMANCE AND COMPARATIVE ANALYSIS OF TWO PHOTOVOLTAIC SYSTEMS: ONE WITH A STRING INVERTER IN UNDER- AND OVER-DIMENSIONING, AND ONE WITH AN MLPE INVERTER.

Abstract. *The study analyzes the performance of two grid-connected photovoltaic systems (SFCR) located in the city of Garanhuns, Pernambuco. The SFCR 1, installed in 2022 and composed of a Growatt inverter and Longi Solar modules, underwent an expansion after 1 (one) year, while the SFCR 2, installed in 2023 and with DC power equivalent to that of the aforementioned expansion, used 2 (two) Deye micro inverters connected to 11 (eleven) PV modules individually. The article seeks to verify the technical feasibility of expanding SFCR 1 compared to the performance of SFCR 2 based on the monthly history of electricity generation, the Inverter Dimensioning Factor (IDF) and the merit indices: Capacity Factor (CF), Performance Rate (PR) and Productivity Index (Yf). According to the monitoring system for each SFCR inverter, the system for the expansion of SFCR 1 (EXP SFCR 1) was responsible for an increase in electricity generation of around 578.6 kWh per month on average. The SFCR 2, on the other hand, generated an average of 707.5 kWh/month. The Inverter Sizing Factor showed a considerable change with EXP SFCR 1, going from 0.94 to 0.69 and the Productivity Rate went from 127.3 h/month to 111.2 h/month, while the SFCR 2 obtained 121.3 h/month. The results indicate that, after the expansion, SFCR 1 showed changes in the merit indexes, with a reduction in the FDI and the generation performance and productivity rate. On the other hand, the SFCR 2, with micro-inverters, showed satisfactory results, surpassing the average generation of the SFCR 1.1. The analysis highlights the influence of solar irradiation on the monthly variation in energy generated by the two systems.*

Keywords: Photovoltaic Solar Energy, Merit Indices, Scaling Factor.