

ANÁLISE DE DESEMPENHO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE ELÉTRICA, INSTALADO EM UM ESCRITÓRIO COMERCIAL

Igor C. Torres¹, Chigueru Tiba² e Elielza Moura S. Barbosa²

¹Universidade Federal de Alagoas, Centro de Ciências Agrárias, Maceió, Alagoas, Brasil,
igorcavalcantetorres@hotmail.com.

²Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Energias Renováveis, Grupo de Pesquisas em Fontes Alternativas de Energia, Recife, PE, Brasil. Tel. +55 81 2126 7976 - Fax. +5581 2126 8250, e-mail: tiba@ufpe.br

Recibido 11/09/15, aceptado 14/10/15

RESUMO: Este artigo descreve a operação e desempenho de um sistema fotovoltaico ligado à rede alocado em um escritório comercial na cidade de Maceió, Alagoas. O gerador é composto por três subsistemas independentes, totalizando potência total de 1,6kWp instalada e conectada à rede elétrica local. Os subsistemas são compostos por tecnologias comerciais: p-Si e Si-m, permitindo a avaliação do desempenho operacional dessas tecnologias na condição de clima tropical marítimo. O projeto inicialmente encontrou adversidades operacionais, causando ineficiência de todo o sistema, afetando diretamente PR, em torno de 60%. Com as devidas melhorias, os subsistemas operam atualmente com um PR de 75%. Vários fatores inerentes ao inversor, como a eficiência de SPMP e o aquecimento continuam a afetar o desempenho operacional.

Palavras Chaves: Fotovoltaica, SFCR, Energia, Geração Distribuída, Índices de mérito.

INTRODUÇÃO

A quantidade de instalação de sistemas de geração fotovoltaicos conectados à rede no Brasil têm vindo a crescer nos últimos dois anos após a publicação da Resolução ANEEL 482/2012 (Agência Nacional de Energia Elétrica-ANEEL), que padronizou inclusão da energia FV na matriz energética brasileira, através de micro e minigeração [2]. Entre 2011 e 2012 eles foram instalados mais de 2 sistemas MWp até 10 kWp.

Atualmente, diversos trabalhos sobre comparação e monitoramento de sistemas fotovoltaicos estão sendo realizados principalmente no hemisfério norte, trabalhando com informações para que os procedimentos possam ser analisados em condições climáticas em várias outras regiões. Neste sentido, este estudo teve como objetivo avaliar o comportamento de sistemas fotovoltaicos comerciais em condições tropicais do clima marítimo e conectado à rede de energia elétrica. O presente estudo envolveu a necessidade de um sistema de monitoramento sistemático no lado de corrente contínua (CC), e também na lado de corrente alternada (AC) e a troca de energia com a rede elétrica da concessionária. Para analisar o sistema de maneira mais realista possível (também visto do ponto de vista do usuário), foi instalado no telhado de um escritório comercial na cidade de Maceió (9 ° S), no estado de Alagoas. O sistema tem uma potência total de 1,6kWp instalado e pode ser visto na Fig. 1.



Fig. 1 - SFCR instalado no telhado de um escritório comercial com 1,6kWp potência total.

DESCRIÇÃO DO SISTEMA FV

Um sistema fotovoltaico é fisicamente composto por um conjunto de equipamentos que geram eletricidade, transforma a corrente contínua (CC) em corrente alternada (CA) e fazendo a interface entre a energia gerada e um sistema de distribuição ou rede de eletricidade[4]. Sistemas fotovoltaicos conectados à rede é também uma forma de geração distribuída, fazendo a entrega da energia gerada no ponto de consumo de uma edificação. Esse artifício beneficia o sistema para aliviar o fluxo de energia disponível nas linhas de transmissão e distribuição, bem como a redução das perdas de transmissão.

O diagrama de circuito simplificado da Fig. 2 mostra a composição do sistema fotovoltaico estudados: o primeiro subsistema é composto por silício policristalino com um 560Wp potência, o segundo subsistema composto por silício monocristalino com potência de 560Wp e terceiro subsistema de silício policristalino com potência de 520Wp respectivamente, da esquerda para a direita. Cada um dos subsistemas 1 e 2 estão ligados a um micro inversor com uma potência nominal de 800W, diferentemente, o sistema 3 está ligado a um micro inversor com potência nominal de 500W, todos do mesmo fabricante e ligados ao mesmo barramento elétrico. Atualmente, estão sendo fornecidos todos os procedimentos para a regulação do sistema com a concessionária de energia local.

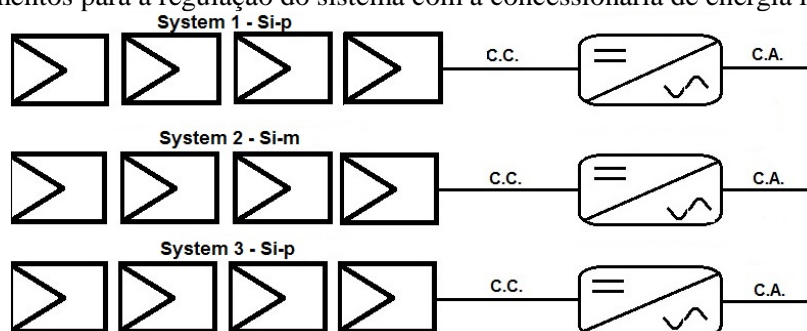


Fig. 2. Diagrama elétrico do SFCR.

DADOS OPERACIONAIS

A análise do desempenho do sistema PV, abrange o período de dezembro de 2014 a abril de 2015. Foi construído um sistema de supervisão, Fig. 3, permitindo ao usuário local verificar rapidamente o estado de funcionamento do sistema fotovoltaico visualizando os índices operacionais e assim identificar rapidamente alguma falha operacional no sistema.

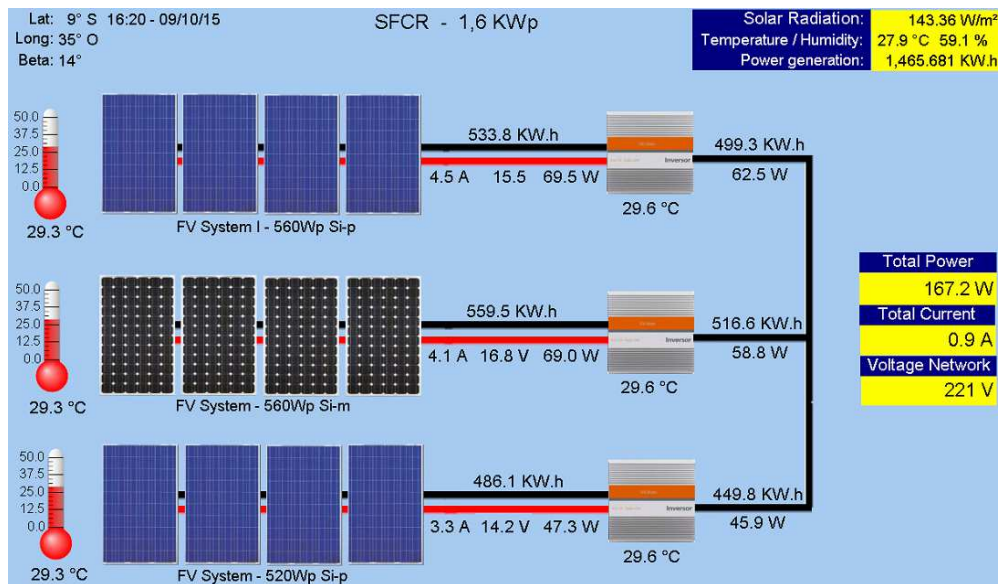


Fig. 3 Sistema Supervisório SFCR.

ÍNDICES DE MÉRITO SFCR

Para que seja feita a comparação e análise de desempenho de diferentes sistemas fotovoltaicos em diferentes localidades, utiliza-se como metodologia as figuras de méritos utilizando os resultados das medições a longo prazo [1]. As principais figuras de mérito são: índice de produtividade (Y_f) e a relação de desempenho (PR).

ÍNDICE DE PRODUTIVIDADE

A definição matemática do índice de produtividade de um sistema é dado pela relação entre a energia gerada (kWh) e potência de pico dos módulos fotovoltaicos instalados (kWp). Equação 1 define esta grandeza:

$$Y_f = \frac{\int_{t_1}^{t_2} p dt}{P_{fv}^0} = \frac{E_{ca}}{P_{fv}^0} \quad (1)$$

Aonde:

y_f – Índice de Produtividade do sistema (kWh/kWp)

p – Potência CA instantânea (kW)

P_{fv}^0 – Potência nominal do gerador FV (kW_p)

E_{ca} – Energia entregue a rede em corrente alternada (kWh)

A Tabela 2 mostra as taxas de produtividade obtidos experimentalmente por três subsistemas PV:

Systems	DEZ – (kWh/kWp)	JAN – (kWh/kWp)	FEV – (kWh/kWp)	MAR – (kWh/kWp)	ABR – (kWh/kWp)
Sistema 1	125,68	139,67	130,00	137,6	147,5
Sistema 2	134,57	153,37	134,30	142,5	152,6
Sistema 3	125,90	134,17	117,00	124,3	133,2

Table 2 – Índice de produtividade dos sistemas.

Valores baixos para o mês de dezembro foram aumentados em sucessivos meses de acordo com a correção de alguns problemas operacionais iniciais, tais como ineficiência das perdas de fiação e limitação de potência do inversor. Ainda assim, é claro que, em janeiro, o subsistema III não apresenta um PR satisfatório devido à baixa FDI (0,94). Define-se o inversor fator de dimensionamento (FDI) como o valor entre a potência nominal do inversor e a potência nominal do gerador fotovoltaico, como na equação 2 abaixo:

$$FDI = \frac{P_{inv}^0}{P_{fv}^0} \quad (2)$$

Com o FDI 0,94, carga máxima ocorre na entrada CC, em diferentes momentos do dia e Este efeito causa o aumento da temperatura de funcionamento do inversor também levando à redução da eficiência de conversão e, assim, a limitação de potência. O gráfico da fig. 4 mostra a eficiência do inversor devido à carga CC, referindo-se de um dia típico para o mês de Dezembro (2014) e de Fevereiro (2015), ambos com o mesmo nível de irradiância diária, temperatura e humidade do ambiente, que representa o antes e depois de se referir às alterações técnicas para e citado no início do parágrafo:

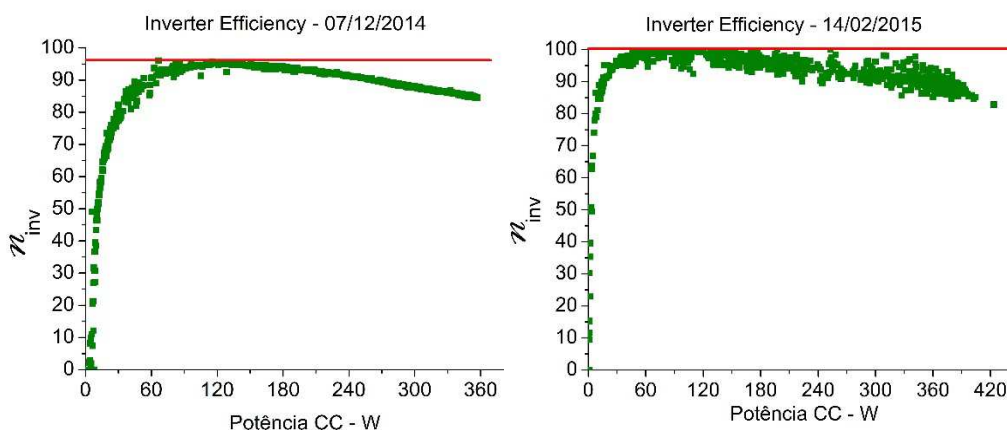


Fig. 4. Efficiency Inverter - System III.

Os sistemas I e II, são encontrados com um FDI 1,43.

PERFORMANCE RATIO (PR)

PR é expressa pela relação entre o índice de produtividade e o índice de referência, como mostrado na Equação 3.

$$PR = \frac{\int_{t_1}^{t_2} p dt}{\frac{P_{fv}}{H_{\beta}}} = \frac{Y_f}{Y_r} \quad (3)$$

Aonde:

Y_r – Índice de referência (kWh/m²/kW/m²).

H_{β} – Irradiância incidente sobre o plano de gerador (kW/m²).

H_{STC} – Irradiância de referência (1kW/m²).

O valor de referência (ano) é o horário cheio de sol para um determinado desvio azimute do sistema e inclinação em relação ao plano horizontal. Tabela 3 expressa os valores mensais PR para cada PV:

Systems	DEC – (%)	JAN – (%)	FEB – (%)	MAR – (%)	APR – (%)
System 1	63%	67%	72%	75%	73%
System 2	67%	72%	75%	78%	76%
System 3	63%	63%	65%	68%	66%

Table 3 - PR individual para cada sistema.

O baixo índice de produtividade em dezembro e janeiro, pelas razões já citadas acima, explica o PR inferior. Deve notar-se, no entanto, que o PR resultante a partir de um grande número de SFCR situa-se entre 0,6 a 0,8 [4]. Outro fator que contribui para a diminuição da PR é o aumento da temperatura de operação do módulo fotovoltaico aumenta a corrente de curto-circuito (I_{mp}) e reduz a tensão de circuito aberto (V_{oc}), caracterizando os painéis com um coeficiente negativo para o ponto de máxima potência γ_{mp} (% / ° C).

Os micro inversores tem um algoritmo interno responsável por seguir o ponto de máxima potência dos módulos fotovoltaicos, visando a maximização da geração de energia, com o aumento da temperatura de funcionamento dos módulos FV, juntamente com o aquecimento das unidades inversoras há um favorecimento uma interferência na eficiência desse algoritmo, causando a redução do fluxo de potência. Tendo as medições de temperatura de funcionamento de módulos fotovoltaicos, os respectivos coeficientes de variação e radiação incidente sobre o plano de gerador de energia, pode-se estimar a potência máxima ideal de um gerador fotovoltaico, visto pela equação 4:

$$P_{mp} = P_{fv}^0 \left(\frac{H_{\beta}}{H_{STC}} \right) [1 - \gamma_{mp}(T_{op} - T_{STC})] \quad (4)$$

O gráfico da fig. 5 abaixo demonstra a potência CC real (P_{FV}) efetivamente gerada pelas três sub-sistemas, para o dia 01 de fevereiro deste ano, é sobreposta a cada gráfico a potência máxima (P_{MP}) caso os geradores operassem constantemente no ponto de máxima potência, considera-se tal variável como a potência máxima produzida pelos módulos fotovoltaicos:

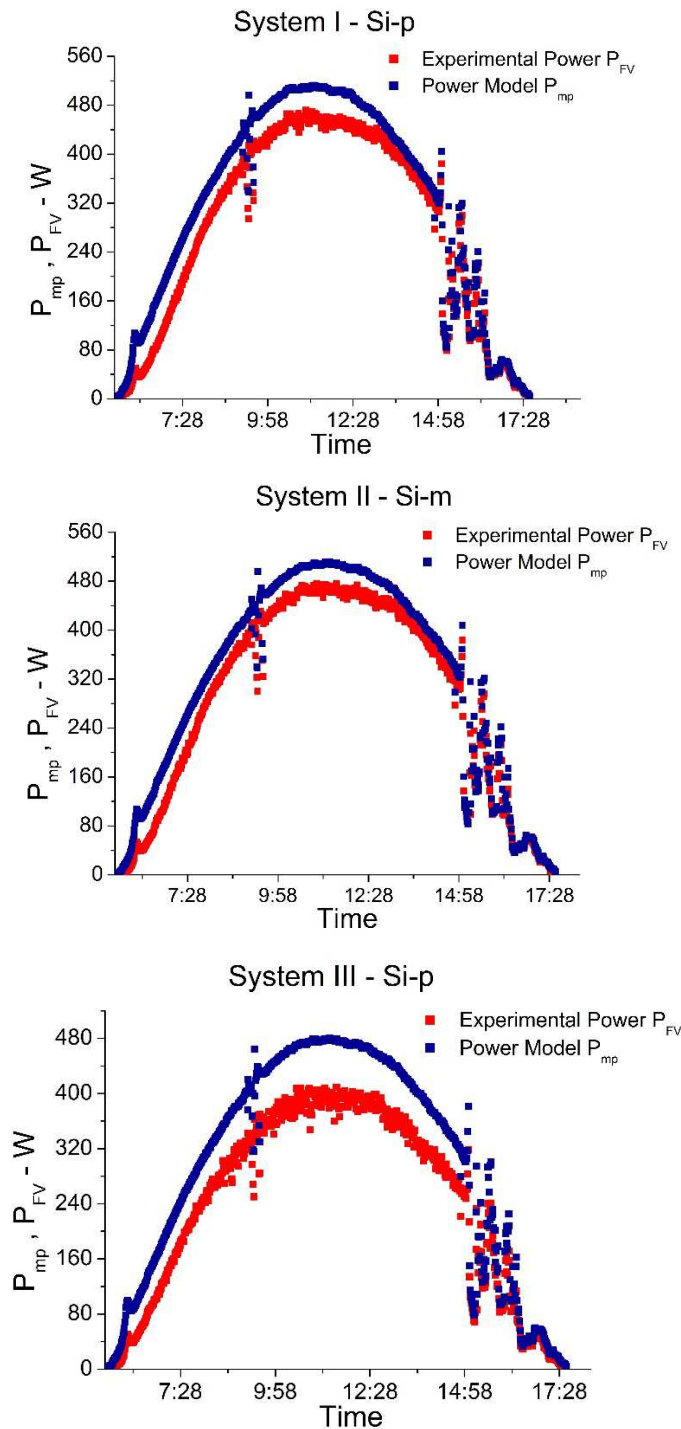


Fig. 5. Relação entre a máxima Potência e a Potência real dos geradores fotovoltaicos.

Inicialmente, foi visto que um inversor pode limitar a potência do gerador fotovoltaico devido ao efeito de corte, causando a redução da eficiência energética e reduzir a eficiência de energia seguidor máxima (η_{spmp}). Como pode ser visto nas tabelas acima, praticamente os inversores do sistema I e II estão a operar numa base regular, uma vez que o sistema de micro inversor III está a funcionar com uma eficiência indesejável, resultante de carga máxima à sua entrada CC diminuindo a eficiência de conversão e máximo seguidor poder.

CONCLUSÕES

De acordo com o perfil dos dados de produtividade e PR amostrados, fica claro que com as adaptações técnicas feitas no sistema durante o mês de dezembro-janeiro proporciona melhorias no desempenho,

aumenta e estabiliza a eficiência das três sistemas fotovoltaicos, estima-se um PR constante e até 70% a partir de fevereiro aos sistemas em estudo.

REFERÊNCIAS

- ALVES, J. E. F., BARBOSA, E.* Estudo do desempenho operacional do sistema fotovoltaico conectado à rede da UFPE (SFCR-CAMPUS). XIX CONIC. Recife – PE, Brasil, 2011.
- ANEEL.* Resolução Normativa N°. 482 de 2012: Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica e dá outras providências. Agência Nacional de Energia Elétrica, Brasília – DF, Brasil, 2012.
- MACÊDO, W. N.* Análise do Fator de Dimensionamento do Inversor aplicado à Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede. 2006. 148 folhas. Tese de Doutorado – Programa de pós graduação em energia da Universidade de São Paulo. São Paulo - SP, 2006.
- VERA L. H., KRENZIGER A.* Análise de Desempenho de Sistemas Fotovoltaicos Autônomos através de índices de méritos. Asades, vol.15, Avances en Energía Renovables Y Medio Ambiente. Argentina, 2011.

ABSTRACT

This article describes the operation and performance of a photovoltaic system connected to the grid allocated in a commercial office in the city of Maceió, Alagoas. The generator consists of three independent subsystems, totaling power 1,6kWp installed and is connected to the local power grid. Each subsystem consists of two separate subsystems commercial technologies: p-Si and Si-m, thus permitting evaluation of the operational performance of these technologies, marine tropical climate condition. The project initially encountered operating adversities, causing inefficiency of the whole system, directly affecting the PR around 63%. With the improvements due currently subsystems operate with a 75% PR. Several factors inherent in the inverters, as the efficiency of heating and SPMP continue affecting the performance of the subsystems.

Keywords: Photovoltaic, SFCR, Energy, Distributed Generation, figures of merit.