

AVALIAÇÃO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO INTERLIGADO À REDE ELÉTRICA INSTALADO NA FACHADA DO MUSEU DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA DA PUCRS

Sérgio Boscato Garcia – sergio.garcia@pucrs.br

Izete Zanesco – izete@pucrs.br

Adriano Moehlecke – moehleck@pucrs.br

Marcelo Picoli Lanfredi – marcelo.lanfredi@acad.pucrs.br

Leonardo Hafner Fernandes – leonardo.hafner@acad.pucrs.br

Leonardo Santos Kalikoski – leonardo.kalikoski@acad.pucrs.br

Cintia Maria Perotto Mesquita – cintiapm@gmail.com

Marcelo Mussi Delucis – marcelo.delucis@acad.pucrs.br

Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUCRS), Faculdade de Física,
Núcleo de Tecnologia em Energia Solar (NT-Solar)

Resumo. Investimentos em novas tecnologias para produção de energia elétrica são necessários para suprir a demanda. Neste contexto, tem-se destacado a produção de energia elétrica a partir da conversão direta da energia solar, denominada de energia solar fotovoltaica. O objetivo deste trabalho é avaliar a produção de energia elétrica e o sistema fotovoltaico instalado no Museu de Ciências e Tecnologia (MCT) da PUCRS durante o ano de 2014. Como estratégia para divulgação da energia solar fotovoltaica, o Ministério de Minas e Energia subvencionou o desenvolvimento de um processo industrial para fabricação de células solares de silício e de módulos fotovoltaicos bem como a instalação de um sistema fotovoltaico interligado à rede elétrica. O sistema fotovoltaico foi instalado na fachada do MCT com ângulo de inclinação (β) de 90° , visando a integração arquitetônica. Está constituído de dois painéis com 10 módulos fotovoltaicos em cada. A potência elétrica dos painéis é de 322 Wp e 338 Wp, totalizando 660 Wp. No ano de 2014, a irradiação solar média diária incidente no arranjo fotovoltaico foi de $2,1 \text{ kWh}/(\text{m}^2/\text{dia})$, resultando na produção média de energia elétrica AC de $33,2 \text{ kWh}/\text{mês}$. A eficiência do inversor foi de $83,2 \%$ e associada a eficiência do arranjo fotovoltaico de $9,0 \%$, resultou na eficiência global do sistema de $7,8 \%$. Neste período a temperatura média do módulo fotovoltaico e ambiente foi de $30,1 \text{ }^\circ\text{C}$ e $25,7 \text{ }^\circ\text{C}$, respectivamente. A temperatura média dos módulos foi relativamente baixa devido à característica de instalação do arranjo fotovoltaico. A produtividade anual foi de $572 \text{ kWh}/\text{kWp}$ e o desempenho global médio foi de $0,73$, devido à instalação na fachada com $\beta = 90^\circ$.

Palavras-chave: Energia Solar, Sistema Fotovoltaico Interligado à Rede Elétrica, Produtividade

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é um país mundialmente conhecido pela alta incidência de radiação solar e pelo clima com temperaturas predominantemente elevadas. Dada a grande extensão territorial do Brasil, ocorrem diferentes tipos de clima, tais como: equatorial, tropical e subtropical que, em comum, apresentam grande potencial para aproveitamento de energia solar durante o ano todo (Pereira *et al.*, 2006). Por outro lado, dados de 2014 mostram que no Brasil mais de 60% da oferta interna de energia está associada ao uso de fontes não renováveis e um dos fatores fundamentais para o aumento do consumo de gás natural e de carvão mineral foi a produção de energia elétrica (MME, 2015).

Em 2014, a principal fonte para produção de energia elétrica no Brasil foi a hídrica, correspondendo a $59,8 \%$. Neste mesmo ano, foi verificado um aumento de 86% na utilização da energia eólica, totalizando $12,2 \text{ TWh}$ (MME, 2015). Em contrapartida, a produção de energia elétrica a partir da energia solar representou $0,003 \%$ (16 GWh) do total da oferta interna de energia elétrica. Em relação à capacidade instalada, a participação da energia solar no final de 2014 estava representada por 311 sistemas, totalizando 15 MW ou $0,011 \%$ da produção nacional (MME, 2015) e a maioria são pequenas instalações. Este resultado deve-se a falta de uma estratégia nacional consolidada para o desenvolvimento da energia solar fotovoltaica.

Com o objetivo de promover o uso de fontes alternativas e renováveis de energia, o Ministério de Minas e Energia (MME) realizou ações em conjunto com centros de pesquisa nacionais. No campo da energia solar fotovoltaica, um processo de fabricação de células solares de silício monocristalino foi desenvolvido e módulos fotovoltaicos foram fabricados em escala piloto utilizando a infraestrutura do Núcleo de Tecnologia em Energia Solar (NT-Solar) da PUCRS. Os módulos fotovoltaicos fabricados foram instalados em um sistema conectado à rede elétrica, localizado na fachada do Museu de Ciências e Tecnologia da PUCRS em Porto Alegre (Zanesco *et al.*, 2012). O MCT tem como objetivo contribuir para o desenvolvimento da ciência, da educação e da cultura e é uma das principais atrações

turísticas da cidade de Porto Alegre, recebendo mais de 1000 visitantes por dia, em sua maioria estudantes dos níveis de ensino fundamental e médio.

Nos países europeus há preocupação com o consumo de energia nas edificações, pois, mesmo com os avanços tecnológicos e normas de construção mais rigorosas visando edifícios energeticamente mais eficientes, não há sinais de redução do consumo de energia, devido às exigências por conforto por parte das pessoas que tende a aumentar. Neste contexto, as edificações solares (*solar buildings*) têm por objetivo o máximo aproveitamento da energia solar para aquecimento, iluminação e produção de energia elétrica, a fim de reduzir o impacto da edificação como carga no sistema elétrico (Hestnes, 1999). Jelle¹ e Breivik (2012) afirmam que construções com sistemas fotovoltaicos integrados (*BIPV – building integrated photovoltaic*) podem ser uma alternativa versátil para atender a crescente demanda por edificações sustentáveis. Atualmente, já existe no mercado uma ampla gama de produtos para integração e instalação de sistemas fotovoltaicos em edificações. Contudo, soluções inovadoras podem reduzir custos e aumentar o mercado para estes produtos. No entanto, novos produtos devem ser submetidos à testes de acordo com as normas vigentes. Shen e Fan (2015) estudaram o desempenho anual de sistemas fotovoltaicos integrados em fachadas de edificações em Singapura, país de clima tropical localizado próximo à linha do Equador. Foram analisados quatro sistemas compostos por módulos fotovoltaicos de silício amorfo com tripla junção de 1.116 kWp, instalados verticalmente e orientados para o norte, leste, sul e oeste. Os resultados demonstraram que os sistemas fotovoltaicos instalados verticalmente produziram 560 kWh/ano, 458 kWh/ano, 451 kWh/ano e 406 kWh/ano para as orientações oeste, sul, leste e norte, respectivamente. Também constataram, que o sistema fotovoltaico instalado no telhado com ângulo de inclinação de 12° produziu 1090 kWh/ano, quase o dobro de energia em relação aos sistemas instalados verticalmente ($\beta = 90^\circ$). Neste caso, sistemas instalados em fachadas podem produzir entre 37 % e 51 % da energia de um sistema instalado no telhado (Shen e Fan, 2015).

Segundo Radhi (2010), o uso de sistemas fotovoltaicos nos Emirados Árabes representa um dos mais promissores meios para produção de energia limpa e sustentável. Em uma análise de sistemas fotovoltaicos integrados em edificações comerciais, foi estimado que o tempo de retorno do investimento é da ordem de 12-13 anos. Porém, se for considerado também o impacto da tecnologia fotovoltaica no desempenho térmico das edificações, este período pode ser reduzido para 3,0 – 3,2 anos. Diferentes estudos demonstraram que o desempenho de um sistema fotovoltaico depende da forma de integração na edificação, dos aspectos climáticos locais como temperatura e umidade, das perdas e da tecnologia dos dispositivos utilizados. Em geral, as conclusões apresentadas convergem em relação ao promissor papel dos sistemas fotovoltaicos integrados às edificações, tanto para a produção direta de energia elétrica, quanto para a redução de emissão de gases poluentes ou utilização de combustíveis fósseis (Ueda *et al.*, 2006), (Radhi, 2010), (Sacht *et al.*, 2013), (Borah *et al.*, 2014).

O objetivo deste trabalho é apresentar a avaliação da produção de energia elétrica e do sistema fotovoltaico instalado no Museu de Ciências e Tecnologia da PUCRS durante um ano de operação. Especificamente, avaliou-se a energia AC produzida pelo sistema em comparação com a irradiação solar média mensal, a eficiência do arranjo fotovoltaico, do inversor e global, a temperatura dos módulos fotovoltaicos e ambiente, a produtividade e o desempenho global do sistema fotovoltaico durante o ano de 2014.

2. PARÂMETROS DE DESEMPENHO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE

A comparação de sistemas fotovoltaicos é realizada por meio de parâmetros específicos, pois sistemas conectados à rede elétrica podem apresentar diferenças em relação à tecnologia dos dispositivos, projeto do arranjo e localização geográfica (Marion *et al.*, 2005). De acordo com a norma *IEC Standard 61724* (1998), um sistema fotovoltaico conectado à rede pode ser avaliado por meio dos seguintes parâmetros: produtividade do sistema (Y_F , *yield*), produtividade de referência (Y_R) e desempenho global do sistema (PR , *performance ratio*).

A produtividade do sistema é definida como a razão entre o valor médio da energia elétrica produzida em um período e entregue à carga e a potência nominal do arranjo fotovoltaico. Este parâmetro é expresso em kWh/kWp ou simplesmente em horas, e representa o número de horas que o sistema deveria operar em sua potência nominal para produzir a mesma quantidade de energia produzida no período. O cálculo da produtividade do sistema é realizado por meio da Eq. (1):

$$Y_F = \frac{1}{P_{Std}} \left[\frac{1}{T} \int_T P_F(t) dt \right] \quad (1)$$

onde $P_F(t)$ corresponde à potência entregue pelo sistema no instante t , P_{Std} corresponde à potência instalada, medida nas condições padrão, e T é o período de integração.

A produtividade de referência pode ser expressa pela Eq. (2):

$$Y_R = \frac{\frac{1}{T} \int_T G(t) dt}{1000W / m^2} \quad (2)$$

na qual $G(t)$ representa a irradiância no plano do arranjo fotovoltaico (em kW/m^2). Y_R representa o número equivalente de horas com a irradiância de referência (1000 W/m^2) e depende da energia solar incidente no arranjo fotovoltaico, sendo função da localização, orientação e variações climáticas.

A Eq. (3) expressa o desempenho global do sistema, o qual considera todas as perdas ocorridas ao longo do processo de produção de energia elétrica:

$$PR = \frac{Y_F}{Y_R} \quad (3)$$

Este parâmetro adimensional é definido como a razão entre a produtividade do sistema e a produtividade de referência, porém também pode ser representado pela Eq. (4), onde η_G e A_G correspondem respectivamente à eficiência do arranjo nas condições padrão e a área do arranjo fotovoltaico:

$$PR = \frac{\frac{1}{T} \int_T P_F(t) dt}{\frac{1}{T} \int_T G(t) dt} \cdot \frac{P_{Std}}{1000 \text{ W/m}^2} = \frac{\int_T P_F(t) dt}{\eta_G A_G \int_T G(t) dt} \quad (4)$$

A eficiência do arranjo nas condições padrão pode ser obtida por meio da Eq. (5):

$$\eta_G = \frac{P_{Std}}{A_G \cdot 1000 \text{ W/m}^2} \quad (5)$$

O parâmetro η_s é a eficiência global do sistema e representa a fração de energia solar que é convertida em energia elétrica e entregue à carga, como apresenta a Eq. (6):

$$\eta_s = \frac{\int_T P_F(t) dt}{A_G \int_T G(t) dt} \quad (6)$$

3. CÉLULAS SOLARES E MÓDULOS FOTOVOLTAICOS DESENVOLVIDOS

O desenvolvimento e a fabricação das células solares e módulos fotovoltaicos foram realizados pela equipe do NT-Solar/PUCRS. Mais de 800 células solares de silício monocristalino com estrutura n^+pp^+ com campo retrodifusor de Al foram fabricadas. Para reduzir o custo de produção, o processo de difusão dos dopantes (fósforo e alumínio) foi realizado na mesma etapa térmica. Todas as células solares foram caracterizadas eletricamente por meio da medição da curva da corrente elétrica em função da diferença de potencial aplicada (I-V), sob condições padrão (100 mW/cm^2 , AM1,5G e 25°C), em um simulador solar calibrado previamente com uma célula solar medida no *Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme*, na Alemanha. Após a caracterização, as células solares foram classificadas segundo a corrente elétrica para a fabricação dos módulos fotovoltaicos.

Os módulos fotovoltaicos fabricados, com área de $0,277 \text{ m}^2$, apresentaram uma potência média de $(33 \text{ W} \pm 1,4 \%)$ e são constituídos por quatro tiras formadas por nove células solares de área $61,58 \text{ cm}^2$. As tiras de células solares foram soldadas automaticamente com a utilização de um equipamento específico para esta finalidade e os módulos fotovoltaicos foram laminados com EVA (acetato de vinila) de cura rápida. No processo de encapsulamento, os seguintes materiais foram empregados: vidro temperado de alta transparência e baixo teor de ferro, EVA, células solares e proteção posterior de PVF/PET (polivinil fluorado - polietileno tereftalato).

A curva I-V de cada módulo foi medida sob condições padrão com a utilização de um simulador solar Berger lichttechnik PSS8, classe AAA. O simulador solar foi calibrado tendo como referência um módulo fotovoltaico previamente medido no *European Solar Test Installation (ESTI), Joint Research Center – European Community*, na Itália. Na Fig. 1 mostra-se a curva I-V do módulo fotovoltaico com maior potência, de $34,4 \text{ W}$. A potência foi limitada pela área do módulo fotovoltaico de apenas $0,277 \text{ m}^2$.

4. SISTEMA FOTOVOLTAICO

O sistema fotovoltaico foi instalado pela equipe da PUCRS na fachada do MCT com ângulo de inclinação de 90° e ângulo de azimute de 25° para o oeste e está constituído por 20 módulos fotovoltaicos, totalizando a potência de 660

W_p . O sistema fotovoltaico foi projetado com dois painéis associados em paralelo, com tensão de circuito aberto da ordem de 200 V para conexão no inversor. Em cada painel os dez módulos foram associados em série. Os valores médios da tensão de circuito aberto (V_{OC}), corrente de curto-circuito (I_{SC}), fator de forma (FF) e potência máxima (P_{MP}) dos módulos fotovoltaicos utilizados nos painéis, denominados de A e B, são apresentados na Tab. 1.

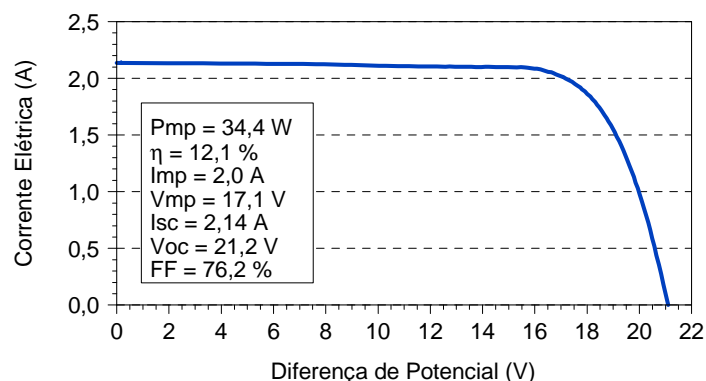


Figura 1 – Curva da corrente elétrica em função da diferença de potencial aplicada do módulo fotovoltaico com maior potência.

Tabela 1 - Valores médios de V_{OC} , I_{SC} , FF e P_{MP} dos módulos utilizados em cada um dos painéis fotovoltaicos.

Painel	V_{OC} (V)	I_{SC} (A)	FF (%)	P_{MP} (W)
A	$21,0 \pm 0,2$	$1,96 \pm 0,08$	$78,3 \pm 2,3$	$32,2 \pm 1,4$
B	$21,2 \pm 0,1$	$2,09 \pm 0,03$	$77,1 \pm 1,3$	$33,8 \pm 0,7$

Um diagrama apresentando os componentes do sistema fotovoltaico e do sistema automatizado de medição é apresentado na Fig. 2. Na Fig. 3 ilustra-se o sistema instalado na fachada do MCT. O inversor de frequência (SMA Sunny Boy - 700 W) e o anemômetro foram instalados próximo ao sistema fotovoltaico, de modo que podem ser vistos pelos visitantes do MCT. Além do anemômetro, o sistema de medição está constituído por sensores para medição da temperatura, sensor de irradiância (Sunny SensorBox), que está posicionado no mesmo plano dos módulos e equipamento Sunny WebBox que permite o acesso remoto do sistema de medição e armazenamento dos dados. Com o sistema de aquisição de dados mediu-se a irradiância incidente nos módulos fotovoltaicos, a velocidade do vento e temperatura ambiente e dos módulos fotovoltaicos bem como a energia AC e DC no inversor de frequência. Os dados foram medidos e armazenados a cada 5 minutos.

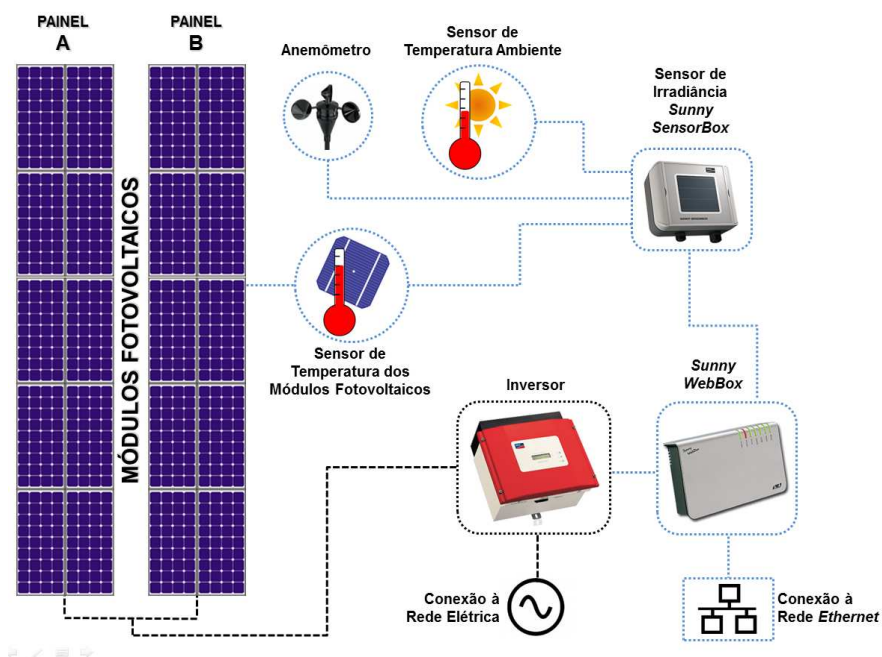
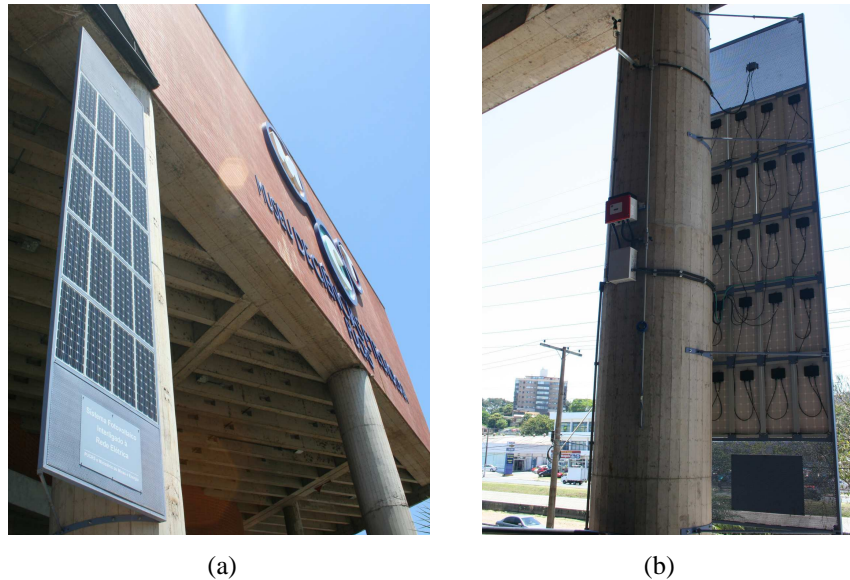


Figura 2- Diagrama do sistema fotovoltaico instalado na fachada do Museu de Ciências e Tecnologia da PUCRS.



5. ANÁLISE EXPERIMENTAL

O sistema fotovoltaico, após ser instalado na fachada do MCT, foi conectado à rede elétrica. Para a análise durante um ano, os dados medidos com o sistema de aquisição de dados foram tratados.

Na Fig. 4 apresentam-se os valores médios mensais da temperatura ambiente e dos módulos fotovoltaicos em operação para cada mês do ano de 2014. Os valores médios foram calculados considerando o período do dia em que o sistema fotovoltaico estava injetando energia na rede elétrica. Observa-se que a temperatura dos módulos segue o mesmo comportamento que a temperatura ambiente. A máxima diferença de temperatura, de 6,9 °C, foi observada no mês outubro e a mínima diferença de temperatura de apenas 0,9 °C foi observada no mês dezembro, devido a menor incidência de radiação solar, como se pode notar na Fig. 5. Na média anual, a diferença entre a temperatura dos módulos e a temperatura ambiente foi de somente 4,4 °C, devido às condições da instalação, que favorecem a refrigeração natural nas duas faces dos módulos fotovoltaicos, à velocidade do vento no local e à menor incidência de radiação solar devido à inclinação de 90°.

Perda de potência por temperatura, devido ao aquecimento dos módulos fotovoltaicos, é um fator relevante que pode limitar a produtividade de um sistema fotovoltaico, principalmente quando integrados à edificações (Nordmann e Clavadetscher, 2003), (Skoplaki e Palyvos, 2009). As perdas devido a temperatura de operação foram baixas e para a temperatura ambiente média anual de 25,7 °C, a temperatura dos módulos fotovoltaicos média anual foi de 30,1 °C. No mês de junho foi medida a menor temperatura média dos módulos, de 24,1 °C. Portanto, pode-se constatar que para sistemas em fachadas, a instalação com ventilação na face posterior resulta em redução de perdas de energia.

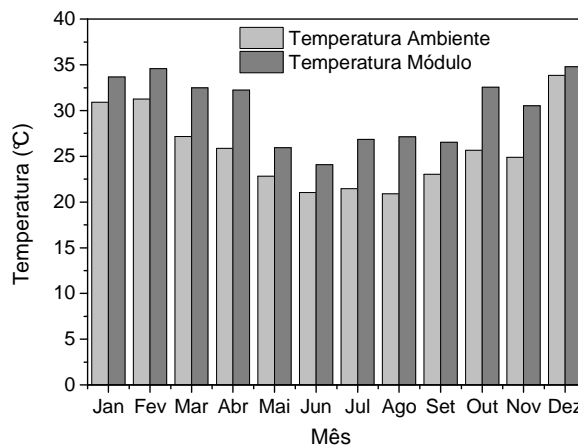


Figura 4 - Valores médios da temperatura ambiente e dos módulos fotovoltaicos no arranjo em 2014.

Os valores médios mensais de irradiação solar e da energia elétrica AC injetada na rede elétrica são apresentados na Fig. 5. Em 2014, a irradiação solar média diária incidente no arranjo fotovoltaico foi de 2,1 kWh/(m² dia), resultando na média mensal de 63,8 kWh/(m² mês). Os maiores valores da irradiação solar foram obtidos nos meses de abril e

agosto e os menores valores nos meses de dezembro e maio, devido ao ângulo de inclinação de 90° na latitude de Porto Alegre.

Conforme esperado, a produção de energia elétrica AC apresenta o mesmo comportamento que a irradiação solar incidente ao longo do ano. A maior produção de energia elétrica ocorre nos meses próximos aos equinócios e os menores valores ocorrem nos meses de inverno e verão. No mês de agosto foi produzido o maior valor de energia elétrica, de 53,9 kWh/mês e no mês de dezembro o valor foi de apenas 12,3 kWh/mês. Durante o ano de 2014, a produção média mensal de energia elétrica foi de 33,2 kWh/mês e a produção anual foi de 398,6 kWh/ano.

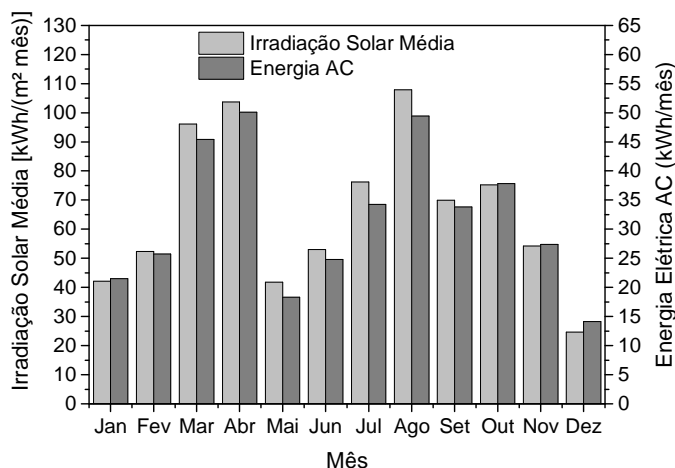


Figura 5 - Valores médios mensais da irradiação solar incidente nos módulos fotovoltaicos e da energia elétrica AC injetada na rede elétrica no ano de 2014.

A Fig. 6-a e Fig. 6-b mostram a eficiência do arranjo fotovoltaico e a eficiência do inversor para cada mês do ano de 2014, respectivamente. Em média a eficiência do arranjo foi de 9,0 % e a eficiência do inversor foi de 83,2 %. Nota-se que a eficiência do arranjo é menor nos meses de inverno. Este resultado não está associado às perdas devido a temperatura de operação dos módulos e pode estar associado à distribuição espectral da irradiação incidente (Zanescio e Krenzinger, 1993). A eficiência do inversor também apresenta uma pequena variação ao longo do ano. A menor eficiência, de 73,2 %, ocorre no mês de junho e a maior de 89,7 % no mês de outubro.

A eficiência global do arranjo fotovoltaico para cada mês do ano de 2014 é apresentada na Fig. 6-c. Este parâmetro está diretamente associado à eficiência do arranjo fotovoltaico e do inversor. A maior eficiência, de 9,1 %, ocorreu no mês de dezembro e a menor eficiência global, de 6,2 %, foi obtida em junho. A eficiência global média foi de 7,8 %.

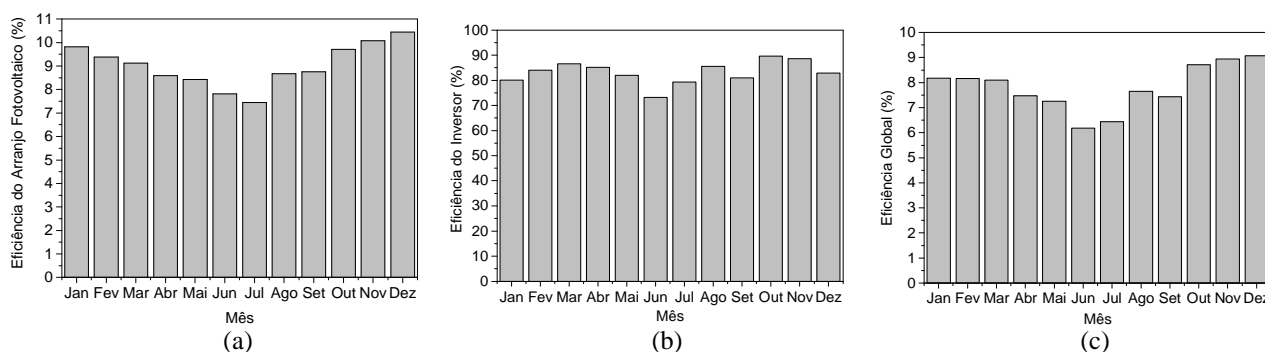


Figura 6 - Eficiência média mensal (a) do arranjo fotovoltaico, (b) do inversor e (c) global do sistema fotovoltaico no ano de 2014.

A produtividade e o desempenho global do sistema fotovoltaico para cada mês do ano são mostradas nas Fig. 7-a e Fig. 7-b, respectivamente. Conforme esperado, nos meses próximos aos equinócios ocorre a maior produtividade e nos meses próximos aos solstícios verificam-se os menores valores. Portanto, a maior produtividade mensal, de 75,9 kWh/kWp correu para o mês de abril, que contrasta com o valor de 21,4 kWh/kWp obtido no mês de dezembro. A produtividade anual do sistema fotovoltaico foi de 572 kWh/kWp. Este valor é baixo devido ao ângulo de inclinação de 90° dos módulos fotovoltaicos. O valor da produtividade obtida por simulação para o mesmo arranjo, porém com ângulo de inclinação de 50° , foi de 1.410 kWh/kWp (Zanescio *et al.*, 2012). Da Fig. 7-b, verifica-se que no mês de dezembro, o desempenho global do sistema fotovoltaico atingiu o valor de 0,87, porém nos meses de maio e agosto o valor foi de 0,67, resultando no valor médio anual de 0,73.

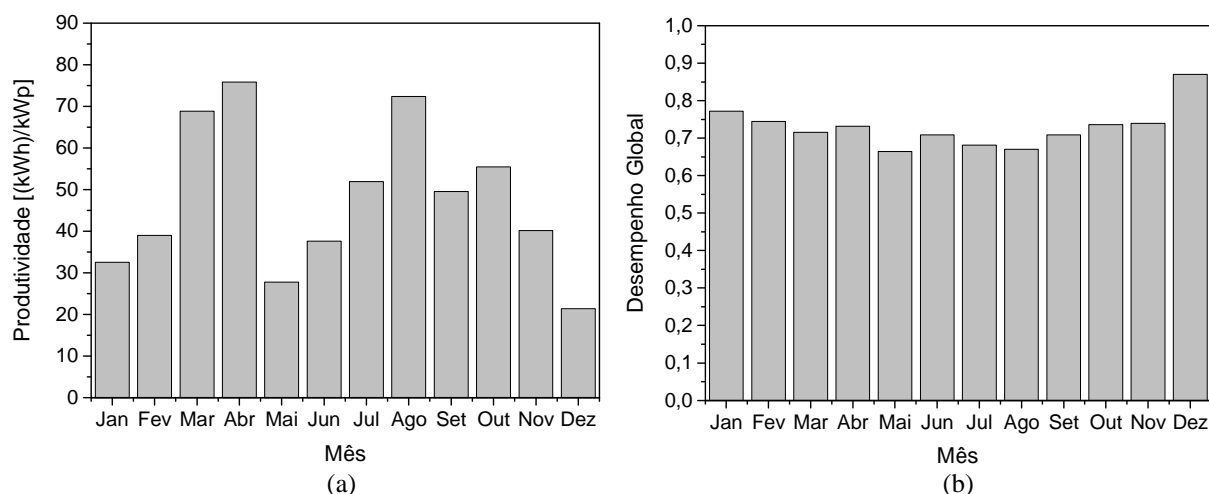


Figura 7 – (a) Produtividade e (b) desempenho global do sistema fotovoltaico durante o ano de 2014.

6. CONCLUSÕES

Foi analisada a temperatura dos módulos fotovoltaicos, a irradiação solar incidente, a eficiência, a produtividade e o desempenho global do sistema fotovoltaico interligado à rede elétrica instalado com ângulo de inclinação de 90° na fachada do Museu de Ciências e Tecnologia da PUCRS durante o ano de 2014. A irradiação solar média diária incidente no arranjo fotovoltaico foi de $2,1 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{dia})$, resultando na produção média de energia elétrica AC de $33,2 \text{ kWh}/\text{mês}$. A eficiência do inversor foi de $83,2 \%$ e associada a eficiência do arranjo fotovoltaico de $9,0 \%$, resultou na eficiência global do sistema de $7,8 \%$. Neste período a temperatura média do módulo fotovoltaico e ambiente foi de $30,1^\circ \text{C}$ e $25,7^\circ \text{C}$, respectivamente. A temperatura dos módulos foi baixa devido à característica de instalação do arranjo fotovoltaico que expõe ambas as faces dos módulos ao fluxo de vento no local. A produtividade anual foi de 572 (kWh/kWp) e o desempenho global alcançado foi de $0,73$, devido à instalação na fachada com $\beta = 90^\circ$. A produtividade observada corresponde a aproximadamente 41% da produtividade anual que o sistema poderia alcançar em uma instalação com $\beta = 50^\circ$.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao apoio financeiro do Ministério de Minas e Energia, sob o contrato nº 008/2005 – MME/PUCRS e o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

REFERÊNCIAS

- Borah, R. R., Palit, D., Mahapatra, S., 2014. Comparative analysis of solar photovoltaic lighting systems in India, Energy Procedia, n. 54, pp. 680-689. DOI: 10.1016/j.egypro.2014.07.309.
- Hestnes, A. G., 1999. Building integration of solar energy systems, Solar Energy, vol. 67, n. 4-6, pp. 181-187.
- IEC, 1998. Photovoltaic system performance monitoring – guidelines for measurement, data exchange and analysis, IEC Standard 61724, Geneva.
- Jelle¹, B. P., Breivik, C., 2012. State-of-the-art building integrated photovoltaics, Energy Procedia, n. 20, pp. 68-77. DOI: 10.1016/j.egypro.2012.03.009.
- Jelle², B. P., Breivik, C., 2012. The path to the building integrated photovoltaics of tomorrow, Energy Procedia, n. 20, pp. 78-87. DOI: 10.1016/j.egypro.2012.03.010.
- Marion, B., Adelstein, J., Boyle, K., Hayden, H., Hammond, B., Fletcher, T., Canada, B., Narang, D., Kimber, A., Mitchell, L., Rich, G., Townsend, T., 2005. Performance parameters for grid-connected PV systems. 31st IEEE Photovoltaic Specialists Conference, Orlando, FL. DOI: 10.1109/PVSC.2005.1488451.
- MME, 2015. Resenha Energética Brasileira – Exercício de 2014. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/> Acesso: outubro 2015.
- Nordmann, T., Clavadetscher, L., 2003. Understanding temperature effects on PV system performance, 3rd World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, Osaka, Japan.
- Pereira, E., B., Martins, F. R., Abreu, S. L., Rüther, R., 2006. Atlas brasileiro de energia solar, São José dos Campos, 1^a ed., 60 p. ISBN 85-17-00030-7 / ISBN 978-85-17-00030-0.
- Radhi, H., 2010. Energy analysis of façade-integrated photovoltaic system applied to UAE commercial buildings, Energy Procedia, n. 84, pp. 2009-2021. DOI: 10.1016/j.solener.2010.10.002.

- Sacht, H. M., Bragança, L., Almeida, M., 2013. Energy efficiency of photovoltaic façade for diferente latitudes in Portugal, SB13 Portugal–Sustainable Building Contribution to Achieve the EU 20-20-20 Targets, pp. 319-326.
- Shen, L. T., Fan, J., 2015. Study on the performance of vertical solar PV system in tropical region, Advances in Energy Engineering (AEE), vol. 3, 7 p. DOI: 10.14355/aee.2015.03.001.
- Skoplaki, E., Palyvos, J. A., 2009. Operating temperature of photovoltaic modules: A survey of pertinent correlations. Renewable Energy, n. 34, pp. 23-29. DOI: 10.1016/j.renene.2008.04.009.
- Ueda, Y., Kurokawa, K., Itou, T., Kitamura, K., Miyamoto, Y., Yokota, M., Suguhara, H., 2006. Performance ratio and yield analysis of grid connected clusterd PV system in Japan, 4th IEEE World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, Waikoloa, HI. DOI: 10.1109/WCPEC.2006.279631.
- Zanescio, I., Moehlecke, A., Garcia, S. B., Febras, F. S., Andrade, A. C., 2012. Development of a PV system as a way to promote the technology, 38th IEEE Photovoltaic Specialists Conference, Austin, TX. DOI: 10.1109/PVSC.2012.6317670.
- Zanescio, I., Krenzinger, A., 1993. The effects of atmospheric parameters on the global solar irradiance and on the current of a silicon solar cell, Progress in Photovoltaics, vol. 1, n. 3, pp. 169-179.

EVALUATION OF THE GRID CONNECTED PV SYSTEM INSTALLED IN THE FAÇADE OF THE SCIENCE AND TECHNOLOGY MUSEUM OF THE PUCRS

Abstract. *Investments in new technologies for electric energy production are needed to meet the load demand. In this context, the production of electric energy from the direct conversion of solar energy, called photovoltaic (PV) solar energy has been highlighted. The goal of this paper was to evaluate the production of electric energy and the PV system installed at the Science and Technology Museum (MCT) of the PUCRS during 2014. As a strategy to promote PV energy, the Ministry of Mines and Energy (MME) supported the development of an industrial process to produce silicon solar cells and PV modules as well as the installation of a grid connected PV system. The PV system was installed on the façade of the MCT and it was tilted 90°, aiming the architectural integration. The PV-array is composed of two panels with 10 PV modules in each one. The electric power of the panels is 322 Wp and 338 Wp, resulting in 660 Wp. In 2014, the average daily solar irradiation on the PV array was 2.1 kWh/(m² day), resulting in the electric energy produced of 33.2 kWh/month. The inverter efficiency was 83.2 % and the PV-array efficiency was 9.0 %, resulting in the overall system efficiency of 7.8 %. During this year, the average temperature of the PV module and of the ambient temperature was 30.1 °C and 25.7 °C, respectively. The low temperature of the PV modules was due the positioning of the PV-array installation. The annual PV system yield was 572 kWh/kWp and the average performance ratio was 0.73, due to the installation of PV modules on the façade tilted 90°.*

Key words: Solar Energy, Grid Connected PV System, Energy Yield