

## **A influência da temperatura na eficiência de painéis fotovoltaicos em diferentes níveis de incidência de radiação solar**

Roger Nabeyama Michels<sup>1</sup>; Estor Gnoatto<sup>2</sup>; José Airton Azevedo dos Santos<sup>3</sup>; Edward Kavanagh<sup>4</sup>; Maria Cristina Halmeman<sup>5</sup>.

Tecnólogo em Eletromecânica, Mestre em Eng. Agrícola, Professor da UTFPR-Apucarana; rua Marcílio Dias, 635, CEP 86812-460, Apucarana-PR. rogermichels@utfpr.edu.br;

Engº Agrícola, Doutorando em Eng. Agrícola, Professor da UTFPR-Medianeira. gnoatto@utfpr.edu.br;

Engº Eletricista, Doutor em Eng. Elétrica, Professor da UTFPR-Medianeira. airton@utfpr.edu.br;

Físico, Mestre em Físico-Química, Professor da UTFPR-Medianeira. kavanagh@utfpr.edu.br;

Engª de Produção, Doutoranda em Energia na Agricultura, Professora da UTFPR-Campo Mourão, cristhalmeman@gmail.com

### **RESUMO**

Neste trabalho analisou-se a influência da temperatura sobre a eficiência, de painéis fotovoltaicos, com diferentes níveis de incidência de irradiação solar (500, 600, 700, 800, 900 e 1000 Wm<sup>-2</sup>). O sistema fotovoltaico, composto por painéis fotovoltaicos e uma bomba de deslocamento positivo, foi instalado na Universidade Tecnológica Federal do Paraná na cidade de Medianeira. Os dados foram coletados durante o período de um ano, porém somente dados de dias limpos foram utilizados, para que não ocorresse a influência do sombreamento, de nuvens, sobre os valores obtidos. Observou-se, neste trabalho, que o aumento da temperatura, nos painéis fotovoltaicos, faz com que a eficiência diminua, devido ao decréscimo da tensão e da potência.

**Palavras chave:** Energia Solar Fotovoltaica, Eficiência Energética, Painéis Fotovoltaicos.

### **The effect of temperature on the efficiency of photovoltaic panels at different levels of incidence of solar radiance**

### **ABSTRACT**

This work analyzes the influence of temperature on the efficiency of photovoltaic panels, with different levels of incidence of solar radiation (500, 600, 700, 800, 900 and 1000 Wm<sup>-2</sup>). The photovoltaic system, composed of photovoltaic panels and a positive displacement pump was installed at the Federal Technological University of Paraná in the city of Medianeira. Data were collected during the period of one year, but only data from clear days were used, which did not occur to the influence of shading of clouds on the values obtained. Observed in this work, the temperature increase in photovoltaic panels, makes the efficiency decreases due to the decrease of voltage and power.

**Keywords:** Photovoltaic Solar Energy, Energy Efficiency, Photovoltaic Panels.

## INTRODUÇÃO

A eficiência de painéis fotovoltaicos está relacionada a fatores construtivos da célula, bem como a fatores externos. Como fatores externos, que afetam negativamente a eficiência dos painéis fotovoltaicos, pode-se citar o acúmulo de poeira sobre a superfície superior, sombreamento dos painéis, redução da incidência da radiação solar, o ângulo de instalação dos painéis fotovoltaicos, elevação da temperatura, entre outros.

Gnoatto (2003) cita Overstraeten e Mertens (1996) e Treble (1980) que afirmam: “o rendimento do painel depende da radiação solar, da temperatura, da tensão e da sujeira acumulada do painel”. O valor nominal do rendimento é fornecido pelos fabricantes. Caso não seja, pode ser deduzido diretamente a partir da potência máxima de pico e da área útil do painel (área total das células descontada as fitas de contato). Esse rendimento é para as condições de teste STC (Condições padrão de teste). A eficiência do painel fotovoltaico é dada pela comparação entre a potência produzida pelo painel e a irradiação incidente em seu plano.

Miguel et al. (2006) estudaram um sistema fotovoltaico em condições reais de funcionamento, instalado em Castilha e Leon – Espanha, no período de dezembro de 2000 a novembro de 2001 e obtiveram uma eficiência de 11,3% em agosto e 13,9% em janeiro”.

Cardona e López (1999) avaliaram durante um ano o desempenho de um sistema fotovoltaico conectado à rede de energia elétrica convencional, instalado na Universidade de Málaga – Espanha, no período de janeiro a dezembro de 1997 e obtiveram um rendimento médio mensal entre 8,8 e 10,3 %.

Gnoatto (2003) desenvolveu um estudo sobre um sistema fotovoltaico autônomo, com armazenamento de energia, instalado na Estação Experimental Agrometeorológica da

Universidade Estadual do Oeste do Paraná, campus de Cascavel sob condições reais de campo, durante o ano de 2002 e a eficiência durante o ano teve a média mensal oscilando entre 8,65% e 9,17%, com média anual de 8,84%.

Além de eficiente, o painel fotovoltaico deve ser econômico quando comparado com um sistema convencional. Marafia (2001), ao realizar um comparativo econômico na geração de eletricidade por meio de um sistema fotovoltaico e turbina a gás convencional no Qatar, concluiu que: “Uma avaliação básica da economia da geração de eletricidade no Qatar sugere que a tecnologia fotovoltaica não está longe de ser economicamente possível. A avançada tecnologia e a larga demanda do mercado para sistemas fotovoltaicos devem resultar na eficiência melhorada da conversão além de reduzir o seu custo. Entretanto, deve-se enfatizar que os sistemas fotovoltaicos são fontes limpas de energia e seu impacto sobre o ambiente deve ser levado em consideração”.

## MATERIAL E MÉTODOS

O sistema fotovoltaico isolado (*stand alone*), com dois painéis, como mostra a Figura 1, foi montado nas dependências da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), *campus* de Medianeira, Paraná, Brasil. O município está localizado no oeste paranaense com 25°17'43" de latitude sul, 54°05'38" de longitude oeste e apresenta uma altitude de 500,7 metros.

Os materiais utilizados para a montagem do experimento foram:

- Dois painéis solares, fabricante Solarex, modelo MSX 56, tensão padrão de 12 V, corrente padrão de 3,35 A e potência de 56 W;
- Uma bomba, fabricante SolarJack, modelo SDS-D-228, tensão de 30 V.
- Um *micrologger* da marca Campbell

Scientific-INC, modelo CR23X;

- Um termopar do tipo K (cromo/alumínio) aferido para a aquisição de dados;
- Um piranômetro Kipp & Zonen CM3;
- Um divisor de tensão;
- Uma resistência Shunt.

Foram instalados 10 módulos fotovoltaicos, sendo que para o presente estudo, apenas dois módulos foram utilizados, ligados em série devido à configuração do sistema.

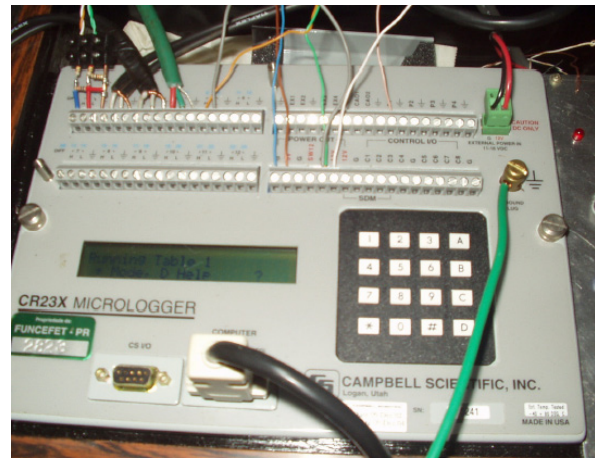


**Figura 1:** Sistema fotovoltaico isolado.

A carga utilizada, para este experimento, foi uma bomba d'água, fabricante SolarJack, modelo SDS-D-228, que estava bombeando água a uma altura de 20 metros.

O sistema de aquisição de dados é constituído por um "micrologger" da Campbell Scientific-INC modelo CR23X, demonstrado na Figura 2, programado para realizar uma leitura por segundo de cada canal e armazenar a média aritmética a cada minuto dos dados das componentes de irradiação global no mesmo plano do painel; da temperatura de operação do painel e da tensão e corrente do sistema fotovoltaico.

Os dados de temperatura de operação do painel fotovoltaico foram obtidos por um termopar do tipo K, instalado na parte posterior do mesmo (medida de temperatura do painel).



**Figura 2:** Micrologger da Campbell Scientific-INC – CR23X.

A eficiência do sistema fotovoltaico ligado a um sistema de bombeamento de água foi determinada pela divisão da potência gerada no painel, pelo produto da área útil da célula fotovoltaica (0,90288 m<sup>2</sup>) e a irradiação solar, multiplicado por 100 para obter o valor final em porcentagem. Segundo Camus e Eusébio (2006) a eficiência do sistema fotovoltaico pode ser obtida pela equação (1).

$$\eta = \frac{V \cdot I}{I_s \cdot A} \cdot 100 \quad (1)$$

Em que:

V – Tensão (V);

I – Corrente (A);

I<sub>s</sub> – Irradiação Solar Global (W. m<sup>-2</sup>);

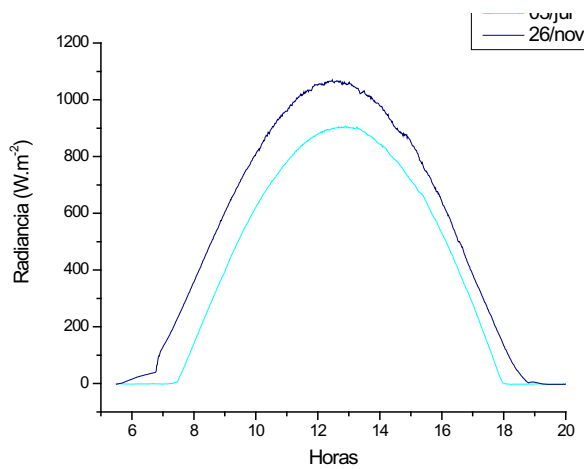
A – Área Útil do Módulo (m<sup>2</sup>).

## RESULTADOS

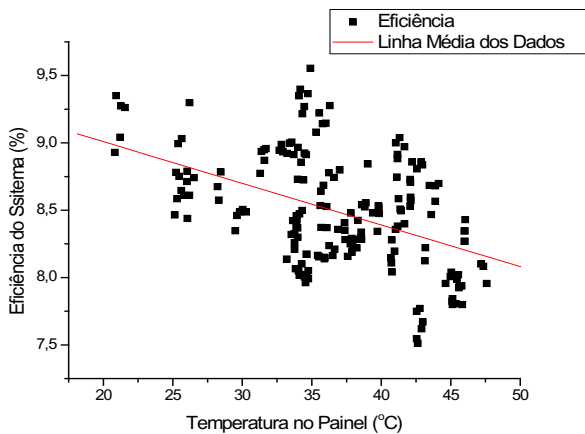
Os dados foram coletados durante o período de um ano, porem os dados utilizados neste trabalho são somente os dados obtidos de dias limpos, ou seja, dia em que não houve influencia de nuvens sobre o painel fotovoltaico, desta forma, eliminando a possibilidade de influencia de sombreamento sobre o sistema. Dois exemplos de dias limpos podem ser visto na figura 3, onde mostram a

radiação solar dos dias 3 de julho e 26 de novembro. Estes dois dias são utilizados como exemplos, pois foram utilizados dados de todos os meses e não somente dias no solstício de inverno e verão.

A eficiência em painéis fotovoltaicos é influenciada pela incidência da radiação sobre os mesmos, assim, separou-se os dados com valores de 500, 600, 700, 800, 900 e 1000  $W.m^{-2}$  para que fosse isolado o fator radiação. A coluna de temperatura foi colocada em ordem crescente e plotado o gráfico da eficiência, como podem ser visualizados nas figuras 4, 5, 6, 7, 8 e 9.

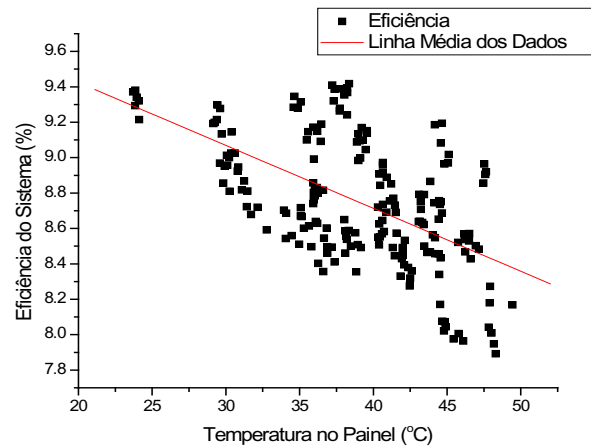


**Figura 3:** Exemplo da irradiância dos dias de céu limpo



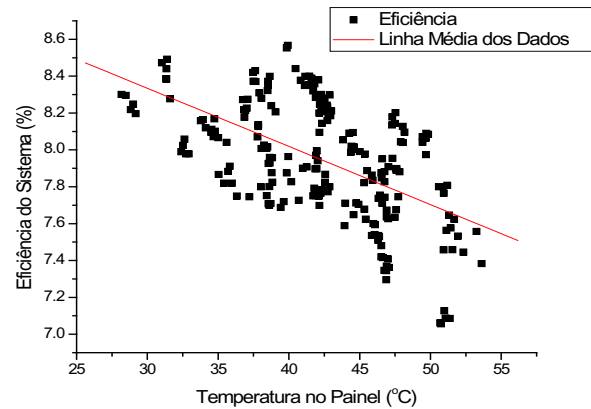
**Figura 4:** Eficiência do sistema x temperatura do painel, para radiação de 500  $W.m^{-2}$

Para o nível de radiação de 500  $W.m^{-2}$ , a eficiência máxima encontrada foi de 9,55%, a mínima de 7,51% e a média atingiu o valor de 8,48%. Já a temperatura oscilou de um máximo de 47,58 °C até um mínimo de 20,82 °C, sendo que a média ficou em 36,85 °C.



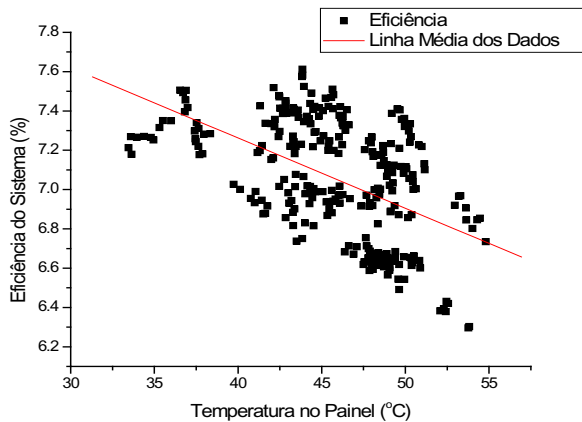
**Figura 5:** Eficiência do sistema x temperatura do painel, para radiação de 600  $W.m^{-2}$

Para o nível de radiação de 600  $W.m^{-2}$ , a eficiência máxima encontrada foi de 9,41%, a mínima de 7,89% e a média atingiu o valor de 8,74%. Já a temperatura oscilou de um máximo de 49,43 °C até um mínimo de 23,70 °C, sendo que a média ficou em 39,00 °C.



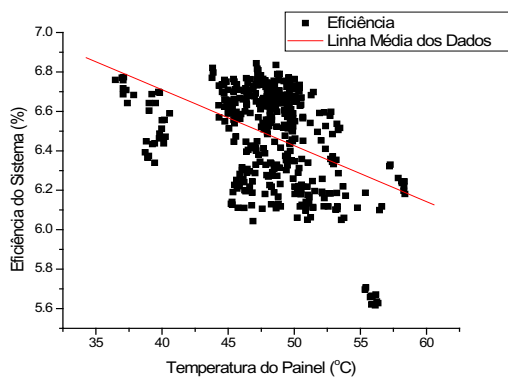
**Figura 6:** Eficiência do sistema x temperatura do painel, para radiação de 700  $W.m^{-2}$

Para o nível de radiância de  $700 \text{ W.m}^{-2}$ , a eficiência máxima encontrada foi de 8,56%, a mínima de 7,05% e a média atingiu o valor de 7,94%. Já a temperatura oscilou de um máximo de  $53,62 \text{ }^\circ\text{C}$  até um mínimo de  $28,18 \text{ }^\circ\text{C}$ , sendo que a média ficou em  $42,28 \text{ }^\circ\text{C}$ .



**Figura 7:** Eficiência do sistema x temperatura do painel, para radiância de  $800 \text{ W.m}^{-2}$

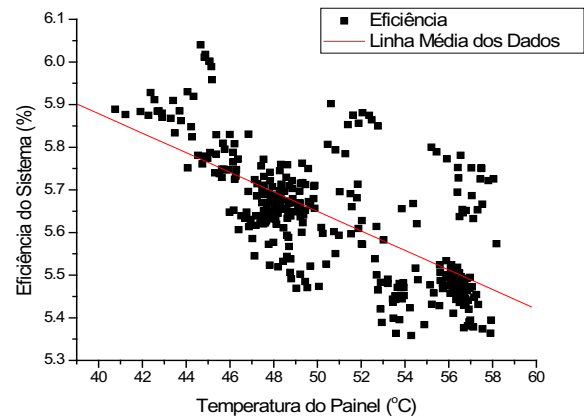
Para o nível de radiância de  $800 \text{ W.m}^{-2}$ , a eficiência máxima encontrada foi de 7,61%, a mínima de 6,29% e a média atingiu o valor de 7,05%. Já a temperatura oscilou de um máximo de  $54,80 \text{ }^\circ\text{C}$  até um mínimo de  $33,45 \text{ }^\circ\text{C}$ , sendo que a média ficou em  $45,85 \text{ }^\circ\text{C}$ .



**Figura 8:** Eficiência do sistema x temperatura do painel, para radiância de  $900 \text{ W.m}^{-2}$

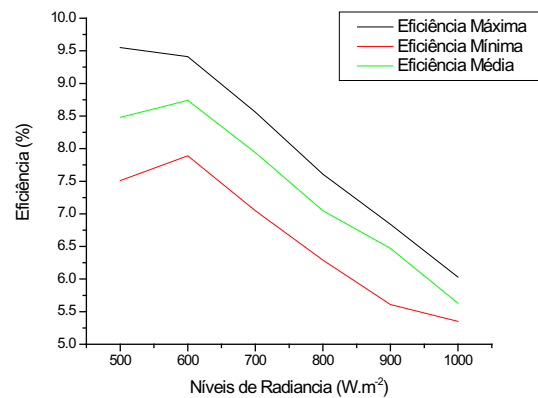
Para o nível de radiância de  $900 \text{ W.m}^{-2}$ , a eficiência máxima encontrada foi de 6,84%, a mínima de 5,61% e a média atingiu o valor

de 6,47%. Já a temperatura oscilou de um máximo de  $58,37 \text{ }^\circ\text{C}$  até um mínimo de  $36,46 \text{ }^\circ\text{C}$ , sendo que a média ficou em  $48,27 \text{ }^\circ\text{C}$



**Figura 9:** Eficiência do sistema x temperatura do painel, para radiância de  $1000 \text{ W.m}^{-2}$

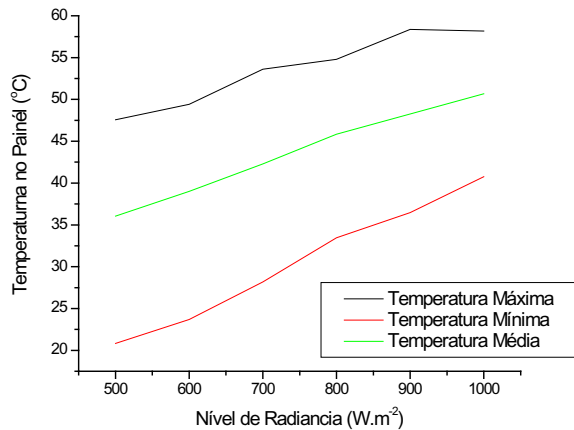
Para o nível de radiância de  $900 \text{ W.m}^{-2}$ , a eficiência máxima encontrada foi de 6,03%, a mínima de 5,35% e a média atingiu o valor de 5,63%. Já a temperatura oscilou de um máximo de  $58,18 \text{ }^\circ\text{C}$  até um mínimo de  $40,76 \text{ }^\circ\text{C}$ , sendo que a média ficou em  $50,68 \text{ }^\circ\text{C}$



**Figura 10:** Eficiência Máxima, Mínima e Média do Sistema

Ao analisar o gráfico a Figura 10, verifica-se um decréscimo da eficiente de acordo com o aumento do nível de radiância solar, porem este fenômeno está relacionada com o aumento da temperatura no painel fotovoltaico.

taico, esta afirmação é obtida verificando o gráfico da Figura 11, onde mostra o aumento da temperatura do painel com o aumento do nível da radiação solar.



**Figura 11:** Temperatura Máxima, Mínima e Média no Painel Fotovoltaico

## CONCLUSÕES

Com a realização deste trabalho, pode-se verificar que, a temperatura em um sistema fotovoltaico altera negativamente a sua eficiência. O aumento da temperatura provoca uma diminuição do valor da tensão e, conseqüentemente, haverá a diminuição da potência e da eficiência.

A eficiência pode variar em um sistema fotovoltaico de uma estação para outra (verão – inverno) ou até mesmo em um dia, onde as manhãs possuem uma temperatura mais amena se comparado ao período da tarde que pode apresentar um acréscimo de temperatura de até 10°C entre os pontos em que o painel fotovoltaico estabiliza.

Para aumentar a eficiência dos painéis fotovoltaicos é necessária uma melhor dissipação do calor do painel ou até mesmo a sua refrigeração.

## REFERÊNCIAS

Camus, C.; Eusébio, E. *Gestão de Energia: energia solar*. Lisboa: Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Departamento de Engenharia Electrotécnica e Automação, 2006.

Cardona, M. S.; López, M. L. Performance analysis of a grid-connected photovoltaic system. *Energy*, New York, v. 24, p. 93-102, 1999.

Gnoatto, E. *Desempenho de painel fotovoltaico para geração de energia elétrica na região de Cascavel*. 2003. 58 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Sistemas Agroindustriais) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel/PR, 2003

Marafia, H. A., Feasibility study of photovoltaic technology in Qatar. *Renewable Energy*. Amsterdam, Netherlands, v. 24, p. 567, 2001.

Miguel, A.; Bilbao, J.; Cazorro, J. R. S.; Martín, C. *Performance analysis of a grid connected pv system in a rural site in the north-west of Spain*. Disponível em: <http://www3.uva.es/renova/esp/congresocolonia.pdf>, Acesso em: 18 de janeiro de 2006.

Riffel, D. B. *Unidade de osmose reversa acionada por energia solar fotovoltaica sem baterias: simulação, projeto e validação experimental*. 2005. 125 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal do Ceará. Fortaleza/CE. 2005. p 12