

## Levantamento experimental da curva característica de um módulo solar fotovoltaico

## Obtaining experimentally the characteristic curve of a photovoltaic module

**Henrique de Lacerda Tinoco**

[tinoco@alunos.utfpr.edu.br](mailto:tinoco@alunos.utfpr.edu.br)

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, Paraná, Brasil

**Romeu Miqueias Szmoski**

[rmszmoski@utfpr.edu.br](mailto:rmszmoski@utfpr.edu.br)

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, Paraná, Brasil

**Thiago Antonini Alves**

[thiagooalves@utfpr.edu.br](mailto:thiagooalves@utfpr.edu.br)

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, Paraná, Brasil

### RESUMO

O aumento da demanda energética juntamente com a queda da oferta de combustíveis convencionais e a ampliação dos cuidados com a preservação do meio ambiente estão estimulando a comunidade científica a pesquisar e desenvolver fontes alternativas de energia menos poluentes, renováveis e que produzam pouco impacto ambiental. Uma forma de energia renovável que se destacou na área da sustentabilidade é a energia solar, devido a aspectos ambientais, sociais e de abundância. Apesar de se obter eletricidade diretamente da incidência solar em um sistema fotovoltaico, aproximadamente 80% a 90% da energia incidente é convertida em calor. Esse calor resulta no aumento da temperatura de operação das células do módulo solar fotovoltaico, provocando um decréscimo de 0,45% no rendimento do módulo para cada grau *Celsius* [°C] acrescentado a partir das condições padrões de teste: 25 °C, 1 kW/m<sup>2</sup> e 1,5 kg de ar. No presente trabalho foi apresentado um levantamento experimental da curva característica de um módulo solar fotovoltaico, visando a obtenção de dados para futura aplicação de tubos de calor e/ou termossifões em seu controle térmico.

**PALAVRAS-CHAVE:** Módulo solar fotovoltaico. Energia solar. Sustentabilidade.

### ABSTRACT

The increase in the energy demand with the drop in the supply of conventional fuel and the increase of the warning with the preservation of the environment is stimulating the scientific community to research and to develop alternative sources of energy less polluting, renewable and that produce little environmental impact. One form of renewable energy that has highlighted in the area of sustainability is solar energy, due to environmental, social and abundance aspects. Despite obtaining electricity directly from the solar incident in a photovoltaic system, approximately 80% to 90% of the incident energy is converted into heat. This heat results in an increase in the operating temperature of the photovoltaic module cells, causing a 0.45% decrease in panel yield for each degree Celsius [°C] added from the standard test conditions: 25 °C, 1 kW/m<sup>2</sup> and 1.5 kg of air. In the present search a survey of the characteristic curve of a photovoltaic module was presented, aiming to obtain data for future application of heat pipe and/or other thermosyphons in their thermal control.

**KEYWORDS:** Photovoltaic module. Solar energy. Sustainability.

**Recebido:** 31 ago. 2018.

**Aprovado:** 04 out. 2018.

#### Direito autoral:

Este trabalho está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.



## INTRODUÇÃO

O Sol é a fonte de energia mais abundante do nosso planeta e todas as outras formas de energias renováveis derivam dela de maneira direta ou indireta, como a eólica, biomassa e hidrelétrica. O sol fornece aproximadamente 1,5.10<sup>18</sup> kWh de energia por ano, correspondente à 10.000 vezes o consumo de energia mundial (CRESESB, 2006).

A irradiação solar apresenta variações devido a presença de nuvens, precipitação de chuva, estações do ano, áreas de sombra e entre outros. Esses fatores, além do valor econômico de novas tecnologias, elevam o custo por Watt-hora [Wh] de energia gerada, assim essa característica incentiva a busca por uma melhor eficiência para aproveitar a energia gerada.

O custo de implantação de sistemas solares fotovoltaicos ainda é elevado, porém este investimento tem se tornado viável devido a modularidade, custos de manutenção, longa vida útil e evolução da energia solar. Dados indicam que a energia fotovoltaica já atinge 177 GW de capacidade mundial sendo que 60% de toda essa capacidade foi implantada nos últimos 3 anos (REN21, 2015).

O Brasil é um dos países com maior potencial energético devido a sua extensão territorial e posição geográfica – Atlas Brasileiro de Energia Solar (ANEEL, 2008). A maior parte do território brasileiro fica na região intertropical, apresentando um grande potencial de aproveitamento da energia proveniente da irradiação solar.

Os módulos fotovoltaicos são dispositivos semicondutores que produzem energia elétrica tendo como base a luz solar. Quando as partículas da luz solar, fótons, colidem com os átomos de silício, provocam o deslocamento dos elétrons, gerando uma corrente elétrica e aquecendo as células do módulo solar fotovoltaico (CHAN, 2018).

Em um módulo solar fotovoltaico, a potência gerada está relacionada com a tensão e corrente produzida. A queda no rendimento com o aumento da temperatura de operação acarreta uma diminuição da potência total gerada pelo sistema fotovoltaico, pois a tensão reduz significativamente ao mesmo tempo que a corrente sofre uma pequena elevação que não compensa a perda ocasionada pela diminuição de tensão (TINOCO et al., 2018).

Neste contexto, o objetivo principal desta Pesquisa de Iniciação Científica foi o levantamento experimental da curva característica de um módulo solar fotovoltaico visando a obtenção de dados para futura aplicação de tubos de calor e/ou termossifões em seu controle térmico. Para tal, foram construídos um sistema de aquisição de dados e um circuito eletrônico capazes de extrair diferentes potências do módulo solar fotovoltaico e medir a tensão de saída, além da corrente utilizada pela resistência e a temperatura ambiente.

## MATERIAIS E MÉTODOS

O aparato experimental utilizado durante os testes foi montado em uma mesa usando perfil de alumínio com ajuste de inclinação – Figura 1. Ele foi composto por um sistema de aquisição de dados *Arduino*<sup>®</sup> com banco de resistências e um módulo solar de 10 W da marca *Kript*<sup>™</sup>. O módulo solar

fotovoltaico foi testado experimentalmente na cidade de Ponta Grossa/PR: 25° 05' 42" Sul.

Figura 1 - Aparato experimental



Fonte: Autoria Própria (2018).

Na Tabela 1 são apresentados os dados fornecidos pelo fabricante do módulo solar fotovoltaico de 10W.

Tabela 1 – Características do painel fotovoltaico

Parâmetro	Módulo Solar Fotovoltaico
Potência [W]	10
Tensão em circuito aberto [V]	22,1
Corrente em curto circuito	1,2
Tipo de Célula Solar	Silício Policristalino
Temperatura Nominal de Operação [°C]	25 ±2
Temperatura de Operação [°C]	-40 a 85

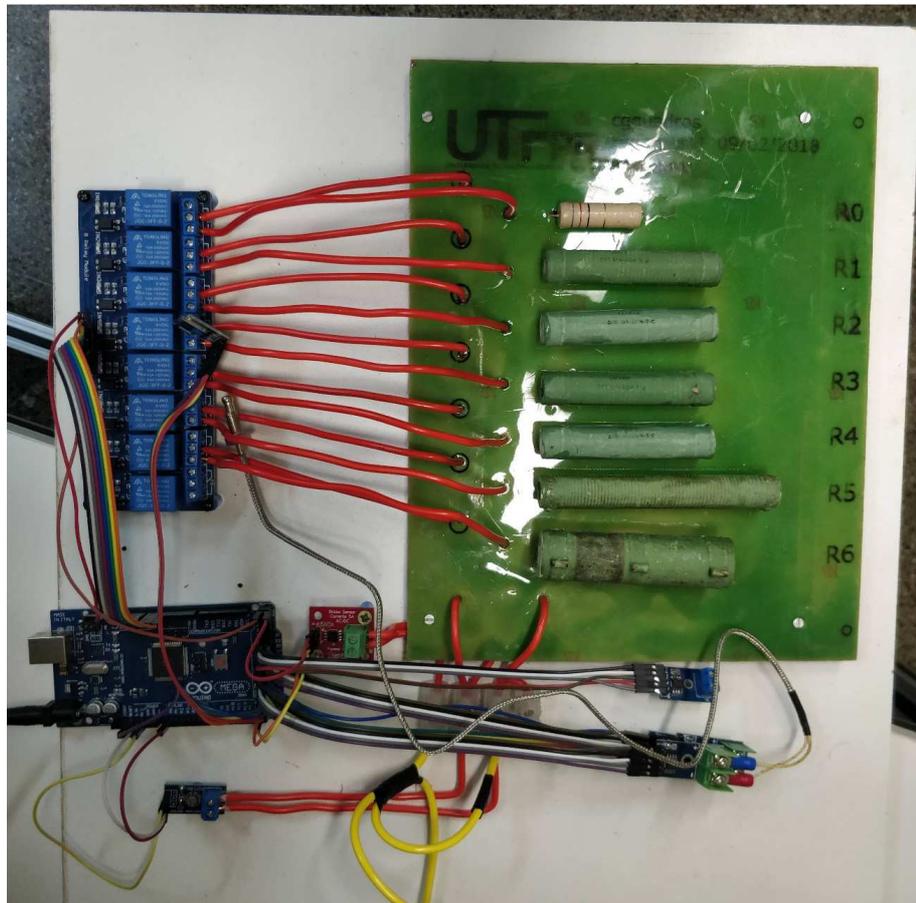
Fonte: Autoria Própria (2018).

Pode ser observado na Figura 2 o sistema de aquisição de dados composto pelo *Arduino*®MEGA2560, sensor de tensão, sensor de corrente e resistências para avaliação do comportamento do módulo solar fotovoltaico. O sensor de tensão em paralelo e o sensor de corrente em série com o sistema. Desta forma, foi possível a aquisição dos dados de tensão e corrente elétrica do módulo solar fotovoltaico durante os testes experimentais.

Para variação da carga e geração do gráfico de curva característica, conforme a incidência de luz sobre a superfície do módulo solar fotovoltaico, foi utilizado o sistema de aquisição de dados baseado em *Arduino*® e a placa de controle de resistências. Para tal, foram utilizadas sete resistências e suas associações.

Observando a Figura 2, estão dispostas resistências de  $R_0 = 75,0\Omega$ ,  $R_1 = 20,4\Omega$ ,  $R_2 = 48,0\Omega$ ,  $R_3 = 20,3\Omega$ ,  $R_4 = 49,2\Omega$ ,  $R_5 = 8,5\Omega$  e  $R_6 = 14,9\Omega$ . A função do programa carregado no *Arduino® Mega2560* foi a realização das associações possíveis pelas resistências até o valor mínimo de resistência de  $2,96\Omega$ .

Figura 2 – Aquisição de Dados Arduino



Fonte: Autoria Própria (2018).

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

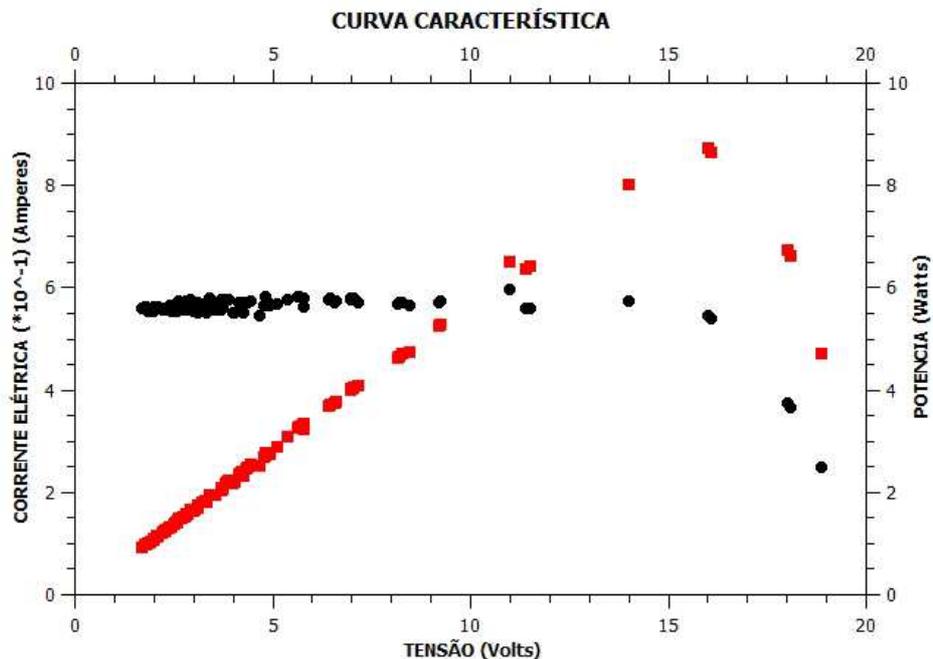
O *Arduino® MEGA2560* foi programado para obtenção dos parâmetros de tensão, corrente e temperatura durante o tempo desejado de teste experimental.

Os resultados obtidos foram gravados em um cartão SD, exportados para uma planilha de *Microsoft Excel™*, onde são apresentados os dados da seção de testes. Para que os resultados sejam de fácil visualização, foram feitas alterações na ordem dos dados para que as resistências associadas apareçam de forma crescente. Finalmente, foi traçado um gráfico de curva característica do painel usando os dados até então obtidos. Os resultados se encontram no gráfico da Figura 3.

Nota-se neste gráfico que, quanto mais para a direita menor é a resistência. Desse modo, foi observado que a corrente não aumenta substancialmente e a tensão cai drasticamente. Devido a diminuição substancial da tensão, a potência

que é produto da tensão e corrente diminui de forma considerável a energia consumida pelas resistências.

Figura 3 – Curva Característica tensão *versus* potência/corrente



Fonte: Autoria Própria (2018).

Pode-se comprovar então que existe um ponto ótimo nesse módulo solar fotovoltaico que se faz no ponto onde a potência é máxima, ou seja, no ponto mais acima do gráfico em ambas as medições. Esse ponto se dá com tensão de 16 V e corrente de 0,6 A.

## CONCLUSÕES

Neste Trabalho de Iniciação Científica foi mostrado que, apesar dos pequenos valores de potência produzida pelo sistema que foi projetado, módulos solares fotovoltaicos maiores podem ser empregados em situações nas quais o calor é dissipado para o meio sem nenhum aproveitamento.

É possível também aplicar os módulos em uma grande gama de situações que variam desde sistemas menores, com poucos módulos, até grandes sistemas, que trabalham em série com outros módulos fotovoltaicos geradores de energia.

No presente trabalho a temperatura máxima a ser atingida foi de 85 °C, pois é o limite para o módulo de energia solar utilizado. Para coleta e tratamento dos dados foi utilizado o sistema *Arduino*® e, vale lembrar que o sistema de aquisição de dados e o circuito de controle de relés podem ser utilizados em futuros trabalhos acadêmicos, uma vez que estes sistemas foram utilizados com sucesso neste trabalho no período de IC.

Por fim, o estudo deixa claro que é possível avaliar a eficiência de um módulo fotovoltaico através da utilização do sistema *Arduino*® e comparar futuros resultados com esse mesmo sistema em outros módulos solares fotovoltaicos sob outras condições de temperatura e irradiação solar.



## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Atlas de energia elétrica do Brasil**. Brasília, 2008.

CHAN, L. M. **Modelo SM50**. Disponível em:  
<<http://www.eletrica.ufpr.br/edu/Sensores/2000/luischan/>>. Acesso em: 02 jun. 2018.

CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO DE SALVO BRITO. **Tutorial de Energia Fotovoltaica**, 2006.

REN21. **Renewables 2015 Global Status Report**. Paris: REN21 Secretariat, 2015.

TINOCO, H. L. et al. Uma contribuição para o desenvolvimento sustentável: estudo experimental da influência da temperatura de operação sobre a eficiência energética de um painel solar fotovoltaico. In: ANDRADE, D. F. (Org.) **Sustentabilidade e Responsabilidade Social em Foco**. Belo Horizonte: Poisson, v.5, 2018, p. 60-68.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por ter dado força nos obstáculos enfrentados. Aos familiares pela paciência e fé no meu potencial. Ao CNPq e UTFPR. E a todos do LabCT que contribuíram para o desenvolvimento deste.