

IMPLEMENTAÇÃO DE UM PROCESSO DE CARACTERIZAÇÃO ELÉTRICA VOLTADO A MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

Luiz Fernando Oss – luiz_oss1@hotmail.com

Universidade de Caxias do Sul, Departamento de Engenharia Elétrica

Tiago Cassol Severo – tcsevero@ucs.br

Universidade de Caxias do Sul, Departamento de Engenharia Elétrica

Resumo. *Este artigo apresenta o desenvolvimento de um processo padronizado para a caracterização elétrica de módulos fotovoltaicos. O objetivo foi facilitar a realização de posteriores estudos utilizando qualquer sistema adicional de ganho de eficiência em energia elétrica voltados à módulos fotovoltaicos. Com o sistema de caracterização desenvolvido, foi realizado um estudo comparativo entre um módulo fotovoltaico convencional e o mesmo módulo com sistema híbrido de resfriamento para diferentes níveis de radiação solar e temperatura. Para realizar este estudo comparativo foi utilizado um protótipo de sistema de arrefecimento adaptado para um módulo fotovoltaico de 1470 mm x 680 mm e 140 W. Além disso, foi desenvolvido um supervisor utilizando o ambiente de desenvolvimento LabVIEW para apresentação das curvas I-V e P-V, assim como da eficiência do módulo fotovoltaico.*

Palavras-chave: *Módulos Fotovoltaicos. Eficiência. Caracterização Elétrica.*

1. INTRODUÇÃO

Com o crescimento da população mundial e aumento no consumo de energia elétrica, as organizações mundiais têm promovido discussões e estudos de desenvolvimento energético ambientalmente sustentável, inclusive de eficiência energética e inclusão de fontes renováveis de energia, conforme indica o relatório divulgado pela Empresa de Pesquisa Energética – EPE (2014). Estes tópicos também tem sido mencionados em importantes trabalhos como o *World Energy Outlook* e o *Energy Efficiency Market Report* (ambos produzidos pela *International Energy Agency - IEA*), o *Annual Energy Outlook* (elaborado pelo *Energy Information Administration/U.S DOE*) e o *Energy Efficiency Policies in the European Union* (elaborado pela ODYSSEE-MURE). Já no âmbito nacional, citam-se o Plano Decenal de Energia (PDE), o Plano Nacional de Energia 2030 (PNE) e o Plano Nacional de Eficiência Energética (PNEf). Em comum, estes trabalhos indicam a importância de repensar o consumo e geração de energia como parte estratégica para o atendimento à demanda e para a segurança energética, competitividade da economia e redução de impactos ambientais.

Conforme Empresa de Pesquisa Energética – EPE (2015), no Brasil, devido a grande disponibilidade de recursos hídricos e baixo custo de produção, a geração de energia por hidrelétricas responde por 65,2% da oferta interna. Já a energia solar, apesar de ser abundante no país, tem sido ainda de uso reduzido. Contudo, os avanços tecnológicos decorrentes da intensificação de estudos para aumento da eficiência das células fotovoltaicas e a redução de custos destes equipamentos, indicam que a energia fotovoltaica é uma opção economicamente viável para uma série de aplicações.

Neste contexto, observa-se a necessidade de maiores estudos na área de energia solar fotovoltaica que tenham como objetivo reforçar a confiabilidade dos aparelhos que fazem parte desta tecnologia. Assim, este trabalho apresenta o desenvolvimento de um processo para caracterização elétrica de módulos solares de forma a colaborar com os diversos estudos para aumento de eficiência do mesmo. Além disso, o artigo compara a eficiência de um módulo fotovoltaico operando em sistema convencional e sua eficiência em operação resfriado através de sistema híbrido fotovoltaico-térmico. A comparação entre estes módulos é realizada para diferentes níveis de radiação solar e temperatura.

Para caracterização elétrica de módulos fotovoltaicos, este trabalho apresenta a utilização do MOSFET como carga eletrônica operando na região linear para garantir o mínimo de perdas de potência durante medições. Para coleta e apresentação dos dados, o trabalho exibe o supervisor desenvolvido em *LabVIEW*. O sistema montado permite a caracterização de módulos fotovoltaicos de até 300 W.

2. SISTEMAS DE CARACTERIZAÇÃO DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

A conversão da energia solar em eletricidade depende do efeito fotovoltaico. Neste efeito, ocorre basicamente a liberação de cargas elétricas quando materiais semicondutores absorvem um fóton de luz com energia suficiente. O efeito fotovoltaico é o agente principal dos dispositivos conhecidos como células fotovoltaicas ou células solares (ZILLES et al., 2012).

As células fotovoltaicas são dispositivos elétricos compostos de uma junção pn em um elemento semiconductor com uma camada com cargas positivas e outra com cargas negativas. Quando o material recebe energia suficiente através de uma unidade luminosa, os elétrons se liberam e fluem rompendo a banda de valência e entrando na banda de condução gerando, assim, uma diferença de potencial entre as camadas positivas e negativas. Ao unir as duas extremidades a um condutor, gera-se uma corrente elétrica. Durante este processo não ocorre perda de material, sendo que a célula solar pode operar por tempo indefinido (ZILLES et al., 2012).

O módulo fotovoltaico é um agrupamento em série ou em paralelo de células fotovoltaicas. A conexão mais utilizada é em série, uma vez que possibilita aumentar a tensão do conjunto de células solares, proporcionando maior compatibilidade com as aplicações existentes.

O procedimento de caracterização de módulos fotovoltaicos prova informações importantes em relação a real condição de conversão do módulo e possível efeito de degradação. Existem diversos métodos para estes testes, sendo que o método mais simples para a caracterização é realizado utilizando um reostato como carga. Através deste método a resistência na saída do módulo varia de zero a infinito para medir os pontos de curto-circuito e de circuito aberto, Fig. 1 (SHENAWY et al., 2014).

O método de obtenção da curva I-V usando o reostato possui por característica baixa precisão e baixa uniformidade da curva. A alteração manual da carga é lenta e esta suscetível à variação da irradiação solar e da temperatura de operação do módulo durante o processo de aquisição dos dados (SHENAWY et al., 2014).

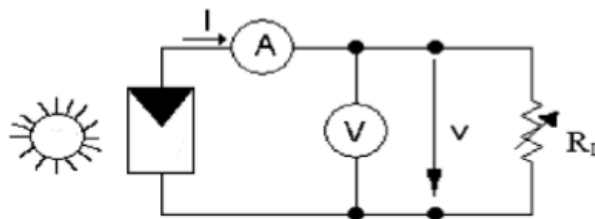


Figura 1 – Sistema de caracterização de módulo fotovoltaico usando reostato.

Outro método para caracterização de módulo fotovoltaico utiliza o capacitor para carregar o módulo alternando o estado de curto-circuito para circuito aberto. Na Fig. 2 é apresentada uma solução com o uso de banco de capacitores permitindo a alternância no valor da capacitância do circuito e uma resistência R_L utilizada para descarregar o capacitor através da chave S_3 . A curva I-V obtida através deste método é mais precisa e uniforme quando comparada com a solução usando reostato, uma vez que a aquisição é realizada em um curto período de tempo (SHENAWY et al., 2014).

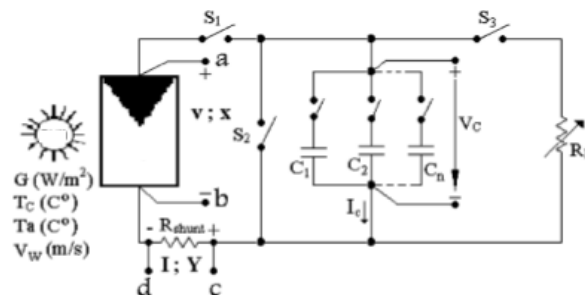


Figura 2 – Sistema de caracterização de módulo fotovoltaico usando capacitor.

Um terceiro método para caracterização de módulo fotovoltaico utiliza a carga eletrônica com o objetivo de variar a resistência em toda a faixa necessária alternando o estado de curto-circuito para circuito aberto. A vantagem deste método está relacionado ao reduzido período para aquisição dos dados. Uma forma de desenvolver uma carga variável de baixo custo é utilizando o MOSFET operando em sua região ôhmica. Na Fig. 3 é apresentada uma solução com o uso do MOSFET e sensores para aquisição dos valores da tensão e corrente durante a caracterização do módulo fotovoltaico (LEITE; CHENLO, 2010).

As características do MOSFET são apresentadas na Fig. 4 onde cada curva $I_D - V_{DS}$ (curvas azuis) é determinada de acordo com a variação da tensão entre o gatilho e a fonte (V_{GS}). A curva característica I-V do módulo fotovoltaico é apresentada em vermelho no gráfico. O ponto de operação ocorre entre a intersecção dos valores do módulo fotovoltaico com o MOSFET em uma determinada tensão de V_{GS} . Varrendo os valores de V_{GS} com um sinal adequado, o MOSFET proporciona a leitura da curva I-V entre os pontos de corrente de curto-circuito e de tensão de circuito aberto (LEITE; CHENLO, 2010).

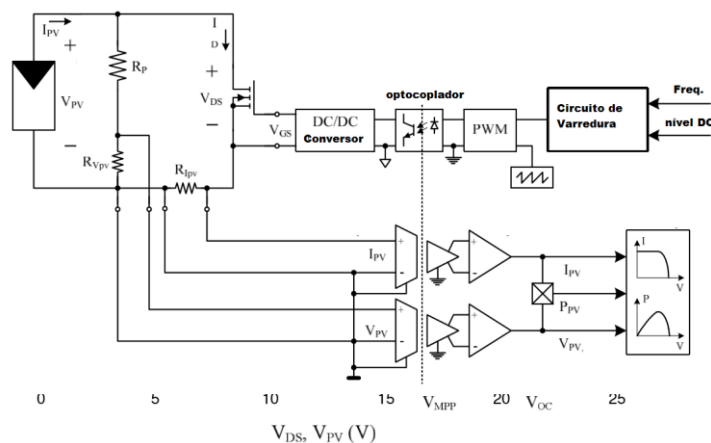


Figura 3 – Sistema de caracterização de módulo fotovoltaico usando MOSFET.

Enquanto V_{GS} é menor que o V_{TH} , o MOSFET estará desligado. Quando V_{GS} é maior que o V_{TH} , o MOSFET irá operar na região ativa onde I_D aumenta aproximadamente de forma linear com relação ao V_{GS} (LEITE; CHENLO, 2010).

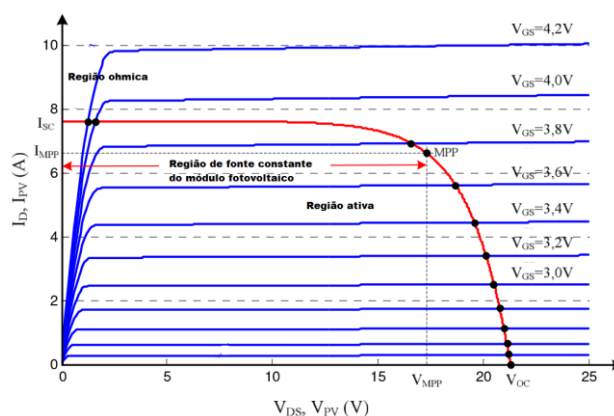


Figura 4 – Curva característica do módulo fotovoltaico (curva vermelha) e curva característica do MOSFET (curvas azuis).

3. DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO

3.1 Sistema supervisor

O sistema supervisor foi desenvolvido no *software LabVIEW* com objetivo de mostrar o comportamento das curvas I-V e P-V, apresentar os cálculos dos principais parâmetros do módulo fotovoltaico e gerar um banco de dados possibilitando análises futuras utilizando outras opções de *softwares*. Na Fig. 5 é apresentada a interface gráfica desenvolvida (OSS, 2017).

O sistema supervisor foi projetado com as seguintes interações:

- gráficos para apresentação das curvas I-V e P-V;
- gráficos para apresentação do comportamento da corrente, tensão, potência, irradiação solar e temperatura;
- campos para apresentação dos valores de eficiência, V_{oc} e I_{sc} medidos, V_{oc} e I_{sc} corrigidos conforme *datasheet* do fabricante, P_m , FF, maiores irradiações e temperaturas observadas;
- botão de “Salvar Dados” para iniciar e encerrar o período de arquivamento dos pontos medidos;
- botão para escolher o local e nome do arquivo para onde os dados serão salvos em extensão “LVM”;
- botão de “Reset” para apagar a informação da última leitura;
- botão de “Pare” para encerrar a aquisição de dados;
- botão para selecionar a porta serial a ser utilizada na aquisição dos dados.

Para tratamento digital do sinal recebido e comunicação entre a placa de aquisição de dados com a interface gráfica, foi desenvolvido um código fonte utilizando o *software Arduino*. Para implantação do sistema de aquisição de dados dos sensores de monitoramento foi utilizada a plataforma de desenvolvimento Arduino Uno.

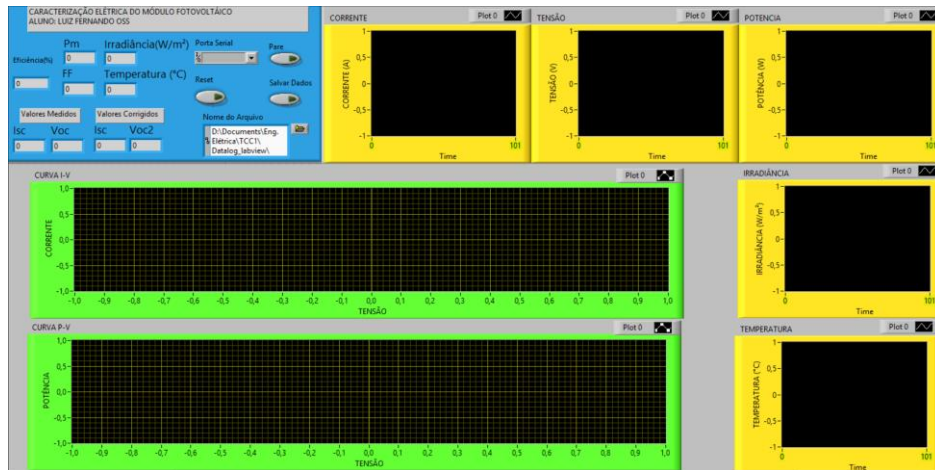


Figura 5 - Interface gráfica desenvolvida no *software LabVIEW*.

Para aquisição dos valores de corrente e tensão, foi implementado no programa em *LabVIEW* uma função que retorna o valor médio para cada 20 amostras coletadas. Para os valores de irradiação solar e de temperatura, o programa calcula a média para cada 100 amostras coletadas.

Os valores de corrente de curto-circuito, tensão de circuito aberto e potência máxima foram obtidos através da aplicação de uma função a qual retorna o maior valor amostrado dos dados coletados.

Foram incluídas no programa as Eq. (1) e Eq. (2), para correção dos valores de tensão de circuito aberto e corrente de curto-circuito conforme coeficientes de temperatura indicados no *datasheet* do fabricante.

$$V_{oc} = V_o \times (1 - (\beta \times \Delta T)) \quad (1)$$

$$I_{sc} = I_o \times (1 + (\alpha \times \Delta T)) \quad (2)$$

Onde:

V_o = tensão de circuito aberto em relação à temperatura de referência [V]

I_o = corrente de curto-circuito em relação à temperatura de referência [A]

ΔT = variação de temperatura [°C]

α = coeficientes de temperatura de I_{sc}

β = coeficientes de temperatura de V_{oc}

Para determinar os valores do fator de forma e da eficiência do módulo foram implementados cálculos no programa do *software LabVIEW* conforme Eq. (3) e Eq. (4).

$$FF = \frac{P_m}{I_{sc} \times V_{oc}} \quad (3)$$

$$\eta = \frac{P_m}{G \times A_c} \quad (4)$$

Onde:

V_{oc} = tensão de circuito aberto [V]

I_{sc} = corrente de curto-circuito [A]

P_m = ponto de potência máxima [W]

FF = fator de forma

η = eficiência [%]

G = irradiação solar [W/m²]

A_c = área do módulo fotovoltaico [m²]

A montagem dos sensores utilizados para caracterização da curva I-V foi realizada conforme Fig. 6. Para medir a corrente gerada pelo módulo fotovoltaico foi utilizado um *drive* com o sensor de corrente Allegro ACS714. Para medir a tensão gerada pelo módulo fotovoltaico foi utilizado um *drive* divisor de tensão montado com resistores de alta precisão gerando níveis de tensão de saída compatíveis com a placa de aquisição de dados. Para verificação da temperatura de operação na superfície do módulo fotovoltaico, foi acoplado um sensor LM35 em contato com o módulo

fotovoltaico. Para medição da radiação solar foi utilizada uma célula padrão como referência previamente calibrada no Núcleo de Tecnologia em Energia Solar da PUCRS.

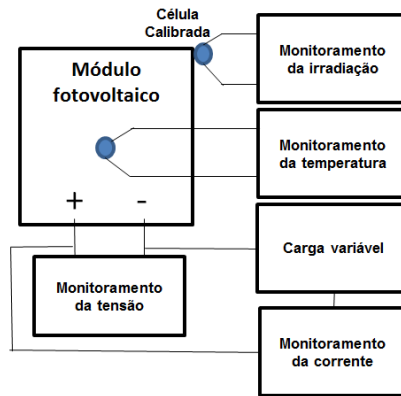


Figura 6 – Montagem do sistema de caracterização da curva I-V.

Para o estágio de comando foi utilizado o componente um MOSFET modelo IRFP260N com uma capacidade de dissipação de até 300 W. Este MOSFET é capaz de suportar uma corrente de até 50 A e possui uma resistência interna de apenas 0,04 Ω .

Para o estágio de comando da carga eletrônica foi proposto o circuito conforme Fig. 7. (OSS, 2017) O projeto utilizou um circuito integrado ULN2803A com 8 transistores *Darlington* de forma a promover um ganho para o acionamento do gatilho do MOSFET. O objetivo deste circuito é aplicar uma corrente constante em um capacitor de 1000 μ F fazendo com que a tensão entre o gatilho e a fonte alterne lentamente garantindo uma tensão linear. A caracterização do módulo ocorre durante a descarga deste capacitor.

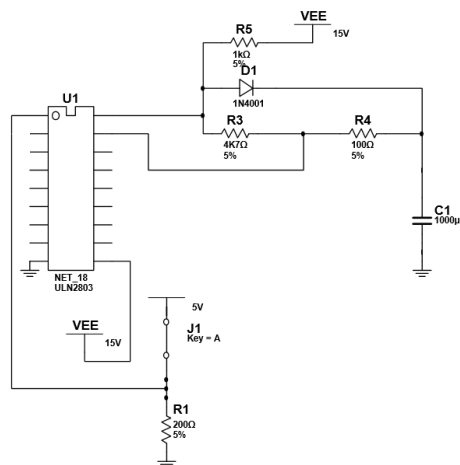


Figura 7- Circuito do estágio de comando da carga eletrônica.

Para verificar o comportamento do sistema de aquisição montado, foram realizados ensaios de validação. Os transitórios da corrente e tensão entre o estado de curto-circuito e circuito aberto foram caracterizados entre os pontos 11 e ponto 26 em um período de aproximadamente 55 ms, Fig. 8 (OSS, 2017).

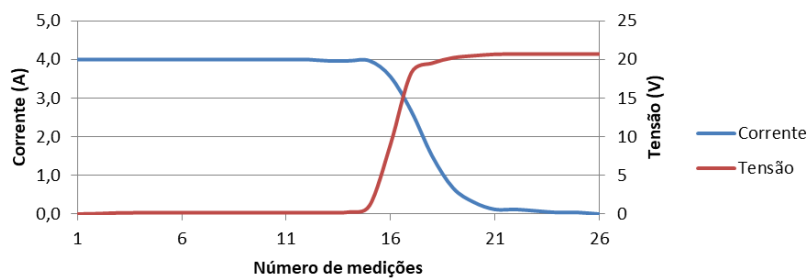


Figura 8 – Transitório entre curto-circuito e circuito aberto.

4. RESULTADOS

Para validação do sistema de aquisição foram realizadas medições variando o fator de irradiação solar adquirindo os valores de tensão e corrente em diferentes momentos do dia. As medidas foram coletadas entre às 11h e 16h. Foram selecionadas 5 condições com níveis de irradiação solar distintas, Tab. 1.

Tabela 1 - Variação dos fatores para experimento com módulo convencional.

Condição	Irradiação Solar (W/m ²)	Temperatura (°C)
1	1060	56,6
2	1050	60,3
3	800	49,8
4	670	52,1
5	630	46,5

Os dados coletados pelo sistema implementado de aquisição de dados foram salvos em um arquivo de extensão txt e exportados para o Excel para análise. Com os resultados das medições realizadas para cada condição testada, foram gerados os gráficos com as curvas I-V e P-V, Fig. 9 e Fig. 10 respectivamente.

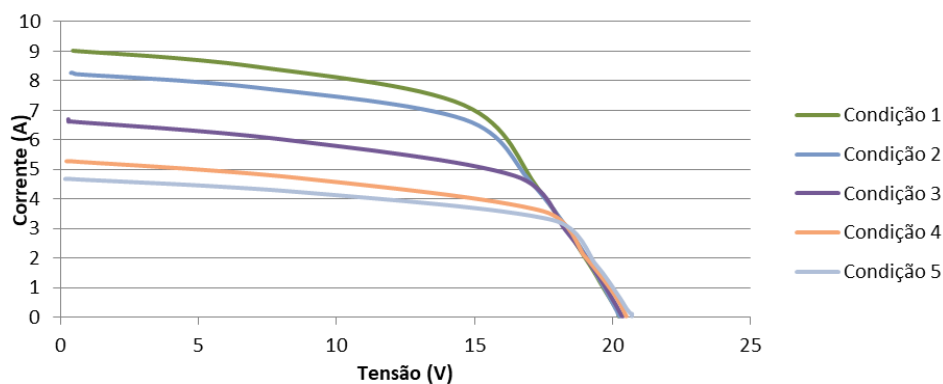


Figura 9 – Variação da curva I-V conforme irradiação solar e temperatura.

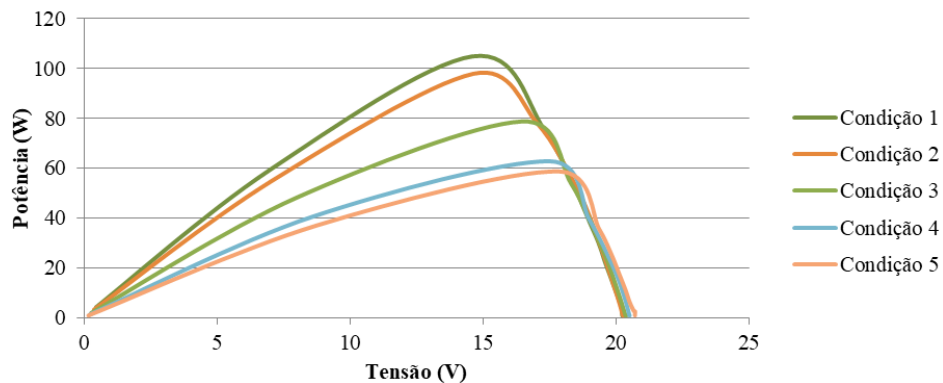


Figura 10 – Variação da curva P-V conforme irradiação solar e temperatura.

Em análise do gráfico, apresentado na Fig. 9, foi visualizado o impacto da intensidade da irradiação solar na curva I-V. Quanto menor a irradiação, menor é a corrente de curto-circuito do módulo. Observou-se também que o valor de tensão de circuito aberto não foi totalmente atingido devido o módulo ser carregado através dos resistores do sensor de tensão, os quais permitem a passagem de uma pequena corrente de aproximadamente 4 mA. De mesma forma, o valor da corrente de curto-circuito também não foi totalmente atingido devido à resistência interna do MOSFET de 0,04 Ω .

A Tab. 2 apresenta os valores de corrente de curto-circuito e de tensão de circuito aberto, para cada uma das condições de teste, e apresenta um comparativo com valores de referência. Como referências foram utilizados valores obtidos através de simulação no *software* PSIM e valores do *datasheet* do fabricante do módulo. Para os valores do *datasheet*, foi necessário realizar correções considerando os parâmetros de temperatura e irradiação medidos durante os ensaios conforme Eq. (1) e Eq. (2). Os coeficientes de temperatura de I_{sc} e de V_{oc} utilizados para as correções foram respectivamente 0,06 e -0,33.

Tabela 2 – Comparativo das medidas de corrente de curto-circuito e de tensão de circuito aberto com valores de referência.

Condição	Valor Medido		Valor Corrigido		Valor Simulado	
	I_{sc} (A)	V_{oc} (V)	I_{sc} (A)	V_{oc} (V)	I_{sc} (A)	V_{oc} (V)
1	9,2	19,98	8,82	19,96	8,96	20
2	8,27	20,27	8,33	19,68	8,88	19,99
3	6,7	20,32	6,62	20,46	6,55	20,23
4	5,28	20,65	5,29	20,29	5,69	19,88
5	4,68	20,4	4,71	20,70	5,32	20,11

Conforme a Tab. 2, a máxima variação entre os valores medidos e os valores corrigidos para tensão de circuito aberto foi de 3% para condição de ensaio 2 (diferença percentual entre o valor medido de 20,27 V e valor corrigido de 19,68 V). Para a corrente de curto-circuito, esta variação foi de no máximo 4% para condição 1 (diferença percentual entre o valor medido de 9,2 A e valor corrigido de 8,82 A).

Com o objetivo de desenvolver um estudo comparativo de desempenho entre um módulo fotovoltaico convencional e o mesmo módulo com sistema híbrido de resfriamento adaptado, foram realizadas novas utilizando o sistema de arrefecimento abastecido com água. O sistema de arrefecimento funciona por termossifão onde o fluido frio sai do reservatório separado por convecção natural e o fluido aquecido pelo calor proveniente do Sol que incide sobre o coletor retorna para o reservatório. O módulo fotovoltaico é posicionado sobre o coletor solar. A circulação da água reduz a temperatura do módulo fotovoltaico, Fig. 11.

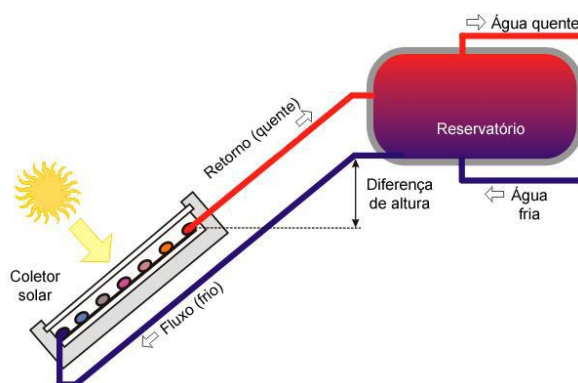


Figura 11 – Sistema de termossifão.

O segundo teste foi realizado no mesmo local que o primeiro e com condições climáticas semelhantes. Para simular o módulo convencional, este foi removido do sistema de arrefecimento e posicionado sobre uma plataforma com mesmo ângulo de inclinação de 30°. Desta forma, foi possível proporcionar diferentes condições variando a irradiação solar através das medições ao longo do dia e a temperatura operando com módulo convencional ou híbrido conforme apresentado na Tab. 3.

Tabela 3 – Variação dos fatores para experimento com módulo convencional e híbrido.

Condição	Módulo	Irradiação Solar (W/m^2)	Temperatura ($^{\circ}C$)
1	Convencional	1050	60,8
2	Híbrido	1030	39,0
3	Convencional	890	60,6
4	Híbrido	880	36,9
5	Convencional	800	49,1
6	Híbrido	735	40,3

Na Fig. 12 é apresentada a curva I-V para as condições 1 e 2 com irradiação solar próximo a 1000 W/m^2 . A temperatura variou em 21,8 $^{\circ}C$ quando alternando entre módulo convencional e híbrido.

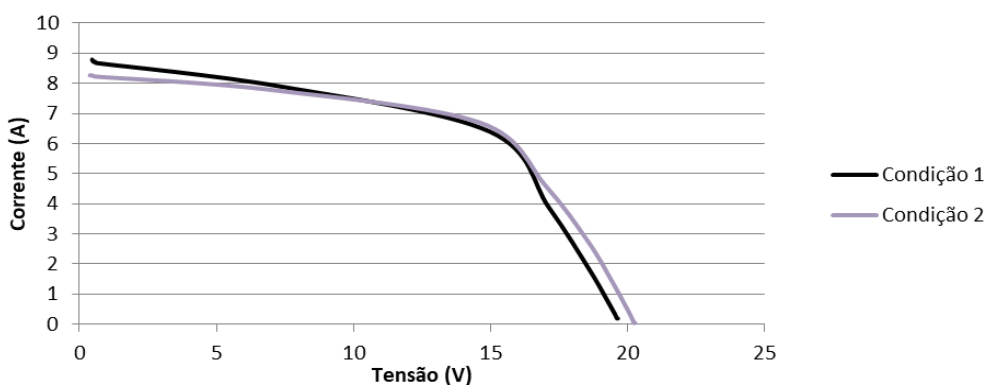


Figura 12 – Comparação das curvas I-V entre módulo convencional e híbrido para alto nível de irradiação solar.

A condição 2 do experimento apresentou uma menor corrente de curto-circuito com relação à condição 1 (variação de 0,52 A), uma vez que a irradiação solar apresentou uma pequena redução de 20 W/m² entre os momentos da coleta. Porém, a condição 2 apresentou uma tensão de circuito aberto maior (variação de 0,63 V) devido à temperatura reduzida de operação.

Na Fig. 13 é apresentada a curva I-V para as condições 3 e 4 com irradiação solar próximo a 900 W/m². A temperatura variou em 23,7 °C quando alternando entre módulo convencional e híbrido.

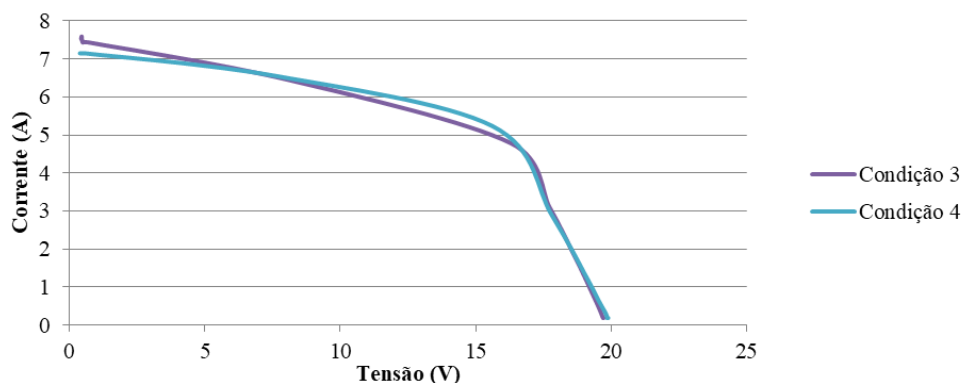


Figura 13 – Comparação das curvas I-V entre módulo convencional e híbrido para nível médio de irradiação solar.

A condição 4 do experimento apresentou uma menor corrente de curto-circuito com relação à condição 3 (variação de 0,44 A), uma vez que a irradiação solar apresentou uma pequena redução de 10 W/m² entre os momentos da coleta. Porém, a condição 4 apresentou uma tensão de circuito aberto maior (variação de 0,17 V) devido à temperatura reduzida de operação.

Na Fig. 14 é apresentada a curva I-V para as condições 5 e 6 com irradiação solar próximo a 800 W/m². A temperatura variou em 8,8 °C quando alternando entre módulo convencional e híbrido.

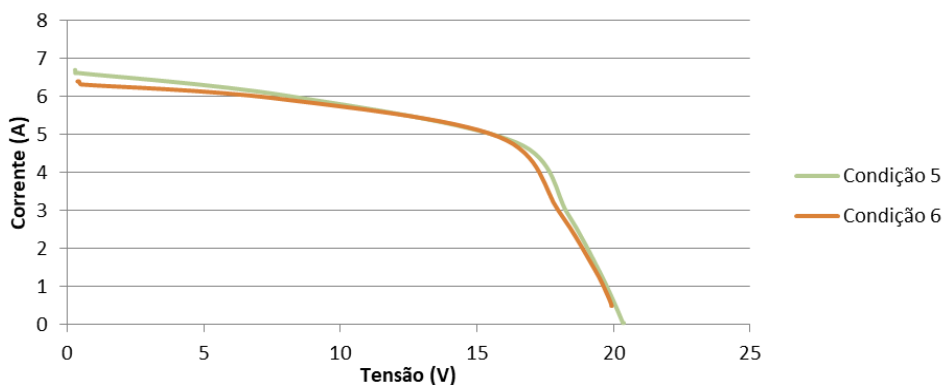


Figura 14 – Comparação das curvas I-V entre módulo convencional e híbrido para nível baixo de irradiação solar.

A condição 6 do experimento apresentou uma menor corrente de curto-circuito com relação à condição 5 (variação de 0,3 A), uma vez que a irradiação solar apresentou uma redução de 65 W/m² entre os momentos da coleta. Para este teste, a condição 5 apresentou uma tensão de circuito aberto maior (variação de 0,42 V) devido à variação da temperatura entre as condições de módulo convencional e híbrido ser menor que nas situações anteriores. A variação menor da temperatura ocorreu porque o intervalo entre as medidas das condições 5 e 6 foi menor que nas condições anteriores. Ao final da tarde a redução da irradiação solar se intensificou e o objetivo do experimento foi de avaliar a curva I-V em níveis de irradiação o mais próximo possível.

Na Tab. 4 é apresentado o resultado da eficiência para cada condição de teste.

Tabela 4 – Análise da eficiência para módulos convencional e híbrido para diferentes condições de irradiação solar e temperatura.

Condição	Módulo	Irradiação Solar (W/m ²)	Temperatura (°C)	Eficiência (%)
1	Convencional	1050	60,8	9,13
2	Híbrido	1030	39,0	9,51
3	Convencional	890	60,6	8,77
4	Híbrido	880	36,9	9,30
5	Convencional	800	49,1	9,85
6	Híbrido	735	40,3	10,62

Em comparação dos resultados da eficiência para cada condição de teste, observou-se que para um elevado nível de irradiação solar pouco superior a 1000 W/m², obteve-se um ganho de eficiência de 0,38% com o uso do módulo híbrido. Para um nível médio de irradiação solar próximo a 900 W/m², obteve-se um ganho de eficiência de 0,53% e, para um nível inferior de irradiação solar próximo a 800 W/m², obteve-se um ganho de eficiência de 0,77%.

5. CONCLUSÕES

Durante o desenvolvimento deste trabalho, foi possível observar as características elétricas de um módulo fotovoltaico e o comportamento da curva I-V variando os parâmetros de irradiação solar e de temperatura de operação do módulo. Um dos pontos principais deste trabalho foi à utilização de uma carga eletrônica composta por um MOSFET como etapa de potência. Com esta proposta, foi possível variar a resistência de forma linear durante a transição de curto-circuito até o circuito aberto sem perdas significativas devido à baixa resistência interna do MOSFET de apenas 0,04 Ω.

A caracterização do módulo fotovoltaico com iluminação natural mostrou-se, ao final dos experimentos realizados, aplicável para fins comparativos entre projetos com proposta de ganho de eficiência. Com a metodologia adotada fixando faixas aproximadas de temperatura e irradiação solar, foi realizado um estudo comparativo entre um módulo convencional e o mesmo módulo operando adaptado a um sistema de arrefecimento previamente montado para fins de ganho de eficiência através da redução da temperatura de operação do módulo. Como resultado deste estudo comparativo, o máximo ganho de eficiência em relação ao módulo convencional foi de 0,77% e a redução máxima de temperatura foi de 23,4 °C.

Para projetos futuros pode-se citar a possibilidade de utilizar uma plataforma para aquisição de dados de maior resolução visando aumentar a taxa de amostragem e aprimorar o projeto do estágio de comando do MOSFET com o objetivo de aumentar o tempo de amostragem. É sugerido que estudos futuros utilizem um sistema de caracterização validado em laboratório certificado ou um módulo fotovoltaico com curvas I-V conhecidas para comparação e validação do sistema de caracterização desenvolvido. Outra proposta é de projetar um sistema de controle de temperatura capaz de manter a temperatura de operação do módulo em 25 °C com o objetivo de fixar esta variável para testes em ambiente natural. Por fim, sugere-se o desenvolvimento de um projeto eletrônico para um sistema de aquisição de dados autônomo alimentado por baterias com o objetivo de melhorar a mobilidade dos testes.

Agradecimentos

Os autores do trabalho agradecem a infraestrutura cedida pela Universidade de Caxias do Sul e a medição da célula padrão pelo Núcleo Tecnológico de Energia Solar da PUCRS.

REFERÊNCIAS

- Duffie, J. A.; Beckman, W. A., 2013. Solar engineering of thermal process. 4 ed. Hoboken.
 Ingeniería Sin Fronteras, 1999. Energía solar fotovoltaica y cooperación al desarrollo. Madrid: IEPALA.
 Leite, V.; Chenlo, F., 2010. An improved electronic circuit for tracing the IV characteristics of photovoltaic modules and strings. International Conference on Renewable Energies and Power Quality. Espanha: Granada.
 Lopez, R. A., 2012. Energia solar: para produção de eletricidade. São Paulo: Artliber.

- Oss, L. F., 2017. Implementação de um processo de caracterização elétrica voltado a módulos fotovoltaicos. Monografia de Graduação, UCS, Bento Gonçalves.
- Severo, T. C., 2005. Desenvolvimento do módulo fotovoltaico concentrador estático helius para sistemas autônomos. 104 p. Dissertação de Mestrado, PGETEMA, PUC, Porto Alegre.
- Shenawy, E.T.EL.; Esmail, O.N.A.; Elbaset, A. A.; Hamed, H. F. A., 2014. Simple and accurate I-V measuring circuit for photovoltaic applications. Egito.
- Tselepis, S.; Tripanagnostopoulos, Y., 2002. Economic analysis of hybrid photovoltaic/thermal solar systems and comparison with standard pv modules. ResearchGate, Atenas. Disponível em: <<https://www.researchgate.net>>. Acesso em: 24 set. 2016.
- Zilles, R.; Macêdo, W. N.; Galhardo, M. A. B.; Oliveira, S. H. F., 2012. Sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica. São Paulo: Oficina de Textos.

IMPLEMENTATION OF AN ELECTRICAL CHARACTERIZATION PROCESS TO PHOTOVOLTAIC MODULES

Abstract. *This paper presents the development of a standard process to electrical characterization for photovoltaic modules. The goal was to facilitate future studies using any additional efficiency gain system of electrical energy for photovoltaic modules. With the characterization system ready, it was performed a comparative study between a conventional photovoltaic module and the same module with a hybrid cooling system to different levels of solar radiation. To realize this comparison, it was used a prototype of cooling system adapted to a photovoltaic module of 1470 mm x 680 mm and 140 W. It was developed a supervisory system using the software LabVIEW to presentation of the curves I-V and P-V as well as the module efficiency.*

Key words: *Photovoltaic Modules. Efficiency. Electric Characterization.*