

SISTEMA DE BAIXO CUSTO PARA DETERMINAÇÃO DA CURVA CARACTERÍSTICA V-I DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS

Nélio N. Lima, Luis C. G. Freitas, Luis C. de Freitas, João B. V. Junior, Gustavo M. Buiatti, Ernane A. A. Coelho

Universidade Federal de Uberlândia, NUPEP, Uberlândia – MG, nelioneves@gmail.com, ernane@ufu.br

Resumo - O objetivo deste trabalho é a apresentação de um sistema de caracterização de painéis fotovoltaico para a detecção de falhas. O sistema desenvolvido é baseado no conversor boost operando como carga eletrônica controlada, que é capaz operar em todos os valores de tensão e corrente do painel. Desta forma é possível se obter a curva característica V-I do mesmo, que foi o parâmetro escolhido para determinar se o painel opera com sobreamento parcial, que pode afetar negativamente algoritmos de MPPT tradicionais.

Palavras-Chave - Caracterização de painéis solares, carga eletrônica, conversor boost.

CHARACTERIZATION SYSTEM OF PHOTOVOLTAIC PANELS

Abstract - The objective of this study is to present a system for the characterization of photovoltaic panels for fault detection. The system is designed based on the boost converter operating as a controlled electronic charge, which is able to operate in all the values V-I of voltage and current of the panel. Thus it is possible to obtain VI characteristic curves, which was the parameter for determining if the panel operates with partial shade, which can negatively affect traditional MPPT algorithms.

Keywords - PV Module Characterization, Electronic load, Boost Converter.

I. INTRODUÇÃO

O uso de painéis fotovoltaicos em sistemas de geração tem aumento significativo, como por exemplo, nos Estados Unidos onde a quantidade de painéis instalados mais que dobrou entre 2010 e 2011 (Hull, 2012). Este crescimento expõe a necessidade de sistemas de caracterização de painéis *in-loco* para a detecção de eventuais defeitos ou sobreamentos causados por objetos, os quais prejudicam a produção de energia elétrica; ou ainda para uso em algoritmos de “Maximum Power Point Tracking” (MPPT).

Várias são as formas de caracterização de painéis fotovoltaicos (Silvestre, 2007), entre elas há a curva V-I, a qual será explorada neste trabalho. Embora esta curva não

represente o comportamento dinâmico do painel, permite identificar distúrbios causados por sobreamento parcial persistente, oriundo de sujeira sobre o painel (Patel & Agarwal, 2008).

O sistema de caracterização desenvolvido é baseado em uma carga eletrônica controlada que pode substituir os sistemas de caracterização de painéis convencionais disponíveis no mercado, os quais apresentam um custo superior.

Tradicionalmente o conversor *Buck* é utilizado como carga eletrônica para painéis fotovoltaicos (Kazerani, 2007), mas para este trabalho foi usado um conversor *Boost*, devido a sua entrada operar como fonte de corrente, ou seja, uma corrente em condução contínua no indutor implica condução contínua para a corrente de entrada.

II. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é a criação de um sistema de caracterização de painéis fotovoltaicos de baixo custo, que apresente comunicação com um computador host e mostre o gráfico da curva V-I do painel. Esta curva será usada para a determinação de eventuais falhas por sobreamento parcial em painéis.

III. SISTEMA PROPOSTO

O sistema proposto utiliza dois painéis fotovoltaicos Kyocera KD135SX-UPU conectados em série como entrada da carga eletrônica (conversor *boost*). As características destes painéis são mostradas na Tabela 1, considerando uma radiação de 1000 W/m² e temperatura de célula de 25°C.

Estes painéis foram colocados em uma base fixa, no topo do prédio do Núcleo de Pesquisa em Eletrônica de Potência (NUPEP) da UFU. São oito painéis ao todo, organizados em quatro pares constituídos de módulos em série. Cada par pode ser acessado de forma independente dos outros.

Tabela 1 - Especificações Elétricas (KYOCERA)

Máxima Potência	135 W
Tolerância	±5%
Tensão de Máxima Potência	17.7 V
Corrente de Máxima Potência	7.63 A
Tensão de Circuito Aberto	22.1 V
Corrente de Circuito Aberto	8.37 A
Tensão Máxima do Sistema	600 V
Coef. de Temp. da Corrente (Icc)	5.02x10 ⁻³ A/°C
Coef. de Temp. da Tensão (Vca)	-8.0x10 ⁻² V/°C

O sistema completo foi simulado utilizando o software PSIM®, conforme apresenta a Figura 1.



X CEEL - ISSN 2178-8308
24 a 28 de setembro de 2012
Universidade Federal de Uberlândia - UFU
Uberlândia - Minas Gerais - Brasil

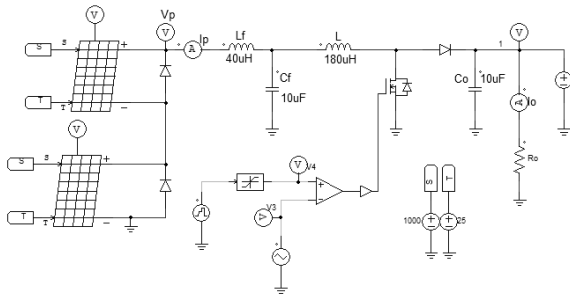


Figura 1 - Sistema de Caracterização de Painéis Fotovoltaicos.

Para que se pudesse controlar a corrente injetada na carga resistiva R_o por meio de chaveamento do MOSFET, foi necessário inserir uma fonte DC na saída. O objetivo desta fonte é polarizar reversamente o diodo. Desta forma, os painéis não alimentam a carga resistiva durante a partida do sistema, onde a corrente deve ser nula.

O software PSIM fornece a ferramenta “Solar Module (physical model)” onde se pode entrar com os dados do painel para se obter os parâmetros. As Figuras de 2 a 5 apresentam uma comparação entre a curva obtida pela ferramenta e a curva obtida através da simulação do modelo.

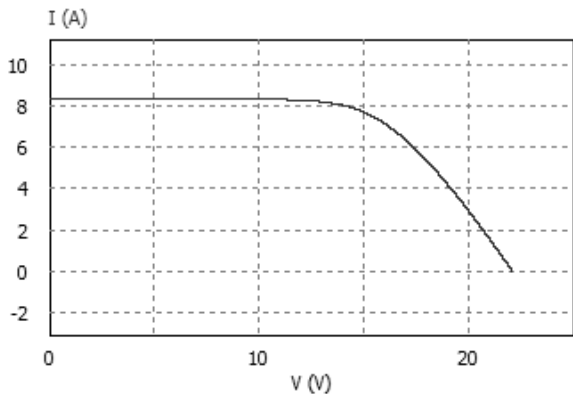


Figura 2 - Curva V-I obtida pela ferramenta Solar Module do PSIM

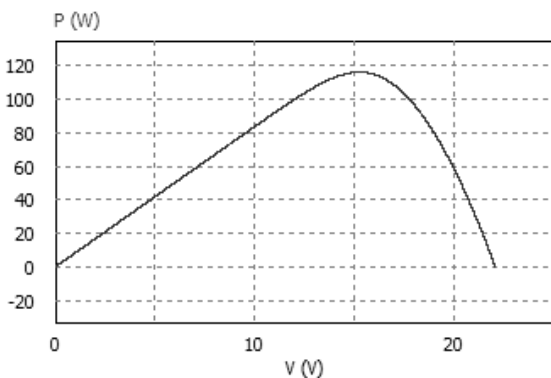


Figura 3 - Curva V-P obtida pela ferramenta Solar Module do PSIM.

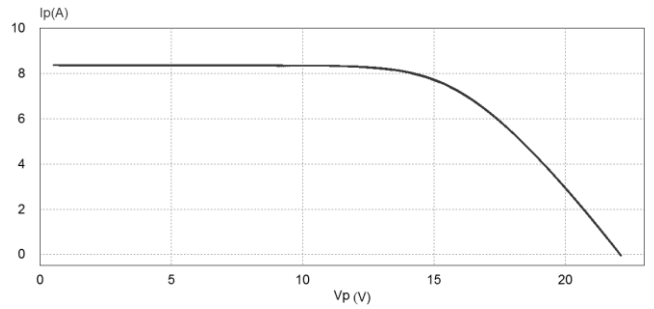


Figura 4 - Curva V-I obtida através da simulação do modelo do sistema de caracterização desenvolvido.

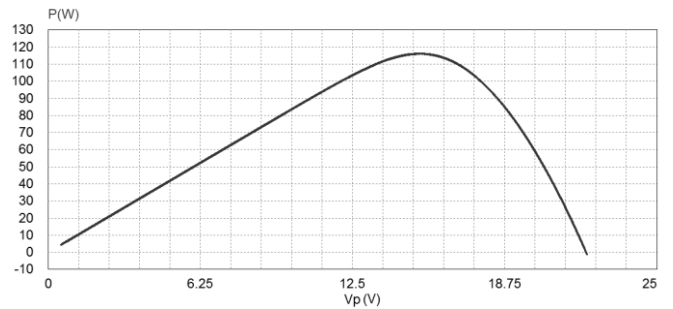


Figura 5 - Curva V-P obtida através da simulação do sistema de caracterização desenvolvido.

IV. SISTEMA DE CARACTERIZAÇÃO

O controle do conversor *boost*, assim como a comunicação com o computador *host*, foi feita com o microcontrolador de 32 bits Microchip® PIC32MX795F512, 80 MHz, arquitetura Harvard, 512K de Flash e 128K RAM, com ADC de 16 canais de 10 bits (MICROCHIP), mostrado na Figura 6.

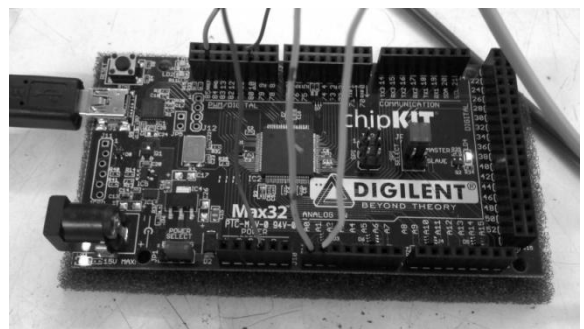


Figura 6 - Microcontrolador PIC32MX795F512.

O fluxograma do código usado no microcontrolador é apresentado na Figura 7.

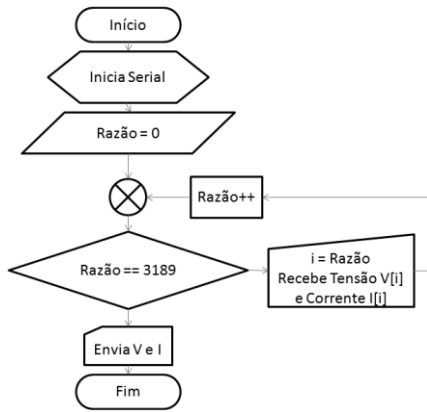


Figura 7 - Fluxograma.

O microcontrolador controla a razão cíclica do conversor, recebe os dados e envia os valores de tensão (V) e corrente (I) ao Matlab®, que irá traçar a curva V-I.

Um sistema supervisor foi desenvolvido com a ferramenta GUIDE do Matlab para que fosse feita a integração com o microcontrolador. Este sistema é mostrado na Figura 8.

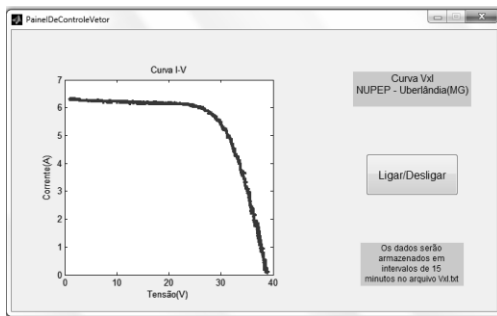


Figura 8 - Sistema de interface com GUI.

O sistema mostrado na Figura 8 aciona o microcontrolador a cada quinze minutos, iniciando o processo de aquisição. Os valores de tensão e corrente são enviados ao GUIDE, que mostra em sua tela o gráfico V-I da última aquisição. Os valores de tensão, corrente e horário da medição também são gravados em arquivo em formato texto, para que possam ser usados em uma posterior verificação.

V. RESULTADOS

Para a realização dos testes, alguns painéis receberam a aplicação de sombra forçada de tamanhos diferenciados, conforme é apresentado na Figura 9.

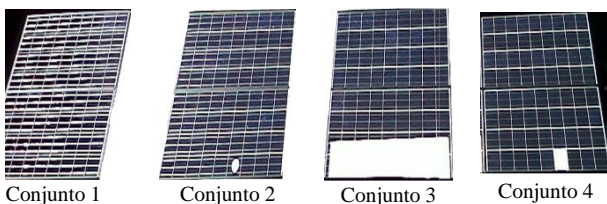


Figura 9 - Painéis fotovoltaicos sobre o prédio do NUPEP.

Conforme se pode observar, o primeiro conjunto (conjunto 1) de painéis, da esquerda para a direita, não apresenta sombra forçada. O segundo conjunto (conjunto 2) apresenta uma sombra em forma de circunferência que não cobre totalmente uma célula, com raio de aproximadamente 8 cm. O terceiro (conjunto 3) apresenta uma sombra que cobre completamente a primeira e parcialmente a segunda fileira de células, de aproximadamente 67x30 cm. O quarto conjunto (conjunto 4) de painéis apresenta uma sombra que cobre completamente uma célula, de 16x16 cm.

As curvas obtidas com o sistema de caracterização desenvolvido foram comparadas com as curvas obtidas pelo analisador Mini-KLA da empresa Ingenieurbüro®, apresentado na Figura 10. As características deste equipamento são mostradas na Tabela 2.



Figura 10 - Mini-KLA (Ingenieurbüro).

Tabela 2 - Especificações técnicas do Mini-KLA (Ingenieurbüro)

Mini-KLA	Standard
Current Range	4 and 8 A
Voltage Range	30, 60 and 120 V
Port:	RS232
Supply	NiCd
Memory	25 curves
Accessories	Si-Sensor, Software

Conforme se pode observar na Tabela 2, o Mini-KLA possui uma limitação de 8 A de corrente e tensão máxima de 120 V.

O primeiro teste realizado foi com a série de dois painéis sem sombra (conjunto 1). A Figura 11 apresenta a curva obtida pelo sistema de caracterização desenvolvido, e a Figura 12 apresenta a curva obtida através do Mini-KLA.

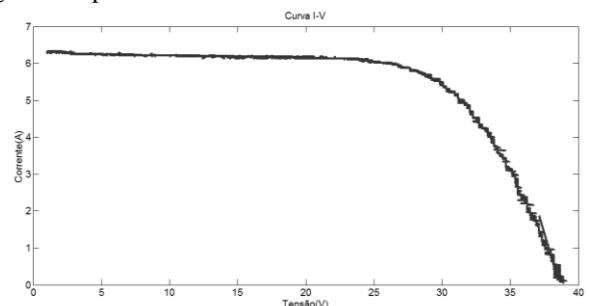


Figura 11 - Curva V-I para série de painéis sem sombra obtida pelo sistema desenvolvido.

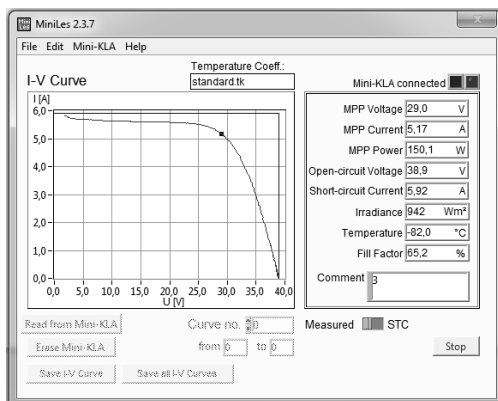


Figura 12 - Curva V-I para série de painéis sem sombra obtida pelo analisador Mini-KLA.

A Figura 13 apresenta a potência em função da tensão do sistema de caracterização.

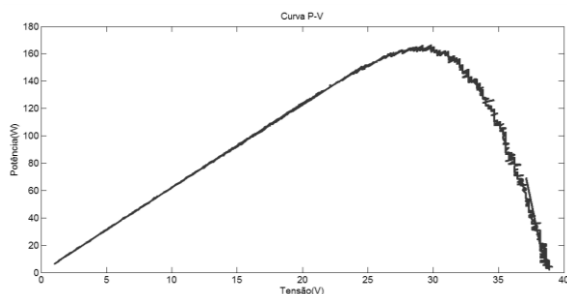


Figura 13 - Potência em função da tensão obtida através do sistema de caracterização.

A diferença entre as medidas do sistema de caracterização e do Mini-KLA se deve a não simultaneidade do processo de caracterização, tornando os resultados sujeitos à variação da radiação solar entre o tempo de conexão de um e outro equipamento. O ruído presente na medida do sistema de caracterização é decorrente da precisão das medidas, que foram feitas usando um conversor AD de 10 bits e um sensor regulado para um sistema bipolar.

A Figura 14 apresenta a curva obtida pelo sistema de caracterização para o segundo conjunto de painéis, que contém a sombra circular, mostrado na Figura 9.

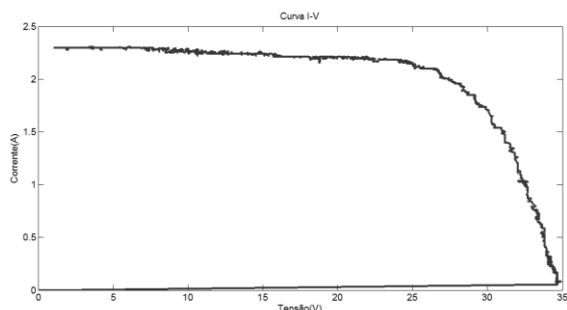


Figura 14 - Curva V-I para série de painéis com sombra circular, obtida pelo sistema desenvolvido.

A Figura 15 apresenta a curva obtida para o conjunto 2 com o Mini-Kla.

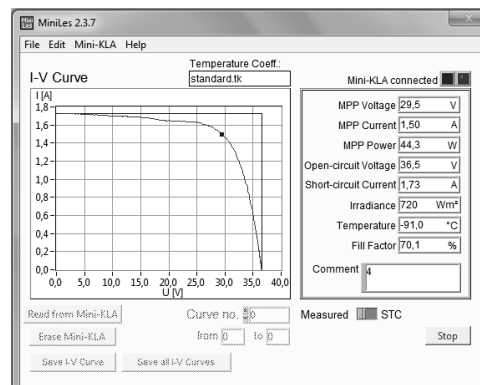


Figura 15 - Curva V-I do Conjunto 2 obtida com o analisador Mini-KLA.

A Figura 16 apresenta a potência fornecida pelo painel durante a caracterização. Observa-se que o ponto de máxima potência apresenta um valor próximo ao encontrado com o Mini-KLA na Figura 15. Assim como no resultado anterior, a diferença de valores é decorrente da assincronia das caracterizações.

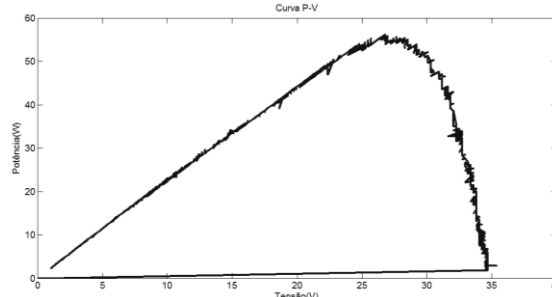


Figura 16 - Potência obtida através do sistema de caracterização para o conjunto 2 de painéis.

Conforme pode-se observar na Figura 15, há uma queda no valor da corrente para valores de tensão maiores que 15 V. Efeito também observado na Figura 14. No entanto, o sistema desenvolvido apresenta esta queda de forma mais visível para uma radiação maior, conforme pode ser visto na Figura 17.

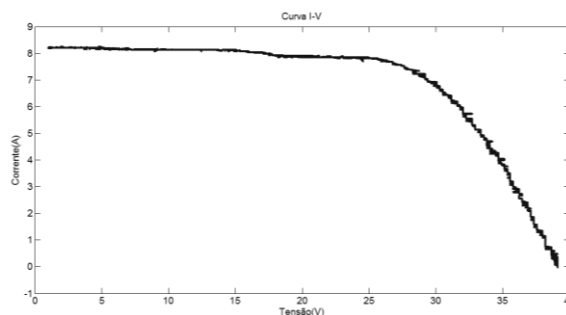


Figura 17 - Curva V-I obtida para o conjunto 2 de painéis sob incidência maior de raios solares.

Pode-se observar na Figura 17 uma queda da corrente para valores de tensão entre 15 e 20 V, semelhante as curvas apresentadas nas Figuras 14 e 15. No entanto, o Mini-KLA não foi capaz de obter os dados no momento em que a Figura 17 foi realizada, pois como pode-se observar, a corrente

atinge um valor maior que 8 A. Valor esse, maior que o máximo para o Mini-KLA, conforme Tabela 2.

A seguir foi realizado o teste para o conjunto 3, onde há uma sombra forçada com área maior que as duas anteriores. A curva V-I obtida pelo sistema de caracterização é mostrada na Figura 18.

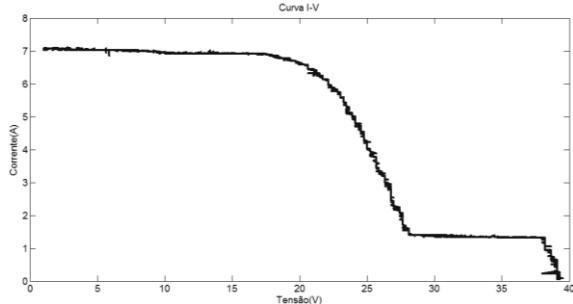


Figura 18 - Curva V-I para o conjunto 3 obtida pelo sistema de caracterização.

O conjunto 3 apresenta, em sua curva característica V-I, uma queda acentuada de corrente para os valores de tensão entre 20 e 30 V. Isto se deve os diodo de *bypass* do painel que possui a sombra forçada. A Figura 19 apresenta a curva V-I obtida pelo Mini-KLA.

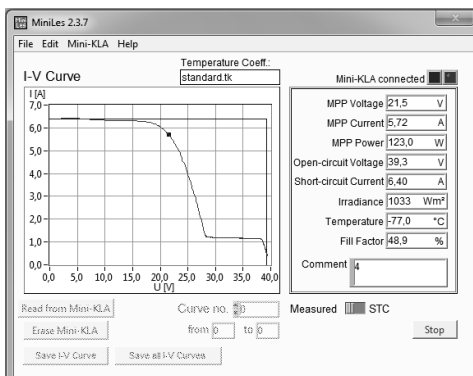


Figura 19 - Curva V-I do conjunto 3 obtida pelo Mini-KLA.

A Figura 20 apresenta a curva da potência em função da tensão, onde pode se observar o efeito de máximo global para os valores de tensão entre 20 e 25 V, e também o máximo local entre 35 e 40 V.

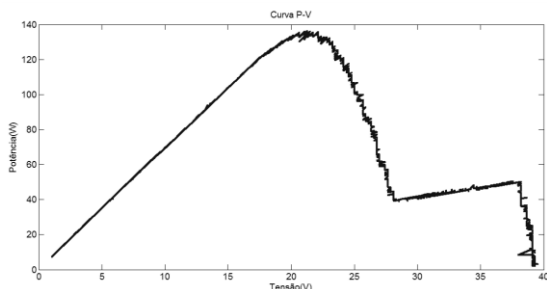


Figura 20 - Curva P-V obtida pelo sistema de caracterização.

O formato da curva V-I mostrada na Figura 18 apresenta uma forma característica, que se repete para outros valores de intensidade luminosa incidente. A Figura 21 apresenta a

curva V-I para o conjunto 3 com radiação menor que a presente na Figura 18.

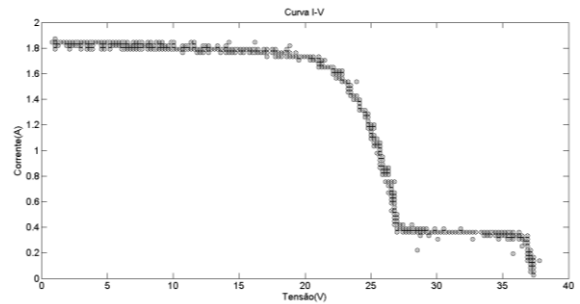


Figura 21 - Curva V-I para o conjunto 3.

O valor máximo de corrente na Figura 18 foi de 7,1 A, e na Figura 21 foi de 1,8A. Porém, para as duas curvas, a corrente apresentou uma queda de aproximadamente 80% para o intervalo de tensão entre 20 e 30 V. Em ambos os casos o resultado é coerente com a expectativa, considerando o sombreamento provocado.

A Figura 22 apresenta a curva característica do conjunto 4 de painéis obtida pelo sistema de caracterização.

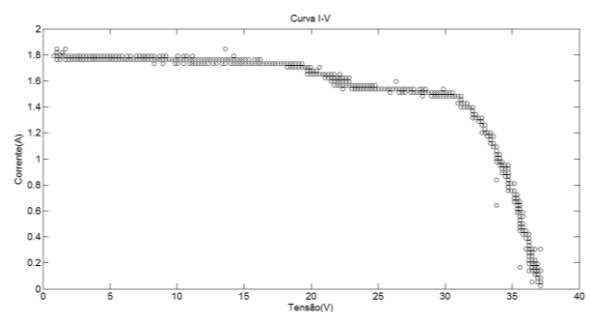


Figura 22 - Curva V-I do conjunto 4 obtida pelo sistema de caracterização.

A Figura 23 apresenta a curva obtida pelo Mini-KLA.

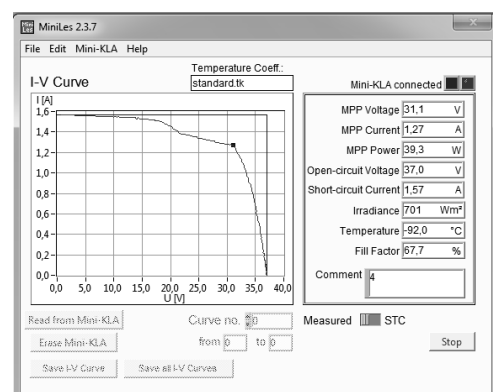


Figura 23 - Curva V-I do conjunto 4 obtida pelo Mini-KLA.

A mesma característica presente para os outros conjuntos com presença de sombra é apresentada na Figura 23. O valor da corrente sofre uma queda mais acentuada para valores de tensão entre 20 e 30 V. A potência máxima e valor correspondente de tensão também são semelhantes entre os dois sistemas, conforme pode ser visto na Figura 24.

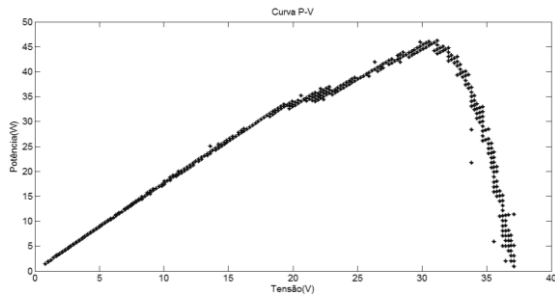


Figura 24 – Potência obtida através do sistema de caracterização para o conjunto 4 de painéis.

VI. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos pelo sistema de caracterização se mostraram semelhantes aos resultados do Mini-KLA, o que demonstra que o sistema desenvolvido é capaz de operar com carga eletrônica controlada para painéis fotovoltaicos.

Através dos resultados obtidos foi possível identificar um padrão de comportamento na curva V-I em cada tipo de sombreamento provocado. Desta forma, é possível prever se há uma sombra persistente sobre o painel com as mesmas características das que foram estudadas.

Entre os dois sistemas, a limitação do Mini-KLA dificultou a aquisição dos dados, pois era preciso esperar que a corrente de curto circuito dos painéis fosse inferior a 8 A. Este problema não foi apresentado pelo sistema de caracterização desenvolvido.

AGRADECIMENTOS

A FAPEMIG (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais) pelo apoio e suporte financeiro.

A Faculdade de Tecnologia do SENAI Ítalo Bologna (FATEC-IB) de Goiânia-Go pelo apoio.

Ao Núcleo de Pesquisa em Fontes Alternativas e Energia da Faculdade de Engenharia Elétrica da UFU.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Hull, D. (14 de 03 de 2012). *Marin Independent Journal*. Acesso em 15 de 04 de 2012, disponível em [marinij.com](http://www.marinij.com): http://www.marinij.com/business/ci_20169605/solar-installations-doubled-last-year
- [2] Ingenieurbüro. (s.d.). *Ingenieurbüro Mencke & Tegtmeyer*. Acesso em 16 de 04 de 2010, disponível em Ingenieurbüro Mencke & Tegtmeyer: http://www.ib-mut.de/en/produkt_detail.php?id=22
- [3] Kazerani, M. (2007). A High-Performance Controllable DC Load. *IEEE International Symposium on Industrial Electronics*, 1015-1020.
- [4] KYOCERA. (s.d.). *Kyocera*. Acesso em 15 de 04 de 2012, disponível em Kyocera Solar: <http://www.wholesolar.com/products.folder/module-folder/kyocera/KD135SX-UPU.html>
- [5] MICROCHIP. (s.d.). *Microchip Technology*. Acesso em 16 de 04 de 2012, disponível em MICROCHIP: <http://www.microchip.com/wwwproducts/devices.aspx?ddocname=en545660>
- [6] Patel, H., & Agarwal, V. (03 de 2008). MATLAB-Based Modeling to Study the Effects of Partial Shading on PV Array Characteristics. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, pp. 302 - 310.
- [7] Silvestre, S. (02 de 02 de 2007). Shading effects in characteristic parameters of PV modules. *Electron Devices, 2007 Spanish Conference on*, pp. 116 - 118.