

DESENVOLVIMENTO DE UM SOFTWARE PARA PÓS-PROCESSAMENTO DE CURVAS I - V DE DISPOSITIVOS FOTOVOLTAICOS

Alexandre J. Bühler – ajbuhler@gmail.com

Guilherme F. Cervantes - guilhermecervantes@gmail.com

Arno Krenzinger - arno.krenzinger@ufrgs.br

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica
Laboratório de Energia Solar

Resumo. No Brasil as primeiras centrais fotovoltaicas já começam a ser instaladas, mostrando uma forte tendência, a da inserção da energia solar fotovoltaica na matriz energética brasileira. A caracterização de módulos fotovoltaicos de forma eficaz e confiável é de suma importância na implementação de novas instalações e averiguação do desempenho das instalações já existentes. Para a análise do desempenho elétrico de um módulo fotovoltaico é imprescindível a determinação da curva (I - V) de corrente e tensão denominada curva característica. Através desta curva é possível obter importantes informações sobre vários parâmetros do gerador fotovoltaico. Entretanto para que esses parâmetros sejam obtidos com um bom grau de confiabilidade, é importante que um cuidadoso pós-processamento seja aplicado na curva I - V medida. Este trabalho apresenta um programa computacional desenvolvido junto ao Laboratório de Energia Solar (Labsol) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) para pós-processamento de curvas I - V de dispositivos fotovoltaicos. Neste software é possível a determinação de diversos parâmetros elétricos e fotovoltaicos a partir de uma curva I - V , bem como a translação desta curva para uma condição qualquer de irradiância e temperatura.

Palavras chave: Módulos fotovoltaicos, Curva I - V , Caracterização de dispositivos fotovoltaicos.

1. INTRODUÇÃO

Dentre as chamadas fontes não convencionais de energia, a energia solar fotovoltaica tem ganhado um espaço considerável em todo o mundo ao longo das últimas décadas. A indústria de células fotovoltaicas vem experimentando um crescimento anual muito forte ao longo dos últimos anos, expandindo-se também para sistemas isolados, mas principalmente para sistemas conectados à rede elétrica. Para se ter uma idéia, no ano de 2000 a potência instalada fotovoltaica no mundo era de cerca de 1400 MW. Ao final de 2011 a potência instalada superou a casa dos 67000 MW. Do total da potência fotovoltaica instala no mundo, a grande maioria se encontra concentrada na Europa (75%) onde a Alemanha, com quase 25000 MW representa o país com a maior potência instalada (EPIA, 2011). A Itália também merece um destaque especial, já que somente no ano de 2011 instalou 9000 MW.

Para a análise do desempenho elétrico de um módulo fotovoltaico é necessária a determinação de uma curva I - V (corrente *versus* tensão). Através desta curva é possível obter importantes informações sobre as características elétricas do gerador fotovoltaico como a corrente de curto-circuito (I_{SC}), a tensão de circuito aberto (V_{OC}) e o ponto de máxima potência (P_M). A determinação desta curva segundo a norma internacional IEC-60891 (IEC 2009) deve ser realizada dentro de condições específicas de temperatura e irradiância incidente denominada condição padrão de ensaio ($G = 1000 \text{ W/m}^2$, $AM = 1,5$ e $T_C = 25 \text{ }^\circ\text{C}$). Se a curva for determinada fora da condição padrão, que muitas vezes é difícil de ser obtida, a mesma precisa ser transladada. A própria norma IEC-60891 estabelece equações de translação, que podem ser utilizadas para que se conheça o comportamento da curva I - V em uma condição de temperatura e irradiância diferente da medida (a curva pode ser transladada para uma irradiância de até $\pm 30\%$ do valor medido).

Por meio da curva I - V também é possível determinar os chamados parâmetros fotovoltaicos, que correspondem aos parâmetros utilizados nas equações que descrevem a relação entre tensão e corrente em um dispositivo fotovoltaico. Esses parâmetros são normalmente referentes a dois modelos elétricos: o modelo de um diodo e o modelo de dois diodos. O modelo de um diodo, por exemplo, possui os seguintes parâmetros fotovoltaicos: resistência série (R_S), resistência paralela (R_P), fator de idealidade do diodo (m), corrente de saturação reversa (I_0) e corrente fotogerada (I_{FG}). Existem inúmeros métodos de determinação de parâmetros fotovoltaicos a partir de uma curva I - V medida, tanto utilizando o modelo de 1 diodo, como por exemplo Phang et al., (1984), como utilizando o modelo de 2 diodos (Chan e Phang, 1987). Uma vez que esses métodos normalmente utilizam como dados de entrada parâmetros elétricos obtidos diretamente da curva medida (I_{SC} , V_{OC} , P_M , etc), é importante que um cuidadoso pós-processamento seja aplicado nos dados medidos. Além disso, é importante ressaltar que o pós-processamento aplicado aos dados medidos de tensão e corrente pode ser realizado também com outras finalidades, como por exemplo filtrar possíveis ruídos presentes nos dados medidos, realizar uma extrapolação adequada dos dados medidos para fins de translação da curva I - V (quando isto se fizer necessário) ou ainda eliminar a influência de diodos de *bypass*. Esses diodos influenciam drasticamente a forma da curva no segundo quadrante, de forma que se a região da curva utilizada para calcular I_{SC} e R_P englobar a área de atuação desses diodos isto pode levar a resultados completamente equivocados.

O presente trabalho apresenta um programa computacional desenvolvido junto ao Laboratório de Energia Solar (Labsol) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) para pós-processamento de curvas I - V de dispositivos fotovoltaicos. Por meio deste software, dados medidos de tensão e corrente podem ser tratados de forma a fornecer com grande precisão os diferentes parâmetros elétricos e fotovoltaicos na condição medida ou em outra condição desejada, esta última efetuada por meio de um processo de translação que pode ser realizado segundo dois métodos diferentes: o método da norma IEC e um método geométrico descrito em Bühler e Krenzinger, (2008). O método de translação referente à Norma Internacional implementado no software aqui descrito se refere ao proposto na seção 3.2 da Norma IEC 60891, (2009).

2. SISTEMA DE MEDIDA DE CURVAS I - V UTILIZADO NO LABSOL

O processo de caracterização de módulos fotovoltaicos utilizado no Labsol se baseia na utilização de iluminação natural. A corrente e a tensão são medidas com uma resolução de 6 ½ dígitos. Em ensaios de módulos, a temperatura do mesmo é medida em uma célula central na parte traseira, com um sensor Pt100. A incerteza associada à medida da temperatura é de 0,26 °C, isso levando em conta o instrumento de medida e o sensor utilizado. O tempo total para aquisição de um conjunto de 1000 pares de tensão e corrente, que é o padrão utilizado, é de 200 ms. Cabe ressaltar que o tempo total da medida está ligado ao número de pontos que se pretende medir e a resolução da mesma.

O equipamento de medida de curvas I - V desenvolvido no Labsol é apresentado na Fig. 1. Este sistema, que é descrito detalhadamente em Gasparin (2009), possui como carga eletrônica uma fonte bipolar de quatro quadrantes da marca KEPCO, modelo BOP 100-10 MG. As funções da fonte são programadas remotamente por meio de um programa de gerenciamento que permite grande flexibilidade nas aplicações. A fonte tem potência máxima de 1000 W com limites de ± 100 V e ± 10 A, permitindo caracterizar módulos e arranjos dentro desta faixa de operação. Módulos ou sistemas com tensões superiores de até 200V também podem ser medidos com esse sistema desde que uma ou mais fontes de potência sejam acopladas em série a fonte principal (BOP 100-10 MG).

Através de comandos enviados por um programa de gerenciamento, esta fonte é programada com um valor inicial e final de uma rampa de tensão com variação linear que pode tanto ter direção de I_{SC} para V_{OC} como de V_{OC} para I_{SC} . O padrão utilizado é o sentido de I_{SC} para V_{OC} mantendo o dispositivo em ensaio em circuito aberto enquanto a medida não é realizada.



Figura 1 – Sistema para medida de curvas I - V de dispositivos fotovoltaicos utilizados no Labsol (Gasparin, 2009).

As medidas de tensão e corrente são feitas simultaneamente e de forma sincronizada com uma rampa de tensão. A corrente é medida por meio de um resistor tipo shunt (300 mV / 10 A) e classe de precisão 0,5%. Para a medida de tensão e corrente são utilizados multímetros da marca Agilent, modelo 3458. Estes multímetros possuem resolução máxima de 8 ½ dígitos e memória interna para até 10240 medidas. Na escala de 100 V e 6 ½ dígitos, que é o padrão utilizado no sistema, os multímetros apresentam resolução de 100 μ V para a tensão. A resolução de medida da corrente é de 30 μ A.

As medidas de irradiância e temperatura são feitas através de multímetros da marca Agilent, modelo 34410 A. A resolução máxima deste equipamento é de 6 ½ dígitos. O tempo de integração mínimo para a medida de tensão DC é de 100 μ s. A memória interna tem capacidade de armazenar até 50000 leituras.

Para a medida da irradiância é utilizada uma célula de referência de silício monocristalino previamente calibrada. O Labsol conta atualmente com duas células de referência calibradas para utilização em medidas outdoor, uma das células calibrada junto ao CIEMAT (Centro de Investigaciones Energéticas Medioambientales y Tecnológicas – Madri, Espanha) e a outra junto ao JRC-ESTI (Join Research Centre, European Solar Test Installation – Ispra, Itália).

Os dados medidos são exportados através de um arquivo com extensão “.dat”, que possui a forma tal como apresentada na Tab. 1. Os dados apresentados na Tab. 1 correspondem a dados reais medidos, porém somente os cinco primeiros valores de tensão, corrente e irradiância são apresentados.

Tabela 1. Formato do arquivo de saída dos dados medidos pelo sistema de aquisição de curvas $I-V$ utilizado no Labsol.

Medida	Tensão(V)	Corrente(A)	Irradiância (W/m ²)	Temperatura inicial (°C)	Temperatura final (°C)
1	-4.5856	0.631140	742.54	33.39	33.41
2	-8.2367	0.618869	742.49	Data	Hora
3	-8.8966	0.619372	742.12	07/05/2010	15:05:45
4	-8.9207	0.619606	741.9	Nº de pontos	Tempo/medida (ms)
5	-8.8168	0.619372	742.06	500	100

3. DESCRIÇÃO DO SOFTWARE DESENVOLVIDO PARA PÓS-PROCESSAMENTO DE CURVAS $I-V$

A linguagem escolhida para o desenvolvimento do software foi o Visual Basic, versão 6.0. Esta linguagem foi escolhida por proporcionar uma interface amigável além de possuir uma série de ferramentas de controle de forma a facilitar a estruturação do programa e execução das diversas tarefas necessárias para o pós-processamento.

A Fig. 2 apresenta a janela principal do programa onde podem ser verificadas as funções disponíveis.

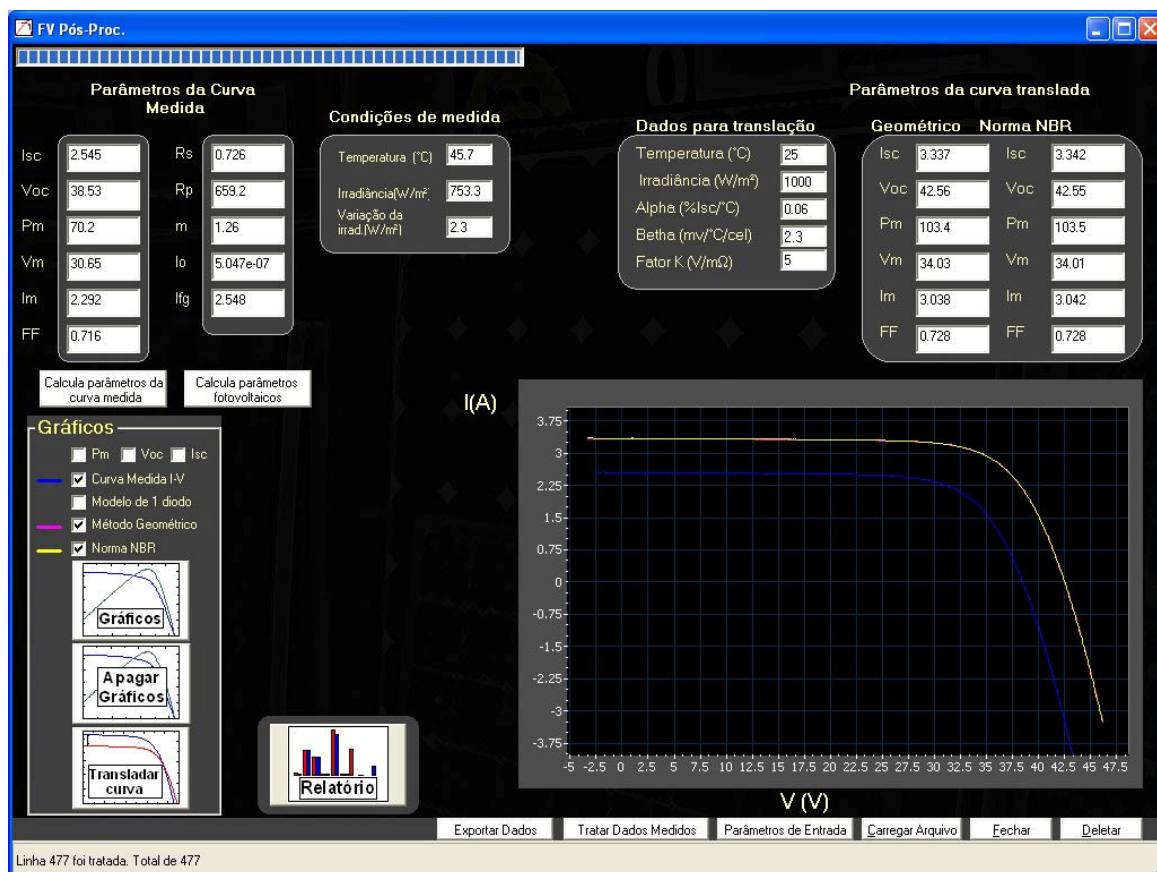


Figura 2 – Janela principal do software para pós-processamento de curvas $I-V$ de dispositivos fotovoltaicos.

Na Fig. 2 pode-se observar um módulo gráfico onde é possível desenhar na tela a curva $I-V$ medida, as transladas (segundo dois métodos diferentes), a gerada matematicamente pelo modelo de 1 diodo e as regiões utilizadas para o cálculo dos parâmetros elétricos e fotovoltaicos da curva $I-V$ medida. São apresentados também os parâmetros fotovoltaicos relativos à condição de medida e os parâmetros elétricos (calculados independentemente para cada método de translação). Na parte superior central da tela pode se observar também algumas características das condições de medida, que são extraídas do arquivo “.dat” exportado do sistema de medida de curvas $I-V$ utilizado no Labsol.

Os dados de corrente e tensão das curvas transladadas e da curva gerada pelo modelo de 1 diodo podem ser exportados em formato “.dat” para posterior análise. Além disso, existe um botão na parte inferior a esquerda (“Relatório”) que pode ser utilizado para gerar um arquivo com extensão “.pdf” onde todas as informações referentes a curva $I-V$ em análise são cuidadosamente organizadas e gravadas.

A seguir é descrito como os parâmetros elétricos da curva são calculados com elevado grau de precisão em função das diferentes regiões de interesse da curva medida.

3.1 Parâmetros de entrada

Nesta etapa o usuário do software tem a possibilidade de modificar os dados necessários para as diversas etapas de cálculo. Para que um usuário sem muita experiência no assunto consiga operar o software sem grande dificuldade, todos esses dados já possuem valores iniciais padrões de maneira que caso o usuário não faça nenhuma modificação, ainda assim o software é capaz de operar sem problemas. Os dados de entrada são os seguintes:

Região para o cálculo de I_{SC} e de R_{p0} (inclinação da curva $I-V$ nesta região, necessária para o cálculo de R_p):

A região para o cálculo desses parâmetros é escolhida em função de um valor de tensão (V_{OC*}) que corresponde ao maior valor medido de tensão com corrente positiva (primeiro quadrante). Como valores iniciais padrão, selecionam-se pontos compreendidos em uma região entre -1% V_{OC*} e 20% V_{OC*} . Uma vez selecionados esses pontos é aplicada uma regressão linear por mínimos quadrados e são determinados os valores de I_{SC} e de R_{p0} .

Região para o cálculo de V_{OC} e de R_{S0} (inclinação da curva $I-V$ nesta região, necessária para o cálculo de R_S):

A região para o cálculo desses parâmetros é escolhida em função de I_{SC} , já calculado segundo os parâmetros escolhidos no item anterior. Como valores iniciais padrão, selecionam-se pontos compreendidos em uma região entre 20% I_{SC} e -1% I_{SC} . Uma vez selecionados esses pontos, é aplicada uma regressão linear por mínimos quadrados e são obtidos então os valores de V_{OC} e de R_{S0} . Caso a curva $I-V$ não tenha sido medida com valores de corrente de até -1% I_{SC} o software seleciona automaticamente todos os pontos medidos com corrente inferior a 20% I_{SC} .

Região para o cálculo de P_M e V_M (tensão correspondente à máxima potência do dispositivo):

A região para o cálculo destes parâmetros é escolhida em função da tensão correspondente ao maior valor de potência medido (V_{M*}). Os valores de potência são calculados multiplicando a tensão e a corrente medidas, originando desta forma uma curva $P-V$. O padrão para os valores iniciais utilizados na determinação desses parâmetros corresponde a pontos compreendidos entre 0,75 V_{M*} e 1,15 V_{M*} . Em acordo com a norma americana E 1036-08 (ASTM, 2008) é então aplicada uma regressão polinomial de ordem 4 a partir da qual são obtidos os valores de V_M e I_M . O grau do polinômio pode ser alterado, sendo permitidos valores entre 2 e 6.

A Fig. 3 apresenta a janela do software na qual o usuário pode selecionar as regiões para o cálculo dos principais parâmetros elétricos da curva medida e o número de células do dispositivo em série. Além disso, caso tenha ocorrido algum problema na medida da temperatura, esta pode ser inserida manualmente.

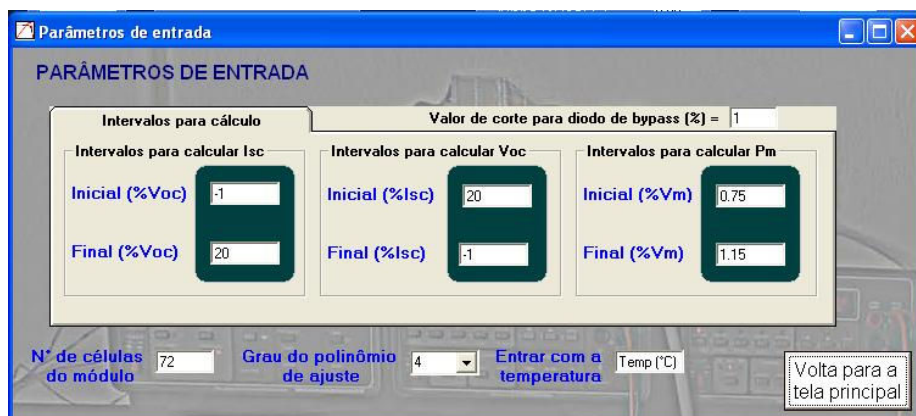


Figura 3 – Janela de configuração do software para seleção das regiões utilizadas no cálculo dos principais parâmetros elétricos da curva $I-V$.

Ainda na Fig. 3 pode-se observar na parte superior direita a possibilidade de alterar o que é chamado no software de “Valor de corte para diodo de bypass”. Este valor se refere a um critério para conferir matematicamente se existe a influência de diodo de bypass na curva $I-V$ medida. De forma simples, o procedimento funciona da seguinte forma: Uma regressão linear é aplicada para uma região da curva $I-V$ compreendida entre 0 V e 0,2 V_{OC} . Os valores de corrente elétrica pertencentes ao segundo quadrante são então comparados com os valores de corrente obtidos a partir da

equação linear. Caso a diferença percentual entre os valores de corrente seja superior ao “Valor de corte para diodo de bypass” então os valores de corrente medidos nessa região são substituídos pela corrente calculada.

A Fig. 4 apresenta a) uma curva $I-V$ medida de um módulo de silício amorfo de tripla junção e três regiões desta mesma curva utilizadas para o cálculo de: b) I_{SC} e R_{P0} , c) V_{OC} e R_{S0} e d) P_M , V_M e I_M . As três regiões da curva apresentadas na Fig. 4 correspondem aos valores iniciais padrões presentes no software desenvolvido.

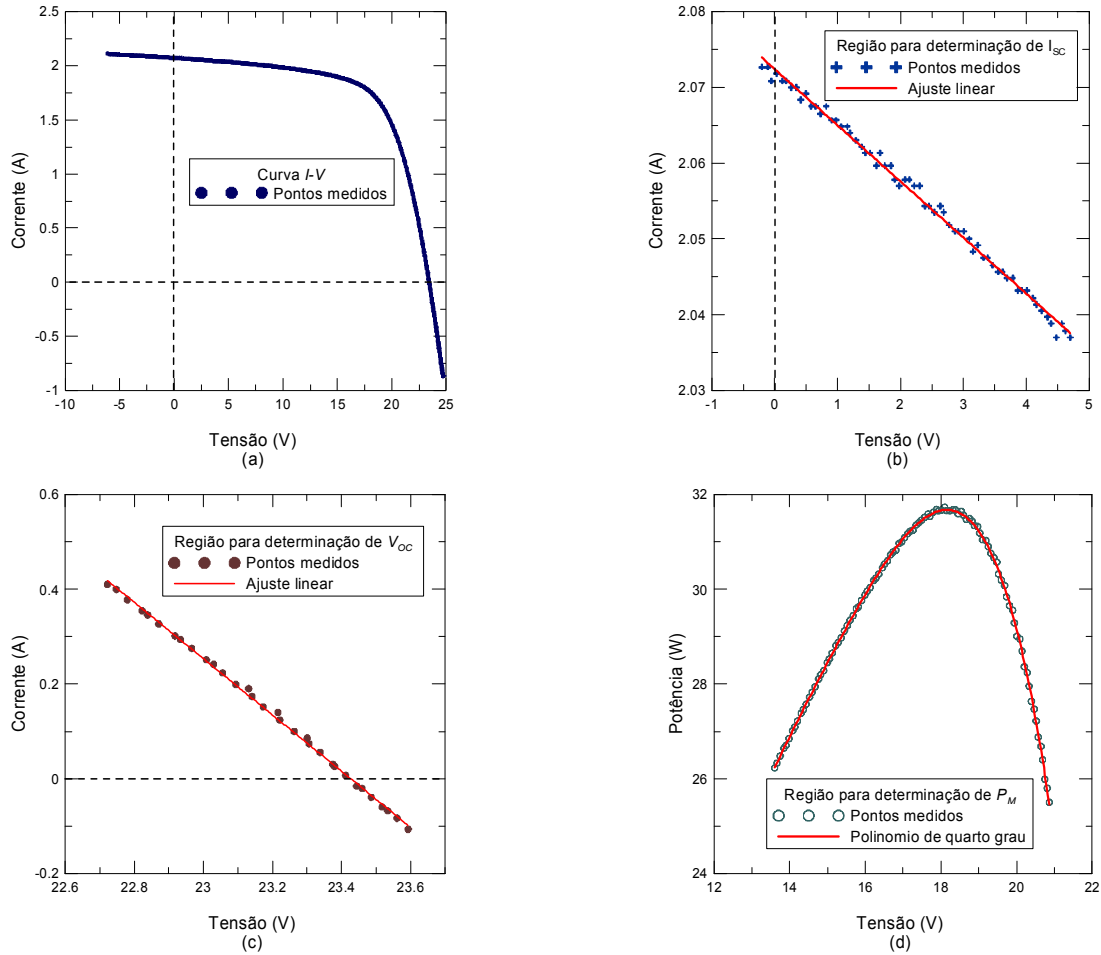


Figura 4 - a) Curva $I-V$ medida um módulo de silício amorfo de tripla junção e três regiões desta mesma curva utilizadas para o cálculo de: b) I_{SC} e R_{P0} , c) V_{OC} e R_{S0} e d) P_M , V_M e I_M .

3.2 Determinação dos parâmetros fotovoltaicos

Através do software desenvolvido é também possível a extração dos parâmetros matemáticos presentes na Eq. (1), que relaciona matematicamente a tensão e a corrente de uma curva $I-V$ através do modelo de 1 diodo.

$$I = I_{FG} - I_o \left[\exp \left(\frac{V + IR_s}{V_T} \right) - 1 \right] - \frac{V + IR_s}{R_p} \quad (1)$$

O termo V_T presente na Eq. (1) equivale a $N_j N_s m k_B T_C / e$, onde N_s é o número de células associadas em série no módulo, e é a carga do elétron, k_B é a constante de Boltzmann [$1,381 \times 10^{-23}$ J/K], T_C é a temperatura da célula e N_j é o número de junções de cada célula, permitindo assim aplicar esse método em dispositivos de multijunções.

Esses parâmetros fotovoltaicos são extraídos diretamente da curva medida por meio de um método proposto por Phang et al., (1984). Considerando que a inclinação da curva $V-I$ junto à região de curto-circuito (R_{P0}) é predominantemente influenciada pela resistência paralela, esta é aproximada por R_{P0} , mas com sinal trocado. A inclinação da curva $V-I$ junto à região de circuito aberto também é determinada (R_{S0}).

Uma vez que V_{OC} , I_{SC} , V_M , I_M , R_{P0} e R_{S0} tenham sido determinados a partir da curva medida, os parâmetros fotovoltaicos podem ser calculados a partir das Eqs. (2) a (6).

$$R_P \cong -R_{P0} \quad (2)$$

$$m = \frac{V_M + I_M R_{S0} - V_{OC}}{V_T \left[\ln \left(I_{SC} - \frac{V_M}{R_P} - I_M \right) - \ln \left(I_{SC} - \frac{V_{OC}}{R_P} \right) + \frac{I_M R_P}{I_{SC} R_P - V_{OC}} \right]} \quad (3)$$

$$I_0 = \left(I_{SC} - \frac{V_{OC}}{R_P} \right) \exp \left(\frac{-V_{OC}}{m V_T} \right) \quad (4)$$

$$R_S = \left(R_{S0} - \frac{m V_T}{I_0} \right) \exp \left(\frac{-V_{OC}}{m V_T} \right) \quad (5)$$

$$I_{FG} = I_{SC} \left(1 + \frac{R_S}{R_P} \right) + I_0 \left(\exp \left(\frac{I_{SC} R_S}{m V_T} \right) - 1 \right) \quad (6)$$

Este método de extração de parâmetros fotovoltaicos foi escolhido por ser um método simples e que apresenta excelentes resultados, tanto para tecnologias baseadas em silício cristalino como para filmes finos diversos, tais quais silício amorfo e telureto de cádmio. A aplicação deste método em diversas curvas de módulos de diferentes tecnologias pode ser encontrada em Bühler (2011). A Fig. 5 apresenta exemplos de aplicação do método de Phang *et al.* aplicado a curvas de um módulo de a) silício cristalino e b) silício amorfo de tripla junção.

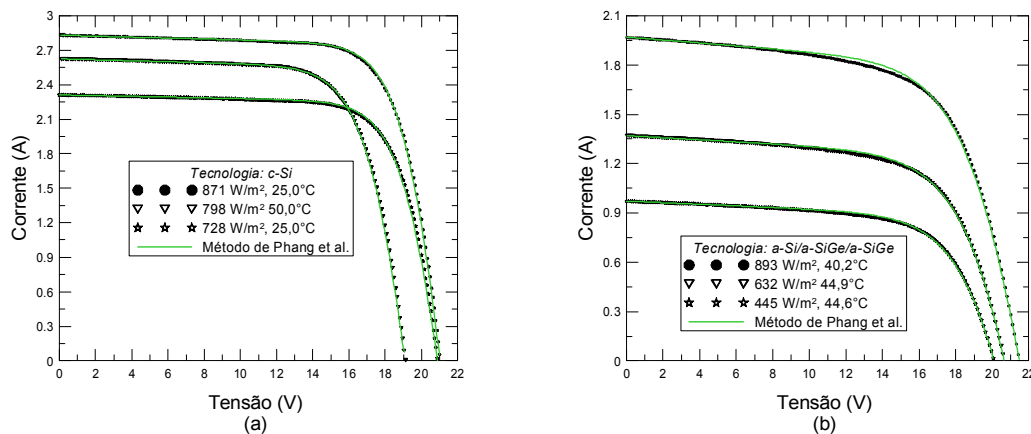


Figura 5 – Exemplos de aplicação do método de extração de parâmetros fotovoltaicos de Phang *et al.* em curvas de: a) módulo de silício cristalino e b) módulo de silício amorfo de tripla junção.

3.3 Translação da curva I - V para a condição padrão ou outra qualquer

Uma função bastante importante também disponível no software é a translação da curva I - V para uma condição de irradiância e temperatura qualquer. O software disponibiliza dois métodos de translação, o método da norma IEC 60891, secção 3.2 (IEC, 2009) e um método de translação geométrico descrito em Bühler e Krenzinger (2008).

De forma geral, pode-se afirmar que o método da norma IEC apresenta melhores resultados e pode ser aplicado em uma faixa de irradiância e temperatura maior do que o método geométrico. Por outro lado, dentro de uma determinada faixa de aplicação que é apresentada na Tab. 2, o método geométrico também apresenta resultados muito bons para a translação e possui a vantagem de não necessitar de coeficientes como R_S ou o fator de correção da curva (K), necessários no método da norma IEC. Ressalta-se que a Tab. 2 fornece valores de referência que foram obtidos de um estudo aprofundado realizado em Bühler, 2011, mas matematicamente os métodos de translação podem ser aplicados para qualquer valor de irradiância positivo e inferior a 1200 W/m².

Tabela 2. Faixa de temperatura e irradiância para a aplicação dos métodos de translação presentes no software.

Método de translação	Intervalo de irradiância	Intervalo de temperatura
<i>Silício cristalino e CIS</i>		
NBR/IEC	30%	30°C
Geométrico	30%	20°C
<i>Silício amorfo e CdTe</i>		
NBR/IEC	30%	20°C
Geométrico	20%	10°C

Para que o processo de translação seja realizado corretamente é importante que caso a curva medida apresente influência de diodos de *bypass* (influência caracterizada por um aumento exponencial de corrente no primeiro quadrante), estes não interfiram nos procedimentos de cálculo que o software realiza. Desta forma foi também implementada uma ferramenta que é capaz de verificar matematicamente se a curva medida possui pontos com influência de diodos de *bypass* e em caso positivo eliminar esses pontos. Esta tarefa é muito importante, pois diodos de *bypass* podem conduzir a determinações de I_{SC} com valores completamente equivocados.

A Fig. 6 apresenta uma curva medida na condição de 753 W/m^2 e $45,7^\circ\text{C}$ de um módulo de silício monocristalino e a curva transladada para a condição padrão por meio dos dois métodos de translação. Nessa mesma curva é possível observar a influência de diodos de *bypass* no segundo quadrante.

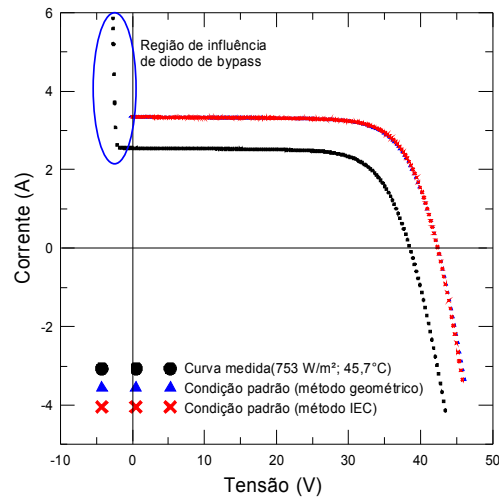


Figura 6 – Exemplo de curva medida de um módulo de silício monocristalino e curva transladada para a condição padrão por meio dos dois métodos de translação utilizados no software, método da norma IEC método geométrico.

3.4 Extrapolação da curva $I-V$ medida para se adequar ao processo de translação

Tanto o método de translação geométrico quanto o método proposto pela norma IEC fazem com que a curva seja deslocada no sistema de coordenadas, para cima ou para baixo e para a esquerda ou para a direita, dependendo das condições estabelecidas para a translação. Dessa forma, é possível que ao se transladar uma curva $I-V$ não existam pontos suficientes para preencher esta curva totalmente no primeiro quadrante. Para corrigir esse possível problema foi implementado no software uma ferramenta que extrapola os dados de tensão e corrente de forma que a curva transladada sempre cruze os eixos de tensão e de corrente.

A extrapolação da curva medida garantindo que, independente da condição de translação, esta curva preencha todo o primeiro quadrante é realizada aplicando a Eq. (1), uma vez que os parâmetros fotovoltaicos já tenham sido extraídos pelo método de Phang et al. Esta equação é aplicada para extrapolar a curva $I-V$ tanto na região de curto-circuito, quanto na região de circuito aberto.

A Fig. 7a apresenta um exemplo de curva medida onde a translação não preenche totalmente o primeiro quadrante. A Fig. 7b apresenta essa mesma curva com pontos $I-V$ extrapolados pela aplicação da Eq. (1) de forma que a translação, para a mesma condição da Fig. 7a, preencha totalmente o primeiro quadrante.

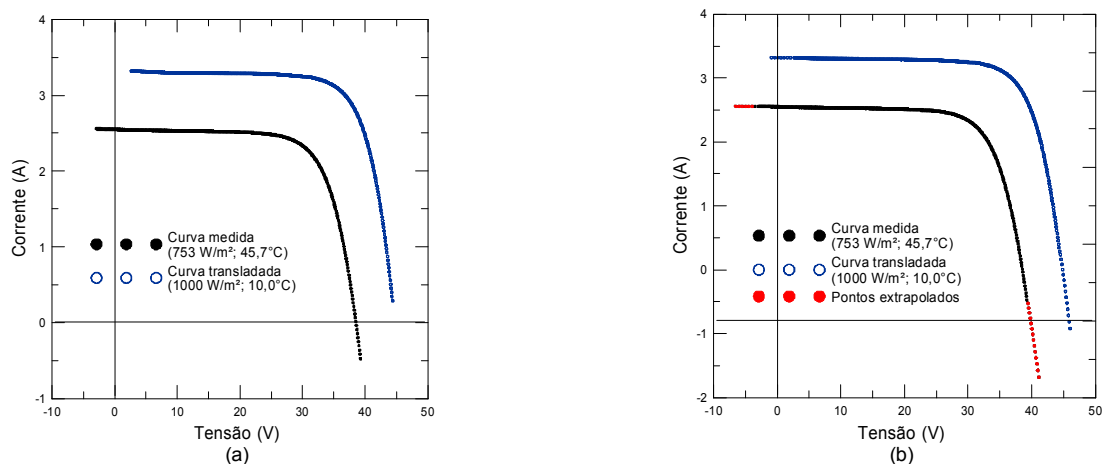


Figura 7 – Curva $I-V$ medida e curva transladada: a) com pontos insuficientes para que a curva transladada preencha o primeiro quadrante, b) com pontos $I-V$ extrapolados de forma que a curva transladada preencha o primeiro quadrante.

Como pode ser observado pela Fig. 7b a técnica adotada para a extrapolação da curva fornece um resultado bastante condizente com a curva medida. Esta extrapolação pode ser aplicada para intervalos maiores do que são apresentados na Fig. 7b, uma vez que o método de Phang et al. é bastante confiável na representação da curva de um dispositivo fotovoltaico nas regiões do circuito aberto e do curto-circuito.

4. CONCLUSÕES

Foi desenvolvido um software para pós-processamento de curvas $I-V$ de dispositivos fotovoltaicos. Este software contempla a determinação dos parâmetros elétricos da curva com um excelente grau de precisão, a partir da análise de regiões específicas da curva $I-V$. O software permite também a translação da curva para diferentes condições de temperatura e irradiância segundo um método de translação geométrico e o método da norma IEC 60891 (seção 3.2). Este software tem sido utilizado junto ao Labsol proporcionando uma análise rápida e confiável de curvas características medidas de dispositivos fotovoltaicos de diversas tecnologias.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

REFERÊNCIAS

- ASTM, 2008. American Society for Testing and Materials. ASTM E 1036-08. Standard Test Methods for Electrical Performance of Non-Concentrator Terrestrial Photovoltaic Modules and Arrays Using Reference Cells.
- Bühler, A. J., 2011. Estudo de Técnicas de Determinação Experimental e Pós-Processamento de Curvas Características de Módulos Fotovoltaicos, Tese de Doutorado, PROMEC/UFRGS, Porto Alegre RS.
- Bühler, A. J. e Krenzinger, A., 2008. Comparação entre diferentes métodos de translação de curvas $I-V$ de módulos fotovoltaicos, In: Congresso Brasileiro de Energia Solar e III Conferencia Latino Americana de la ISES, 2008, Florianópolis. Anais do II CBENS & III ISES-CLA. Recife: ABENS.
- Phang, J. C. H., Chan, D. S. H., Phillips, J.R., 1984. Accurate analytical method for the extraction of solar cell model parameters, *Electronic Letters*, vol. 20, n. 10, pp 406-408.
- Chan, D. S. H. e Phang, J. C. H., 1987. Analytical Methods for the Extraction of Solar-Cell Single and Double Diode Model Parameters from $I-V$ Characteristics, *IEEE Transactions on Electron Devices*, vol. 34, n. 2, pp 286-293.
- Gasparin, F. P., (2009). Desenvolvimento de um traçador de curvas características de Módulos Fotovoltaicos, Dissertação de Mestrado, PROMEC/UFRGS, Porto Alegre RS.
- EPIA, European Photovoltaic Industry Association, 2012. Market Report 2011, disponível no endereço eletrônico <http://www.epia.org/publications/epia-publications.html>, capturado em 25 de janeiro de 2012.
- IEC, 2009. International Electrotechnical Commission. IEC-60891 - Procedures for temperature and irradiance corrections to measured $I-V$ characteristics.

DEVELOPMENT OF A SOFTWARE FOR $I-V$ CURVES POST-PROCESSING OF PHOTOVOLTAIC DEVICES

Abstract. *The first photovoltaic (PV) power plants in Brazil are starting to be installed showing an obvious tendency, the insertion of the PV solar energy in the energy mix of this country. An efficient and reliable characterization of PV modules is fundamental for the establishment of new PV installations and for evaluation of the performance of the existent ones. To analyse the photovoltaic module's electrical performance it is essential the determination of the current versus voltage curve ($I-V$) known as characteristic curve. From the analysis of this curve it is possible to obtain important information about several parameters of the PV generator. In order to obtain such parameters with a high level of quality a post-processing method have to be applied in the measured raw data. This paper presents a post-processing software developed in the Solar Energy Laboratory (Labsol) of the Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) for $I-V$ curves of photovoltaic devices. The determination of several electrical and photovoltaic parameters from an $I-V$ curve, as well as the translation of the curve for any irradiance and temperature condition are included among the features of the software.*

Key words: Photovoltaic modules, $I-V$ Curve, Characterization of photovoltaic devices, Post-processing software