



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERIA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL AREA
MECANICA
DE LAS
INGENIERIAS

FoDAMI

MÉTODO DE TRANSLAÇÃO GEOMÉTRICO PARA CURVAS I-V DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

Bühler A. J. ^{*1}, Rampinelli G. A. ²

^{*1} Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul
Avenida Osvaldo Aranha, 540, Bento Gonçalves/RS - Brasil
correo-e: ajbuhler@gmail.com

² Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia de Energia

RESUMO

Quando é necessário determinar os parâmetros elétricos de uma curva I-V de um dispositivo fotovoltaico, em uma condição diferente da medida, é necessário que seja aplicado algum método de translação de curvas. Existem muitos métodos que podem ser usados, alguns mais simples, porém mais limitados, e outros que necessitam a determinação de parâmetros extras, como é o caso do método da norma brasileira e internacional (IEC). A norma americana também propõem um método de translação por interpolação bilinear, que apresenta bons resultados. Entretanto, contra esse método, pesa o fato de que este não permite a translação de uma única curva medida para outra condição de irradiância e temperatura. No mínimo 4 curvas de referência sempre tem que ser medidas. Este trabalho apresenta o estudo e aplicação de um método de translação simples, denominado método de translação geométrico. Curvas de módulos fotovoltaicos de diferentes tecnologias foram obtidas em distintas condições de operação, nas quais o método de translação geométrico foi testado. Este trabalho apresenta ainda a determinação de um intervalo de irradiância e temperatura confiáveis dentro dos quais o método de translação pode ser aplicado.

Palavras chave: Módulos fotovoltaicos, curva característica I-V, translação de curvas I-V, parâmetros elétricos.



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL AREA
MECANICA
DE LAS
INGENIERIAS

FoDAMI

1. INTRODUÇÃO

A caracterização de módulos fotovoltaicos de forma eficaz e confiável é de fundamental importância na implementação de novas instalações fotovoltaicas e averiguação do desempenho das instalações já existentes. Tanto ensaios mecânicos quanto elétricos são muito importantes para prever o comportamento do gerador fotovoltaico sob diferentes condições de operação. Desta forma, programas de simulação podem ser capazes de reproduzir a realidade de sistemas fotovoltaicos de forma fiel, ou mesmo, analisar a viabilidade de instalação destes em localidades e condições quaisquer.

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 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 técnica brasileira NBR12136 [1], 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 corrigida. Para esta correção ou translação, é necessária a determinação dos coeficientes térmicos (α) e (β) que correspondem à variação da corrente de curto-circuito e da tensão de circuito aberto com a temperatura, respectivamente.

É possível encontrar na literatura diversos métodos de correção de curvas $I-V$. Alguns propõem a translação ponto a ponto dos valores medidos, tais quais [2, 3], enquanto outros métodos propõem a translação por meio analítico considerando o comportamento interno dos geradores fotovoltaicos, como por exemplo, Van Overstraeten *et. al.* [4]. As normas técnicas também estabelecem seus métodos de translação para curvas $I-V$ de dispositivos fotovoltaicos. Entre as diferentes normas existentes citam-se a norma americana ASTM E 1036-08 [5], a norma internacional IEC-891 [6] e a norma brasileira [7].

Existem diversos métodos de translação que podem ser usados, alguns mais simples, porém mais limitados, e outros que necessitam a determinação de parâmetros extras, como é o caso do método da norma brasileira e internacional (IEC). Este trabalho apresenta o estudo e aplicação de um método de translação simples, denominado método de translação geométrico. Curvas de módulos fotovoltaicos de diferentes tecnologias foram obtidas em distintas condições de operação,

nas quais o método de translação geométrico foi testado. Este trabalho apresenta ainda a determinação de um intervalo de irradiância e temperatura confiáveis dentro dos quais o método de translação pode ser aplicado.

2. TRANSLAÇÃO DA CURVA $I-V$ EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA E IRRADIÂNCIA DE ACORDO COM AS NORMAS TÉCNICAS

Quando a curva $I-V$ é obtida fora da condição padrão, ou quando se deseja conhecer seu comportamento em uma condição diferente da medida, se faz necessária a aplicação de algum método de correção ou translação. As normas técnicas possuem seus procedimentos, metodologias e equações de translação, tal como é sucintamente descrito a seguir, para o caso das duas principais normas adotadas em ensaios de módulos fotovoltaicos no mundo, além da norma brasileira.

2.1. Norma Americana ASTM E 1036-08

Esta é a última versão da norma americana que regulamenta os ensaios para caracterização elétrica de dispositivos fotovoltaicos de uso terrestre. O conteúdo desta norma é bastante similar ao da sua versão anterior, exceto pela questão da correção da curva $I-V$ pela irradiância e pela temperatura. Na norma ASTM E 1036-08 [5] o método de translação adotado é um método proposto por Marion et al. [8]. Este método é baseado na interpolação bilinear de quatro curvas $I-V$ de referência que devem ser medidas em duas condições de irradiância diferentes e em dois valores de temperatura para cada condição de irradiância. A partir destas quatro curvas de referência, uma quinta curva $I-V$ pode ser transladada para qualquer condição de irradiância e temperatura, que estejam entre os valores mínimos e máximos nos quais as curvas de referência foram medidas. A Figura 1 apresenta uma ilustração do método de translação onde são visualizadas as quatro curvas de referência.

O método de translação adotado pela norma americana a partir do ano de 2008 apresenta uma diferença importante em relação aos outros métodos propostos pela própria ASTM nas versões anteriores. Todos os outros métodos permitem a translação de uma curva $I-V$ para uma condição de irradiância e temperatura qualquer. Conhecendo os parâmetros necessários para a aplicação de cada método de translação, é possível aplicá-lo em uma curva $I-V$ medida que se pretende transladar. O método da norma ASTM E 1036-08, por sua vez, exige sempre 4 curvas de referência, de forma que, tendo em mãos apenas uma curva $I-V$ não é possível transladá-la por este método.



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERIA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL AREA
MECANICA
DE LAS
INGENIERIAS

FoDAMI

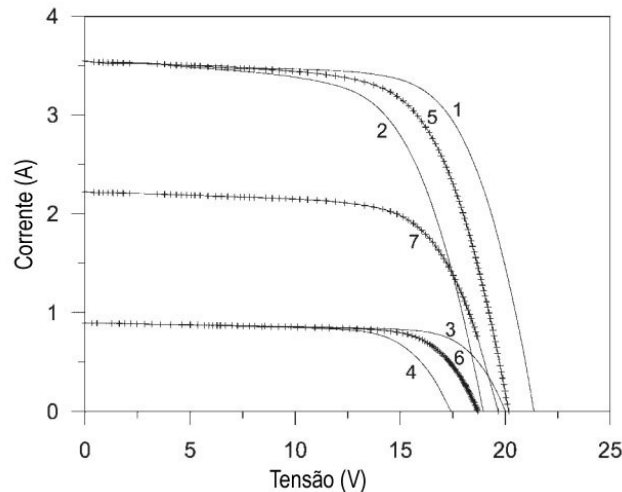


Figura1 Ilustração do método de translação por interpolação bilinear, onde: as curvas de 1 a 4 são as curvas de referência, curvas 5 e 6 são interpoladas com respeito a V_{oc} a partir das curvas 1 e 2 e 3 e 4, respectivamente e a curva 7 é a curva transladada, que é obtida por interpolação com respeito a I_{sc} a partir das curvas 5 e 6. (adaptado de Marion et al [8]).

2.2. Norma IEC 891 e NBR-12302

A norma internacional IEC 891 [6], e a norma brasileira NBR-12302 [7], estabelecem um método de translação para curvas $I-V$ de dispositivos fotovoltaicos. Os procedimentos destas normas em relação à translação podem ser considerados praticamente idênticos.

De acordo com a norma internacional, a correção da corrente para uma condição de temperatura e irradiância é dada pela Equação (1), e a correção da tensão pela Equação (2).

$$I_2 = I_1 + I_{sc1} \left(\frac{G_2}{G_1} - 1 \right) + \alpha(T_2 - T_1) \quad (1)$$

$$V_2 = V_1 - R_s(I_2 - I_1) - KI_2(T_2 - T_1) + \beta(T_2 - T_1) \quad (2)$$

onde, V_1 , I_1 e I_{sc1} são, respectivamente, a tensão, a corrente e a corrente de curto-circuito medidas na condição de temperatura T_1 , e irradiância G_1 e V_2 e I_2 correspondem, respectivamente, a tensão e a corrente corrigidas para a condição de temperatura T_2 e irradiância G_2 . O termo K corresponde ao fator de correção da curva e R_s é a resistência série do dispositivo fotovoltaico.

Como é possível verificar a partir das Equações (1) e (2), para a aplicação deste método é necessária a determinação de dois parâmetros: o fator de correção da curva (K) e a resistência

série (R_s) do módulo, cujos procedimentos de determinação são descritos em NBR-12136 [1]. Para o fator K , responsável pelo ajuste da curva devida a não uniforme variação de cada valor de tensão com a temperatura, a norma estabelece a determinação de três curvas com mesma irradiância e diferentes temperaturas. Para a determinação de R_s são necessárias três curvas com mesma temperatura, mas diferentes irradiâncias. Dessa forma, fica evidente que a determinação destes parâmetros ocasiona em ensaios mais demorados e complexos.

3. MÉTODO DE TRANSLAÇÃO GEOMÉTRICA

O método de translação geométrica consiste basicamente na translação, ponto a ponto, dos valores medidos de corrente e tensão por intermédio de uma soma algébrica de um valor constante, tanto para a corrente quanto para a tensão.

O método de translação geométrica baseia-se no conceito de que a curva característica de um dispositivo fotovoltaico é modificada unicamente devido à variação de temperatura e irradiância. Esse método implica com que todos os pontos da curva sejam deslocados igualmente na tensão e na corrente, de forma que os novos valores de tensão de circuito aberto e de corrente de curto-circuito coincidam com os valores calculados segundo as Equações (3) e (4). Vale lembrar que embora o acréscimo ou decréscimo na tensão e na corrente seja o mesmo ao longo da curva I - V , isso não evita que o fator de forma varie na translação, em acordo com o que é observado experimentalmente.

A translação geométrica pode ser descrita pelos seguintes passos:

- a) São calculados os novos valores de tensão de circuito aberto e de corrente de curto-circuito, por meio da Equação (3) e Equação (4), respectivamente;

$$V_{OC2} = V_{OC1} + \beta(T_1 - T_2) + [(N_s m k_B T) / e] \ln(G_2 / G_1) \quad (3)$$

$$I_{SC2} = I_{SC1} (G_2 / G_1) + \alpha(T_2 - T_1) \quad (4)$$

O fator de idealidade (m), presente na Equação (3), pode ser calculado de acordo com a Equação (5). A Equação (5) foi obtida de forma empírica por Krenzinger [9] e testada no método de translação geométrica em diversos módulos [10]. O fator de forma (FF) presente na Equação (5) é relativo à condição de medida da curva I - V . Desta forma, o valor de m é considerado o mesmo para a condição de medida e para a condição de translação. Esta consideração é válida desde que a diferença de irradiância entre a condição medida e a de translação não seja superior a 500 W/m².



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERIA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL AREA
MECANICA
DE LAS
INGENIERIAS

FoDAMI

$$m = 2,8 - 2,3FF \quad (5)$$

- b) Transladam-se os valores de corrente de acordo com a Equação (6);

$$I_{TR_GEO} = I_1 + (I_{SC2} - I_{SC1}) \quad (6)$$

- c) É calculado um valor de tensão de circuito aberto auxiliar (V_{OC_AUX}), a partir dos pontos relativos à corrente trasladada e de tensão medida;

- d) Cada ponto de tensão é então trasladado de acordo com a Equação (7);

$$V_{2GEO} = V_1 + (V_{OC2} - V_{OC_AUX}) \quad (7)$$

- e) Uma vez que, a tensão é deslocada ponto a ponto, a corrente de curto-circuito é alterada devido à inclinação da curva I - V naquela região. Desta forma, se faz necessário deslocar novamente a corrente, ponto a ponto, por meio de um fator de correção apresentado na Equação (8);

$$I_{2GEO} = I_{TR_GEO} + \left(\frac{V_{OC_AUX} - V_{OC2}}{R_p} \right) \quad (8)$$

A nomenclatura relativa às Equações (3) a (8) é apresentada a seguir:

V_{2GEO} = Tensão corrigida para a condição de translação;

V_{OC1} = Tensão de circuito aberto na condição medida;

V_{OC2} = Tensão de circuito aberto na condição padrão ou outra para a qual se deseja trasladar;

V_{OC_AUX} = Tensão de circuito aberto relativa à tensão medida e a corrente trasladada;

I_{2_GEO} = Corrente corrigida para a condição de translação;

I_{SC2} = Corrente de curto-circuito na condição para a qual se deseja trasladar;

I_{TR_GEO} = Corrente trasladada por meio da Equação (6);

É importante ressaltar que a correção proposta para a corrente trasladada, Equação (8), pode ser desprezada quando a correção da curva não apresentar uma diferença grande de temperatura (superior a 10°C) ou quando a resistência paralela for consideravelmente alta (superior a 1000 Ω).

Como forma de apresentar a eficácia da metodologia proposta para a translação das curvas pelo método geométrico, foram geradas duas curvas segundo o modelo de um diodo. A fim de facilitar a visualização de cada passo da metodologia proposta, as curvas foram geradas para um módulo de 72 células, com um valor relativamente baixo de resistência paralela (100 Ω), e em condições

extremas de operação. Na primeira condição, a curva foi gerada para uma irradiância de 700 W/m^2 e temperatura de 70°C e a condição de translação considerada foi de 1100 W/m^2 e 20°C .

A Figura 2 ilustra o método de translação geométrica, a partir de uma curva gerada matematicamente relativa a uma condição extrema de operação, comparando com uma curva também gerada matematicamente em outra condição de temperatura e irradiância.

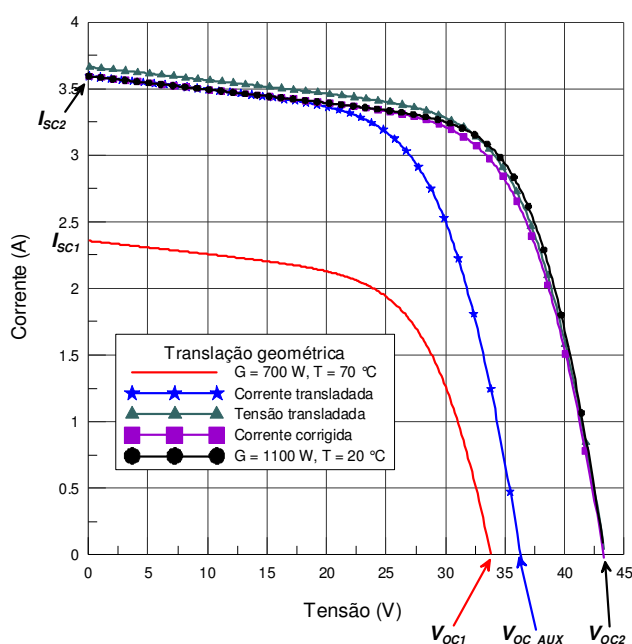


Figura 2 Curvas geradas analiticamente segundo o modelo de um diodo e metodologia proposta para a translação de curvas I - V , segundo o método geométrico.

4. APLICAÇÃO DO MÉTODO DE TRANSLAÇÃO GEOMÉTRICA

A primeira etapa para a aplicação do método de translação geométrica é a determinação dos coeficientes térmicos do dispositivo fotovoltaico. A técnica adotada para a determinação experimental destes coeficientes é descrita em [11]. Foram medidos doze módulos de diferentes tecnologias. Parte destes módulos foi medida junto ao Laboratório de Energia Solar da UFRGS (Labsol) e parte junto ao Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnologías (CIEMAT), localizado na cidade de Madri, Espanha. A Tabela 1 apresenta os coeficientes térmicos determinados para o grupo de módulos ensaiados, além dos valores fornecidos pelos fabricantes, uma vez que, estes se encontrem disponibilizados.



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL AREA
MECANICA
DE LAS
INGENIERIAS

FoDAMI

Tabela 1 Coeficientes térmicos para os módulos ensaiados: dados medidos e fornecidos pelos fabricantes (quando disponíveis).

MÓDULO	DADOS MEDIDOS			DADOS DE CATÁLOGO			Tecnologia de célula
	α $\left(\frac{\%I_{SC}}{^{\circ}C}\right)$	β $\left(\frac{mV}{^{\circ}C}\right)$	γ $\left(\frac{\%P_M}{^{\circ}C}\right)$	α $\left(\frac{\%I_{SC}}{^{\circ}C}\right)$	β $\left(\frac{mV}{^{\circ}C}\right)$	γ $\left(\frac{\%P_M}{^{\circ}C}\right)$	
KC50T*	0,05	-75,5	-0,404	0,04	-82,1	-	mc-Si
KC130TM*	0,08	-67,1	-0,362	0,04	-82,1	-	mc-Si
HG50S*	0,11	-67,2	-0,324	0,10	-82,1	-0,47	c-Si
US32*	0,12	-73,5	-0,291	0,08	-51,0	-	a-Si/a-SiGe
I-100/2*4	0,04	-173,8	-0,483	0,05	-160,0	-	c-Si
MST45MVHS*	0,08	-423,0	-0,284	-	-	-	a-Si/a-SiGe
Eclipse 80-C**	0,02	-136,3	0,34	0,013	-178,0	-0,49	CIS
SLK60P6**	0,08	-110,8	-0,38	0,06	-131,4	-0,43	mc-Si
MST-43LV**	0,08	-111,0	-0,42	-	-	-	a-Si/a-SiGe
HIP-200NHE1**	0,07	-140,4	-0,26	0,03	-129,0	-0,33	HIT
WSG0001E075**	0,03	-114,1	-0,21	0,05	-125,0	-0,36	CIS
FS-272**	0,09	-109,7	-0,30	0,04	-178,0	-0,25	CdTe

*Módulos medidos junto ao Labsol.

**Módulos medidos junto ao CIEMAT.

Para cada um dos módulos ensaiados, foram medidas quatro curvas em diferentes condições de irradiância e temperatura, além de uma curva na condição para a qual se pretendia realizar a translação. Dessa forma, foi possível comparar a eficácia do método de translação geométrica. Uma das formas de análise foi medir a máxima potência na curva transladada e na curva medida, na condição de comparação e a outra forma de análise foi aplicar um método de comparação de curvas *I-V*, descrito em [12]. A Figura 3a apresenta as curvas medidas para o módulos HIP200NHE1, usadas para testar o método de translação geométrico, enquanto a Figura 3b apresenta estas curvas transladadas para a condição de comparação. Na Figura 3b é também apresentada a diferença entre a potência de cada curva transladada e a potência da curva de comparação. Como se pode observar, o método de translação apresentou ótimo resultado para todas as curvas medidas neste caso.



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERIA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL AREA
MECANICA
DE LAS
INGENIERIAS

FoDAMI

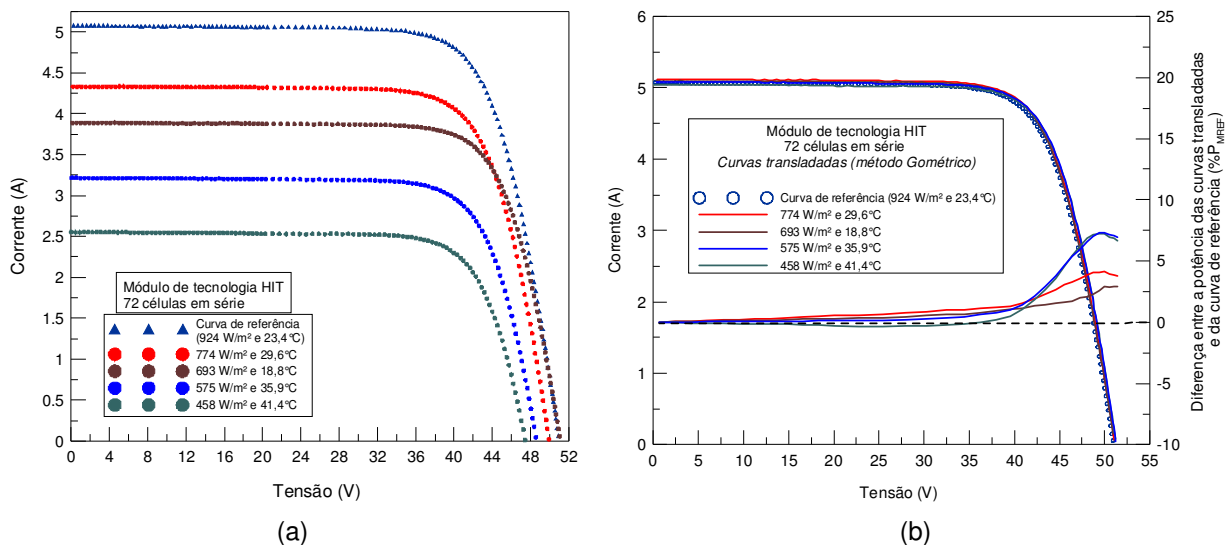


Figura 3 (a) Curvas medidas del módulo HIP200NHE1 para teste do método de translação geométrico e (b) curvas trasladadas deste módulo por meio do método de translação geométrico.

A Figura 4a apresenta o desvio médio quadrático entre a potência das curvas trasladadas e a curva de comparação. Por sua vez, a Figura 4b apresenta a diferença percentual entre a máxima potência de cada curva trasladada e a curva de comparação.

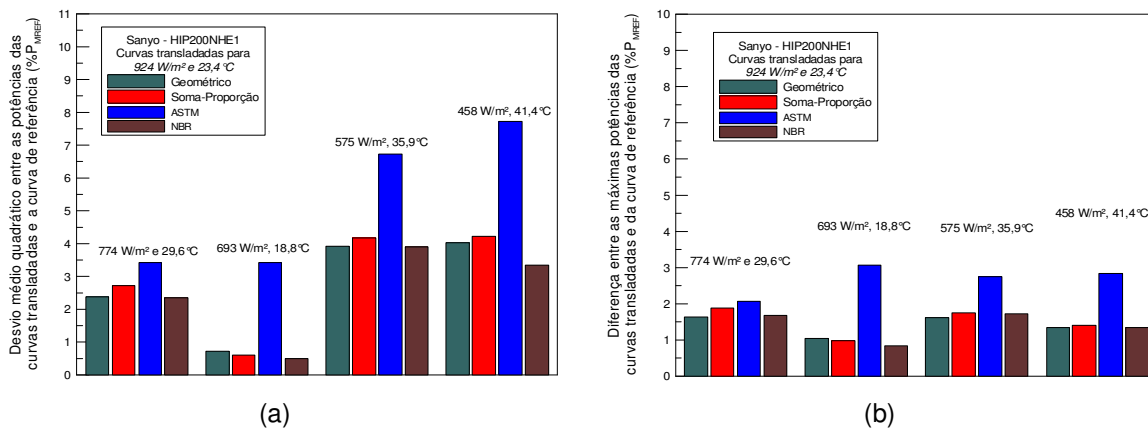


Figura 4 (a) Desvio médio quadrático entre a potência das curvas trasladadas e uma curva de referência para o módulo HIP200NHE1 e (b) diferença entre a máxima potência das curvas trasladadas e uma curva de referência para o mesmo módulo.

Após aplicar o método de translação geométrica nos doze módulos testados pode-se concluir o que segue: É um método bastante simples e de fácil aplicação que, em geral, apresenta resultados apenas um pouco inferiores aos da Norma Internacional. Não exige a determinação de coeficientes além dos térmicos, necessários para calcular os novos valores de I_{sc} e V_{oc} , e que podem, a princípio, ser obtidos a partir de dados de catálogo. Em geral apresenta bons resultados, mas não é um método indicado para translações que envolvam curvas $I-V$ com imperfeições (degraus de corrente, por exemplo). Este método pode ser aplicado em translações com variações de até 50% na irradiância e 20°C na temperatura apresentando um erro máximo de 3% para silício cristalino (isto exclui o módulo KC50T, onde em alguns casos todos os métodos apresentaram desvios superiores a 3%). Para módulos de filmes finos, translações com essa amplitude podem acarretar em erros de até 8% e erros de até 3% para translações com variações de até 20% na irradiância e 20°C na temperatura.

5. CONCLUSÕES

Foi apresentado um método de translação alternativo aos propostos pelas normas técnicas, denominado método de translação geométrico. Este método foi aplicado em doze módulos de diferentes tecnologias. Cada módulo teve cinco curvas $I-V$ medidas, quatro para translação e uma para comparação (curva para a qual as outras quatro foram transladadas).

Pela análise das curvas transladadas conclui-se que este método apresenta uma excelente alternativa para translações de curvas $I-V$, pela sua simplicidade e por apresentar resultados próximos aos da Norma Internacional (para translações com variações de até 30% na irradiância e 20°C na temperatura).

6. REFERÊNCIAS

- [1] ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1991. "NBR12136 Módulos fotovoltaicos – Determinação de características fotoelétricas", Rio de Janeiro.
- [2] Bleasser, G., 1995. "PV array translation procedure", Proc. 13th EC PVSEC.
- [3] Anderson, A. J., 1995. "Final report for task 2.0 NREL" subcontract N° TAD-4-14166-01, Oak Leaf Place.
- [4] Van Overstraeten, R. J., Mertens, R. P., 1986. "Physic, technology and use of photovoltaics", Adam Hilger Ltd, Bristol and Boston.



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL AREA
MECANICA
DE LAS
INGENIERIAS

FoDAMI

- [5] 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".
- [6] IEC, 1987. International Electrotechnical Commission. "IEC-891 - Procedures irradiance correction to measured I - V characteristics of crystalline silicon devices for temperature and irradiance".
- [7] ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas 1991. "NBR12302 Módulos fotovoltaicos – Correção das curvas características corrente *versus* tensão ($I \times V$), em função da temperatura e radiação", Rio de Janeiro.
- [8] Marion, B., Rummel S. e Anderberg, A., 2004. "Current-Voltage Curve Translation by Bilinear Interpolation", Progress in Photovoltaics, vol. 12, pp. 593-607.
- [9] Krenzinger, A., 1994. "Modelos Matemáticos para la Simulación de Sistemas Fotovoltáicos por Ordenador", I Congreso Latinoamericano sobre Energías Alternativas, 1, Editora da Facultad Regional Córdoba, Argentina. Córdoba, pp. 21-33.
- [10] 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.
- [11] Bühler, A. J. e Krenzinger, A., 2008. Comparação entre diferentes métodos de translação de curvas I-V de módulos Fotovoltaicos. Congresso Brasileiro de Energia Solar e III Conferencia Latinoamericana de la ISES, Florianópolis. Anais do II CBENS & III ISES-CLA. Recife: ABENS.
- [12] Bühler, A. J. e Krenzinger, A., 2009. Proposta de um Método para Comparação de Curvas Características de Dispositivos Fotovoltaicos. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, v. 13, p. 04.01-04.08.

Agradecimentos

Os autores deste trabalho gostariam de agradecer ao Laboratório de Energia Solar da UFRGS (Labsol) e ao Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas da Espanha (CIEMAT) por terem cedido os equipamentos e módulos medidos neste trabalho, bem como ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro.