

ANÁLISE DA IMPORTÂNCIA DO FATOR DE DESCASAMENTO ESPECTRAL NA CARACTERIZAÇÃO ELÉTRICA DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

Fabiano Perin Gasparin – gasparin.fabiano@gmail.com

Alexandre José Bühler - ajbuhler@gmail.com

Arno Krenzinger – arno.krenzinger@ufrgs.br

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, PROMEC – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica

Resumo. A caracterização de módulos fotovoltaicos envolve essencialmente a determinação da curva I-V (corrente versus tensão), que é dependente da distribuição espectral da luz incidente. Justamente por essa razão, as condições padronizadas de teste possuem um espectro de referência denominado AM 1,5. Com o crescimento de novas tecnologias de fabricação de módulos fotovoltaicos torna-se comum a utilização de uma célula de referência de silício cristalino para medida da radiação solar em ensaios de dispositivos com curva de resposta espectral diferente. Neste caso, é fundamental a realização do cálculo do fator de descasamento espectral existente entre a célula de referência e o dispositivo em ensaio. Neste trabalho foi caracterizado um módulo de silício amorfo de tripla junção ao longo de um dia e foi avaliada a importância da determinação do fator de descasamento espectral entre esse módulo e uma célula de referência de silício monocristalino. Verificou-se que o erro introduzido pelo descasamento espectral pode ser da ordem de 10 % nos extremos do dia. A aplicação da correção espectral reduz este erro para valores da ordem de 1%. Também foi avaliado o uso de um piranômetro térmico como sensor de medida de irradiância solar e a necessidade de realizar a correção espectral também neste caso.

Palavras-chave: Energia solar fotovoltaica, Curva I-V, Correção espectral.

1. INTRODUÇÃO

A caracterização elétrica de dispositivos fotovoltaicos envolve essencialmente a determinação de sua curva característica I-V (corrente versus tensão). A partir da curva I-V podem ser determinados os diversos parâmetros elétricos do dispositivo, tais como a potência máxima (P_M), corrente de curto-circuito (I_{SC}), tensão de circuito aberto (V_{OC}), tensão de máxima potência (V_{MP}), corrente de máxima potência (I_{MP}) e fator de forma (FF) que é obtido pela relação entre a máxima potência do dispositivo e o produto de V_{OC} por I_{SC} . A eficiência dos dispositivos também é um parâmetro importante e depende da área do módulo. A fim de possibilitar a comparação entre os diferentes módulos disponíveis no mercado, os ensaios de caracterização elétrica devem ser realizados nas condições padronizadas de teste, ou os resultados devem ser corrigidos para as referidas condições, isto é, irradiância global de 1000 W/m^2 , temperatura da célula de $25 \text{ }^\circ\text{C}$ e distribuição espectral da radiação AM 1,5.

Com o crescimento da participação de módulos fotovoltaicos de filmes finos e demais tecnologias emergentes no mercado, tem se tornado frequente situações em que a curva de resposta espectral do dispositivo utilizado para medir a irradiância solar é diferente da curva de resposta espectral do dispositivo sob teste. Quando isso ocorre, o papel do descasamento espectral, que é originado pela diferença entre o espectro utilizado no ensaio de caracterização e o espectro de referência, não pode ser negligenciado. Portanto, a determinação do fator de descasamento espectral é importante, pois pode representar uma variação significativa na determinação dos parâmetros elétricos, tanto na caracterização elétrica realizada sob iluminação natural e principalmente quando se utiliza simuladores solares. No caso da radiação solar natural a distribuição espectral depende de diversos fatores tais como a posição geográfica, condições climáticas, dia do ano e orientação da superfície do dispositivo. No caso de simuladores solares, a distribuição espectral da radiação depende basicamente das características da lâmpada e do tipo do simulador. Normalmente, a distribuição espectral da radiação do simulador solar aproxima-se marginalmente do espectro solar padrão, mesmo em simuladores solares cuja classificação do simulador solar em função da distribuição espectral seja “A” (máxima classificação), dada pela norma IEC 60904-9 (2007).

A distribuição AM 1,5 é o espectro de referência estabelecido na norma IEC 60904-3 (2008) ou na norma americana ASTM G173-03 (2008) e consiste na distribuição total da radiação solar (direta + difusa), correspondendo a uma irradiância integrada de 1000 W/m^2 incidente em uma superfície plana orientada para o Sol, inclinada a 37° em relação à horizontal e com massa de ar 1,5. Considera-se ainda o albedo dependente do comprimento de onda e as seguintes condições atmosféricas:

- atmosfera padrão dos Estados Unidos, com concentração de CO_2 aumentada para os níveis atuais (370 ppm), modelo de aerossóis rural e sem poluição;
- água precipitável: 1,4164 cm;
- conteúdo de ozônio: 0,3438 atm-cm ou 343,8 DU;

- turbidez (comprimento óptico de aerossóis): 0,084 em 500 nm;
- pressão de 1013,25 hPa, ou seja a pressão ao nível do mar.

A partir das condições mencionadas e demais parâmetros de entrada especificados na norma, a distribuição espectral da radiação é gerada utilizando o modelo espectral solar SMARTS (*Simple Model for the Atmospheric Radiative Transfer of Sunshine*), versão 2.9.2, e é apresentada na Fig. 1.

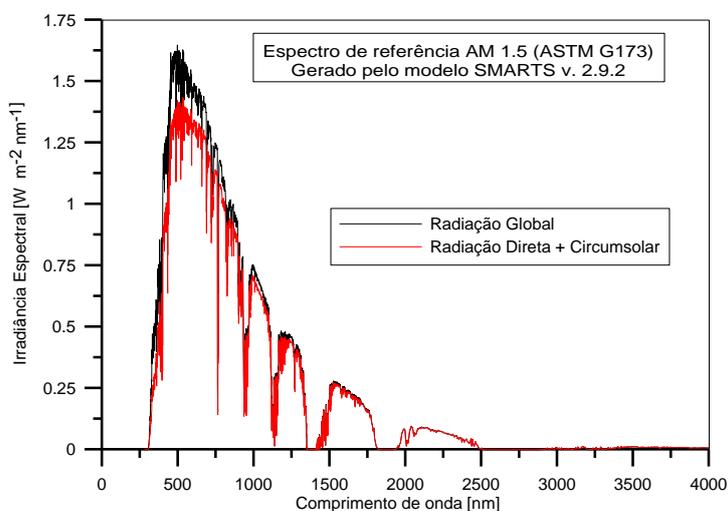


Figura 1– Distribuição espectral AM 1,5.

O objetivo deste trabalho é determinar os valores do fator de descasamento espectral encontrado ao longo de um dia para um módulo de silício amorfo de tripla junção, utilizando como sensor de medida de irradiância uma célula de silício monocristalino e também um piranômetro. Os valores obtidos são comparados com a corrente de curto-circuito normalizada por um valor de referência escolhido entre uma das medidas ao longo do dia. Foram traçadas diversas curvas I-V de um módulo de silício amorfo de tripla junção a cada 30 min, a partir das 9h30min até às 18h30min no dia 30 de Janeiro de 2012, um dia de céu limpo na cidade de Porto Alegre – RS. No momento da aquisição das curvas I-V foi medida a distribuição espectral da radiação incidente. Após realizar cada medida da curva I-V do módulo de silício amorfo, foram traçadas também curvas I-V de um módulo de silício monocristalino, que possui a mesma tecnologia da célula de referência. A partir das curvas I-V de ambos os módulos é retirado o valor da corrente de curto-circuito a fim de realizar a avaliação dos cálculos de descasamento espectral.

2. FATOR DE CORREÇÃO ESPECTRAL DE DISPOSITIVOS FOTOVOLTAICOS

A norma IEC 60904-7 (2008) descreve os procedimentos para a correção do erro introduzido na caracterização de um dispositivo fotovoltaico causado pelo descasamento entre a distribuição espectral da radiação incidente utilizada no ensaio e o espectro de referência AM 1,5, tendo em conta a resposta espectral da célula de referência e do dispositivo sob teste. A distribuição espectral da irradiância incidente no dispositivo fotovoltaico no momento da caracterização elétrica deve ser determinada a fim de possibilitar as correções necessárias para a obtenção do desempenho que o dispositivo fotovoltaico teria sob a distribuição espectral de referência AM 1,5 ou outra desejada. Além da distribuição espectral da radiação, é necessário conhecer a curva da resposta espectral da célula de referência utilizada para medida da radiação solar e a curva de resposta espectral do dispositivo sob teste. De posse de todas estas informações é possível determinar o fator de descasamento espectral (MM) por meio da Eq. 1.

$$MM = \frac{\int E_{ref}(\lambda) S_{ref}(\lambda) d\lambda}{\int E_{med}(\lambda) S_{ref}(\lambda) d\lambda} \frac{\int E_{med}(\lambda) S_{amostra}(\lambda) d\lambda}{\int E_{ref}(\lambda) S_{amostra}(\lambda) d\lambda} \quad (1)$$

onde

$E_{ref}(\lambda)$ é a irradiância espectral de referência, por exemplo, a AM 1,5 dada na norma IEC 60904-3,

$E_{med}(\lambda)$ é a irradiância espectral incidente no momento da medida,

$S_{ref}(\lambda)$ é a resposta espectral da célula de referência utilizada para medida da irradiância solar,

$S_{amostra}(\lambda)$ é a resposta espectral do dispositivo fotovoltaico sob teste.

As integrais devem ser calculadas em toda a faixa espectral em que a célula de referência e o dispositivo sob teste são espectralmente sensíveis. A Eq. 1 permite calcular o fator de descasamento espectral levando em conta apenas a forma da distribuição espectral medida e a forma da resposta espectral da célula de referência e do dispositivo em teste, não sendo necessários os valores absolutos. Se as curvas de resposta espectral do dispositivo sob teste e da célula de referência forem iguais, obviamente não é necessário o cálculo do MM , já que resulta na unidade.

Caso a irradiância incidente seja medida com um piranômetro térmico, a Eq. 1 pode ser simplificada para a forma da Eq. 2, onde a resposta espectral do sensor de medida de irradiância solar é a unidade. Essa simplificação pode ser feita uma vez que o piranômetro térmico possui resposta espectral bastante larga e não seletiva. De acordo com o fabricante Eppley, a resposta espectral compreende comprimentos de onda entre 285 e 2800 nm. Portanto, para que a integral seja calculada em todo este intervalo o espectro também deve ser determinado em todo este intervalo de comprimento de onda.

$$MM_{\text{piranômetro}} = \frac{\int E_{\text{ref}}(\lambda)d\lambda \int E_{\text{med}}(\lambda)S_{\text{amostra}}(\lambda)d\lambda}{\int E_{\text{med}}(\lambda)d\lambda \int E_{\text{ref}}(\lambda)S_{\text{amostra}}(\lambda)d\lambda} \quad (2)$$

Uma vez determinado o fator de descasamento espectral (MM) é possível determinar a irradiância efetiva em que o ensaio foi realizado, bastando para isto multiplicar a irradiância medida pelo fator MM , como apresentado na Eq. 3.

$$G_{\text{eff}} = MM \times G_{\text{med}} \quad (3)$$

onde G_{eff} é a irradiância efetiva (corrigida espectralmente) em que a medida foi realizada e G_{med} é a irradiância medida pelo dispositivo de referência. Uma vez que o valor de G_{eff} tenha sido determinado, a curva I-V pode ser corrigida para o valor padronizado de irradiância de 1000 W/m² ou outro valor desejado. Esta translação pode ser feita com o procedimento 1 proposto pela norma IEC 60891(2009), na seção 3.2.

O módulo fotovoltaico utilizado neste trabalho é um módulo de silício amorfo de tripla junção denominado US32, composto por camadas de a-Si/a-Si/a-Si-Ge. As curvas de resposta espectral de cada junção de um módulo de tecnologia idêntica ao módulo utilizado neste trabalho são apresentadas na Fig. 2, bem como a resposta espectral da célula de referência de silício monocristalino (ON81) utilizada. A resposta espectral da junção topo foi medida com o módulo polarizado com radiação da região do vermelho e infravermelho próximo, a da junção do meio foi obtida com o módulo polarizado com radiação da região violeta e infravermelho próximo, e a da junção base foi obtida com o módulo polarizado com radiação da região do violeta e verde. Estas medidas foram realizadas no laboratório ESTI (*European Solar Test Installation*), Ispra- Itália. É conveniente ressaltar que estas medidas já incorporam o efeito causado pela absorção da luz nas camadas superiores quando a corrente da camada considerada é determinada. Isto ocorre, pois as curvas de resposta espectral foram medidas com o módulo completo, ou seja, o efeito de uma camada superior já está presente na curva de resposta medida das camadas subsequentes.

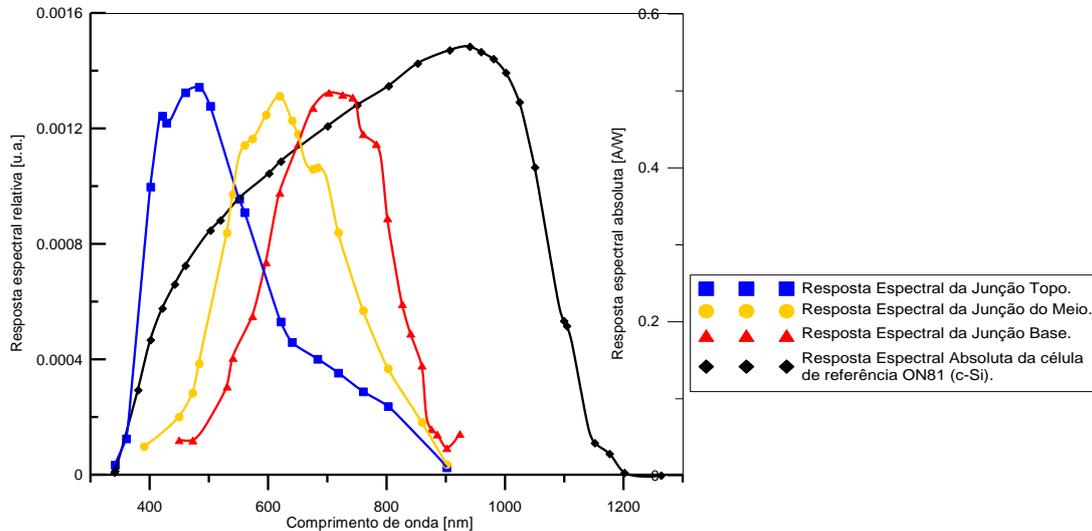


Figura 2– Curva de resposta espectral relativa de um módulo de tripla junção de mesma tecnologia que o módulo US32 e curva de resposta espectral absoluta da célula de referência de silício monocristalino ON81.

Quando se aplica um procedimento de correção espectral para um dispositivo fotovoltaico de mais de uma junção deve-se levar em conta que, estando as células ligadas em série, a corrente fornecida pelo conjunto será limitada pela menor corrente gerada por cada junção. Desta maneira, a junção limitadora de corrente é determinada verificando qual o menor valor obtido no cálculo da densidade de corrente (J) dada pela integral expressa na Eq. 6, que é aplicada à curva de resposta espectral de cada junção. Uma vez determinada a junção limitadora de corrente realiza-se o cálculo do fator de descasamento espectral com a resposta espectral desta junção e com a junção limitadora encontrada para o espectro de referência.

$$J = \int E_{\text{med}}(\lambda)S_{\text{amostra}}(\lambda)d\lambda \quad (6)$$

3. METODOLOGIA

O trabalho consistiu na medida de curvas I-V de dois módulos fotovoltaicos, sendo um de silício amorfo de tripla junção (US32) e outro de silício monocristalino (HG-50S), ao longo de um dia, em intervalos de aproximadamente 30 minutos. Antes de cada medida, os módulos sob ensaio eram resfriados até aproximadamente 25 °C, utilizando a câmara climática descrita em Bühler *et al.* (2009). O módulo de tripla junção era então posicionado em um suporte no lado exterior da câmara climatizada e exposto à radiação solar. Na Fig. 3 está uma foto do suporte com o módulo fotovoltaico bem como os instrumentos de medida utilizados.

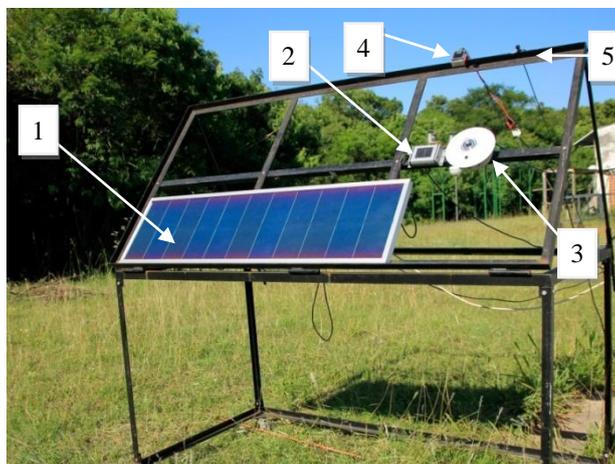


Figura 3 – (1): Módulo fotovoltaico, (2): Célula de referência de silício cristalino ON81, (3): Piranômetro Térmico, (4): Célula de referência PS004, (5): Extremidade da fibra óptica do espectrorradiômetro.

No momento que o sensor de temperatura fixado na parte posterior do módulo atingisse 30 °C, a curva I-V era traçada, ao mesmo tempo em que o espectro era medido com um espectroradiômetro marca StellarNet, modelo Black CXR-SR-50, com intervalo de medida entre 300 e 1100 nm. O valor de temperatura de 30 °C foi escolhido a fim de que todas as medidas fossem realizadas com mesma temperatura, tendo uma variação máxima de 0,5 °C. Foram registrados também a temperatura da célula de referência, o valor da irradiância medida com um piranômetro térmico Eppley, e o sinal de uma segunda célula de referência (PS004) utilizada apenas para fins de aferição. Após a medida do módulo de silício amorfo o mesmo procedimento era realizado para o módulo de silício monocristalino.

Os valores de irradiância global medidos pelo piranômetro térmico ao longo do dia estão apresentados na Tab. 1. Com exceção do início e final do dia, todos os valores estão próximos de 1000 W/m².

Tabela 1. Irradiância solar medida pelo piranômetro e massa de ar ao longo do dia do ensaio (30/01/2012). O horário corresponde ao horário brasileiro de verão.					
Horário	Massa de ar	Irradiância solar (W/m ²)	Horário	Massa de ar	Irradiância solar (W/m ²)
09:21	1,938	926,4	14:31	1,046	1069,4
09:58	1,587	978,7	15:00	1,080	1063,4
10:31	1,386	1025,1	15:30	1,135	1080,4
11:00	1,262	1053,7	15:59	1,210	1076,1
11:30	1,170	1053,8	16:30	1,322	1044,3
11:59	1,106	1058,5	17:01	1,482	1009,6
12:30	1,060	1054,1	17:32	1,712	942,2
12:59	1,034	1068,4	18:00	2,017	889,0
13:31	1,022	1065,9	18:31	2,551	791,6
13:58	1,025	1067,2			

Os valores de I_{SC} retirados das curvas I-V foram trasladados para uma irradiância de 1000 W/m², de forma que a variação encontrada em I_{SC} ao longo do dia fosse devida exclusivamente ao descasamento espectral entre o dispositivo de medida de irradiância e o módulo sob teste.

4. RESULTADOS

Primeiramente é importante apresentar os resultados referentes ao módulo de silício monocristalino (HG50S). Os resultados das medidas do módulo HG50S servem como indicativo da qualidade das medidas, pois embora a curva de resposta espectral específica do módulo HG50S não seja conhecida, em princípio não deveria haver uma diferença

expressiva entre as curvas de respostas espectrais da célula de referência e do módulo, portanto não havendo diferença na determinação de I_{SC} ao longo do dia devido ao descasamento espectral.

Na Fig. 4 é apresentada a corrente de curto-circuito corrigida para a condição de 1000 W/m^2 do módulo HG50S medida ao longo do dia e normalizada pelo valor de I_{SC} obtido às 13h30min. Os valores de corrente foram normalizados em relação à medida das 13h30min, horário mais próximo do meio dia solar tendo em vista que estava em vigor o horário brasileiro de verão. Na Fig. 4 também está apresentada a variação da corrente de curto-circuito do módulo HG50S ao longo do dia quando a correção para a condição de 1000 W/m^2 é realizada com a medida de irradiância obtida do piranômetro térmico. Neste caso nota-se claramente o efeito da variação espectral ao longo do dia no valor de I_{SC} , que atingiu aproximadamente 2,5 % no início da manhã e 3,5 % no final da tarde. Ainda na Fig. 4 é apresentada a massa de ar geométrica de cada horário em que as medidas foram realizadas.

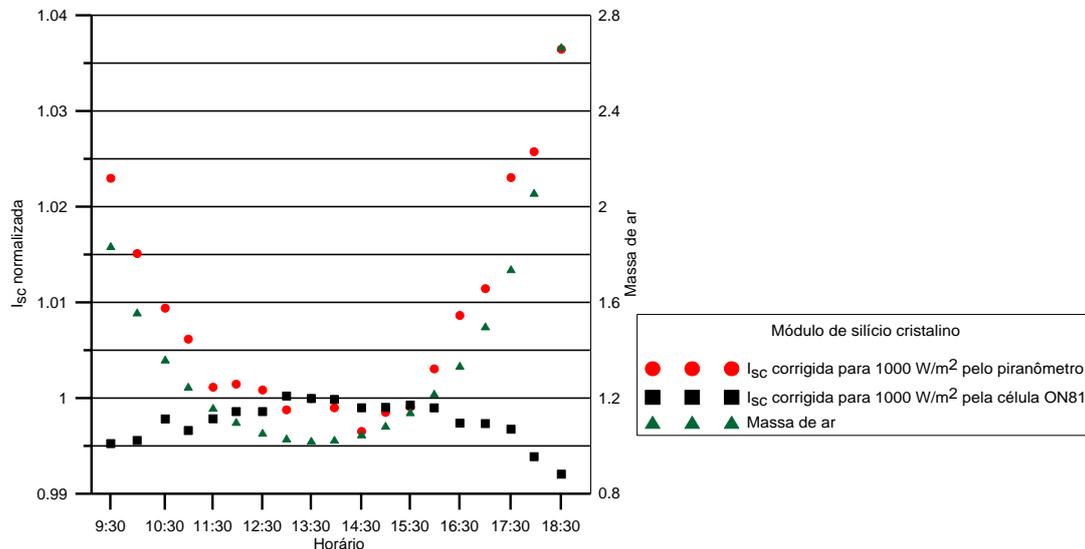


Figura 4 – Corrente de curto-circuito normalizada pelo valor medido às 13h30min do módulo HG50S, corrigida para a condição de 1000 W/m^2 pelo valor dado pela célula de referência ON81 e pelo valor dado pelo piranômetro, juntamente com a massa de ar ao longo do dia.

Verifica-se que a amplitude da variação de I_{SC} do módulo HG50S quando corrigida para a condição de 1000 W/m^2 pelo valor dado pela célula ON81 é da ordem de 0,5% no início da manhã e de no máximo 0,8% no final da tarde. A partir destes dados pode-se concluir que não há um descasamento espectral expressivo entre os dispositivos, pois o valor de I_{SC} é praticamente constante ao longo do dia, com maior diferença somente nos extremos do dia. A variação de I_{SC} encontrada nos extremos do dia sugere um pequeno descasamento espectral existente entre a célula de referência e o módulo ensaiado. Isto pode ocorrer, pois embora ambos sejam constituídos de c-Si é provável que pequenas diferenças no processo de fabricação de cada dispositivo afetem ligeiramente as suas curvas de resposta espectral, tendo em vista que são de fabricantes diferentes.

O espectrorradiômetro utilizado no experimento não possui calibração absoluta da irradiância espectral, porém mede com qualidade a forma da distribuição espectral da irradiância em um intervalo de 300 nm a 1050 nm. Na Fig. 5 são apresentados os espectros medidos em três diferentes horários do dia em que foi realizado o experimento bem como o espectro de referência AM 1,5.

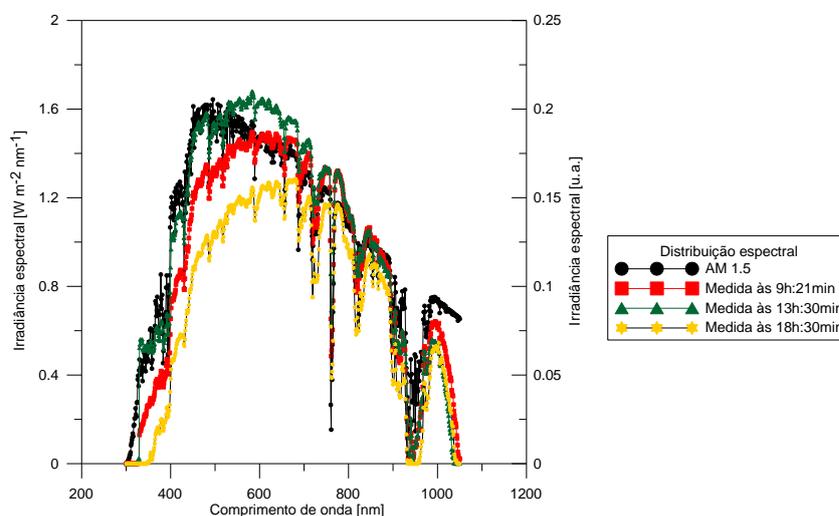


Figura 5 – Distribuição espectral AM 1,5 e distribuições medidas em diferentes horários do dia 30 de Janeiro de 2012.

Para o módulo de silício amorfo (US32) foi calculado o fator de descasamento espectral ao longo do dia com o uso da Eq. 1 seguindo o procedimento da norma IEC 60904-7 (2008). Na Fig. 6 é apresentado o valor de I_{SC} do módulo US32 normalizada pelo valor de I_{SC} determinado às 13h30min, bem como os valores do cálculo de descasamento espectral utilizando a Eq. 1 tomando como espectro de referência aquele medido às 13h30min e também o espectro padronizado AM 1,5. O espectro medido às 13h30min foi escolhido pelo seguinte motivo: a variação de I_{SC} ao longo do dia deve ser originada da variação da distribuição espectral no mesmo dia, portanto deve-se calcular qual o fator de descasamento espectral ao longo do dia em relação a qualquer um dos espectros medidos, e neste caso foi escolhido o espectro medido no horário mais próximo do meio dia solar.

Analisando a Fig. 6 é possível verificar que a variação de I_{SC} corrigida para a condição de 1000 W/m^2 é coincidente com o fator MM ao longo do dia tendo como referência o espectro das 13h30min. Ainda neste gráfico, estão representados os pontos calculados do fator de descasamento espectral tendo como referência o espectro AM 1,5. Neste caso, verifica-se que a forma é similar ao valor de I_{SC} normalizado, porém está deslocado no eixo das ordenadas devido à diferença existente entre o espectro padrão e os diversos espectros medidos no dia do ensaio. Verifica-se que ao longo do dia, para o módulo de silício amorfo de tripla junção, o valor determinado da corrente de curto-circuito sofreu uma variação de até 10% quando a irradiância é medida com a célula de referência ON81.

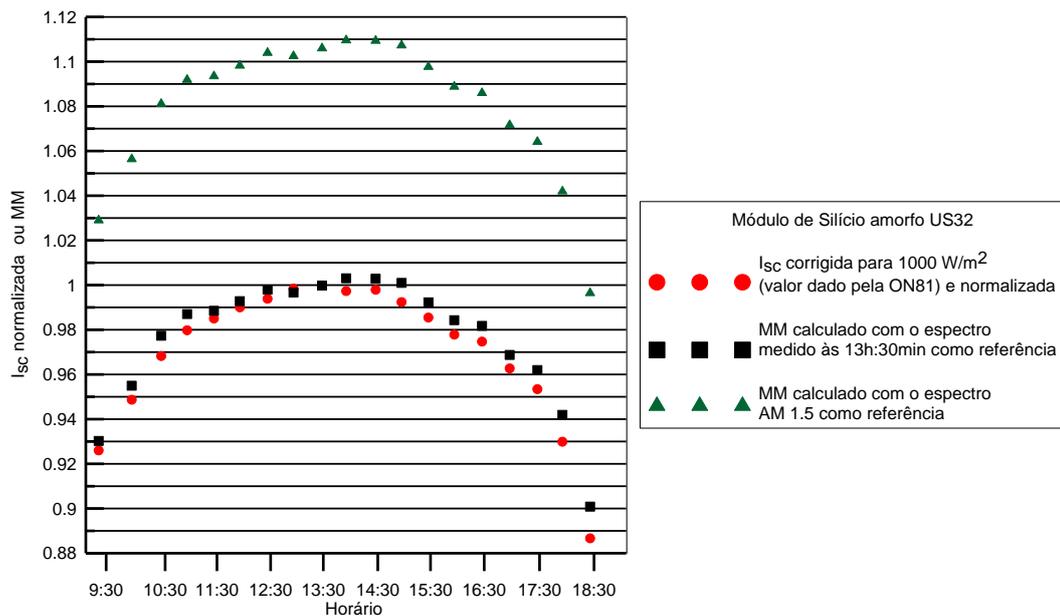


Figura 6 – Corrente de curto-circuito normalizada pelo valor obtido às 13h30min do módulo US32 e corrigida para a condição de 1000 W/m^2 utilizando a célula de referência ON81. Fator de descasamento espectral (MM) calculado com dois espectros de referência, aquele medido às 13h30min e o espectro padrão AM 1,5.

Na Fig. 7 estão apresentados os valores da corrente de curto-circuito normalizada pelo valor medido às 13h30min porém com a correção espectral aplicada. Para os cálculos de descasamento realizados com a célula de referência, a amplitude da variação é de aproximadamente 1,5 %, considerando-se todo o dia. Se forem excluídas as medidas realizadas após as 17h00min, verifica-se que a amplitude da variação é da ordem de 1%, resultado de todas as correções realizadas na caracterização do módulo.

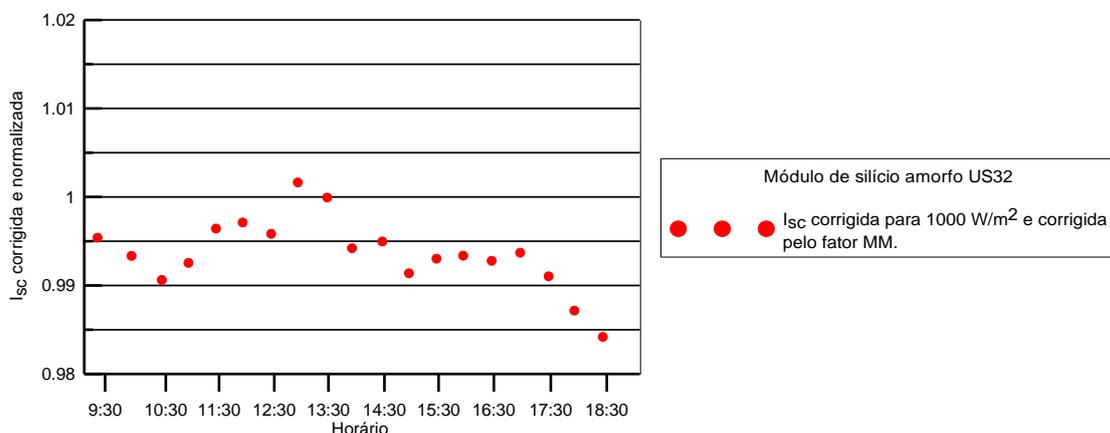


Figura 7 – Corrente de curto-circuito normalizada, corrigida para a irradiância solar de 1000 W/m^2 e corrigida pelo fator de descasamento espectral (MM).

O fator de descasamento espectral também foi calculado com a Eq. 2, tendo o piranômetro como instrumento de medida da radiação solar. Como o piranômetro térmico é sensível na faixa espectral de 285 a 2800 nm conforme dados do fabricante Eppley, a Eq. 2 deveria ser calculada para todo este intervalo, porém houve uma limitação dada pela faixa de leitura do espectroradiômetro utilizado, cujo intervalo de comprimento de onda medido foi de 300 a 1050 nm. Neste caso, os resultados são apenas indicativos, onde a limitação fica evidente na Fig 8. Pode-se observar que não há uma coincidência expressiva entre a corrente normalizada e o fator MM calculado ao longo do dia. O fator MM calculado com o espectro AM 1,5 como referência também é somente indicativo e evidencia a limitação das medidas realizadas neste caso.

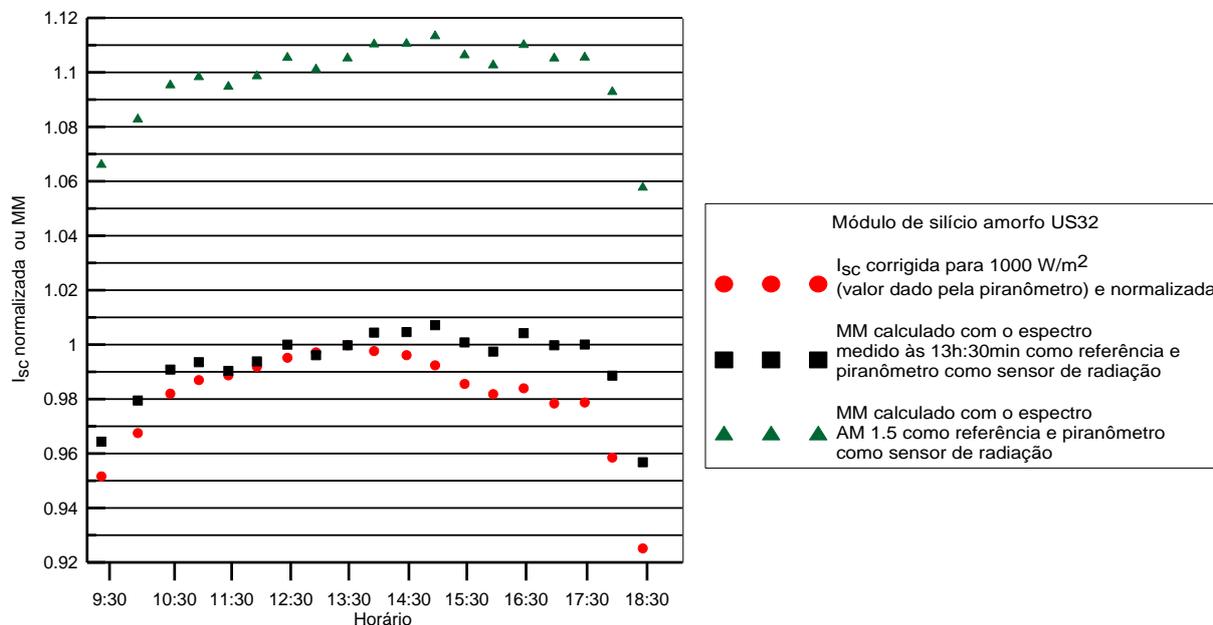


Figura 8 – Corrente de curto-circuito normalizada do módulo de silício amorfo US32 e corrigida para a condição de 1000 W/m² utilizando o valor da irradiância medida pelo piranômetro térmico ao longo do dia, juntamente com o fator MM calculado com o espectro medido às 13h30min e com o espectro padrão AM 1,5.

5. CONCLUSÕES

Foi realizado um estudo da influência e da importância do fator de descasamento espectral aplicado a um módulo de silício amorfo de tripla junção e a um módulo de silício monocristalino, mesma tecnologia da célula de referência utilizada para medir a irradiância solar.

No caso da utilização de uma célula de referência de silício cristalino de mesma tecnologia que o módulo sob ensaio, o erro de descasamento espectral é inibido, como era esperado. No caso do módulo de silício amorfo de tripla junção o fator de descasamento espectral calculado foi coincidente com a variação de I_{sc} ao longo do dia.

O uso do piranômetro térmico também acarreta a necessidade da correção espectral, porém ficou evidente que a correção espectral só pode ser aplicada, retornando resultados apreciáveis, se o espectro medido abranger o intervalo de sensibilidade do piranômetro térmico.

Fica claro por este trabalho que na caracterização elétrica de módulos com tecnologias diferentes das da célula de referência, bem como quando se utiliza piranômetros térmicos, que não são espectralmente seletivos, a correção espectral não pode ser negligenciada.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) e ao Instituto de Energias Renováveis e Eficiência Energética da Amazônia vinculado ao projeto INCT/MCT/CNPq pelo apoio financeiro na realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- ASTM international G 173 – 03 (2008) - Standard Tables for Reference Solar Spectral Irradiances: Direct Normal and Hemispherical on 37° Tilted Surface.
- Bühler, A., Gasparin, F. P., Rampinelli, G. A., & Krenzinger, A. (2009). Development of a Climatic Chamber for Photovoltaic Modules Testing. Proceedings of 20th COBEM 2009. Gramado: ABCM.
- Gasparin, F.P., Krenzinger, A. (2009). Sistema Traçador de Curvas Características de Módulos Fotovoltaicos. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, pp. 04.61-04.68.

- IEC 60904-1 (International Electrotechnical Commission) (2006) - Photovoltaic Devices – Part 1: Measurement of photovoltaic current-voltage characteristics.
- IEC 60891 (International Electrotechnical Commission) (2009) – Procedures for temperature and irradiance correction to measure I-V characteristics.
- IEC 60904-3 (International Electrotechnical Commission) (2008) - Photovoltaic Devices – Part 3: Measurement principles for terrestrial photovoltaic (PV) solar devices with reference spectral irradiance data.
- IEC 60904-7 (International Electrotechnical Commission) (2008) - Photovoltaic Devices – Part 3: Computation of the spectral mismatch correction for measurements of photovoltaic devices.
- IEC 60904-9 (International Electrotechnical Commission) (2007) - Photovoltaic Devices – Part 9: Solar simulator performance requirements.

ANALYSIS OF THE IMPORTANCE OF THE SPECTRAL MISMATCH FACTOR ON THE ELECTRICAL CHARACTERIZATION OF PHOTOVOLTAIC MODULES

Abstract. *The electrical characterization of photovoltaic devices basically involves the determination of the characteristic I-V (current versus voltage) curve, and it is dependent on the spectral distribution of the incident light. For that reason, the standard test conditions have a reference spectrum called AM 1.5. With emerging photovoltaic technologies on the market it is becoming usual to use a crystalline silicon reference cell to measure solar irradiance in tests of photovoltaic devices with a different spectral response. In this case the determination of the spectral mismatch factor between the devices is fundamental. In this work it was characterized a triple junction amorphous silicon photovoltaic module along one day and it was evaluated the importance of the determination of the mismatch factor between the device under test and a crystalline silicon reference cell. It was seen that the error introduced by the spectral mismatch can be around 10%. The application of the spectral correction reduces this uncertainty to values about 1%. It was also evaluated the use of a thermal pyranometer to measure solar irradiance and the need to calculate the spectral mismatch also in this case.*

Key words: *Photovoltaic solar energy, I-V curve, Spectral correction.*