

A IMPORTÂNCIA DA DETERMINAÇÃO DO ESPECTRO DA RADIAÇÃO LOCAL PARA UM CORRETO DIMENSIONAMENTO DAS TECNOLOGIAS DE CONVERSÃO

F. H. Santos¹, A. J. Bühler², N. B. Filho³, D. A. B. Zambra⁴.

Laboratório de Energias Renováveis - Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia do Rio Grande do Sul (IFRS), Tel. 5554-32602435 – Fax 5554-32602400

e-mail: fernando.santos@farroupilha.ifrs.edu.br

Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica - Universidade de Caxias do Sul (UCS),

Tel./Fax (54) 3218-2100 e-mail: diorge.zambra@gmail.com

Recibido 08/09/15, aceptado 08/10/15

RESUMO: Este trabalho apresenta uma proposta para determinar uma eficiência de conversão de um dispositivo fotovoltaico baseada não no espectro padrão, mas sim em um espectro alternativo. Este espectro, típico do local de instalação do sistema fotovoltaico, é gerado pelo software SMARTS a partir de dados como temperatura ambiente, pressão atmosférica e latitude. Através da determinação do espectro alternativo e da resposta espectral da tecnologia fotovoltaica a ser analisada, é possível determinar um fator de descasamento espectral. Através deste é possível calcular uma eficiência de conversão para um dispositivo fotovoltaico que se aproxime mais da real eficiência que o dispositivo terá em campo do que fazendo a mesma análise com o espectro padrão. Neste trabalho a metodologia proposta foi testada para a cidade de Farroupilha-RS, Brasil e para as duas tecnologias mais comuns no mercado. Encontrou-se valores de eficiência de 4,7% (m-Si) e 4,8% (mc-Si) superiores às eficiências no espectro padrão.

Palavras chave: Energia solar, espectro solar, resposta espectral, eficiência de conversão.

INTRODUÇÃO

A energia proveniente do sol é transmitida pelo espaço até o planeta Terra na forma de radiação eletromagnética composta por diversos comprimentos de ondas distintos. A quantidade de energia que uma onda eletromagnética pode transmitir é diretamente proporcional a sua frequência de propagação, de acordo com a equação de Planck-Einstein, equação (1), quanto maior a frequência da onda, mais energia esta transporta.

$$E = h * f \quad (1)$$

Onde a energia (E) é expressa em joules (J), a frequência (f) é expressa em hertz (Hz) e h é a constante de proporcionalidade de Planck que possui valor aproximado de $6,62606957 \cdot 10^{-34}$ joules-segundo ($J.s$).

Visto que a onda eletromagnética se desloca no vácuo com velocidade constante (C) de aproximadamente 299.792.458 metros por segundo (m/s), pode-se determinar o comprimento de onda através da equação (2).

¹ Profissional Principal/Professor IFRS

² Profissional Principal/Professor IFRS

³ Investigador Principal/Professor IFRS

⁴ Investigador/Professor UCS

$$\lambda = \frac{C}{f} \quad (2)$$

Onde λ (λ) é o comprimento da onda expressa em submúltiplos de metros (m) e a frequência em hertz (Hz).

Já a densidade de potência (H), equação (3), que refere-se à taxa de energia incidente, em watts, sobre uma área de um metro quadrado (W/m^2) em relação a um período de tempo que geralmente é expressa na média diária da densidade de potência obtida em um ano ou mês, é obtida através da multiplicação do fluxo de fótons pela energia de cada fóton.

$$H = \phi \frac{hc}{\lambda} \quad (3)$$

Onde ϕ é o fluxo de fótons, definido como o número de fótons N que atinge certa área A em um determinado período de tempo (t), conforme equação (4).

$$\phi = \frac{N}{A * t} \quad (4)$$

A radiação eletromagnética proveniente do sol, denominada como espectro da radiação solar, apresenta uma distribuição de frequências semelhante à de um corpo negro aquecido a $5800 K$, o que representa aproximadamente a temperatura da superfície do sol. Porém, ao atravessar a atmosfera terrestre o espectro da radiação solar sofre distorções devido a reflexões das núvens, absorção e difusões.

A energia eletromagnética solar, ao ingressar na atmosfera, sofre uma difração que se comporta de acordo com a teoria de espalhamento de Rayleigh, causado pelos gases puros e secos, onde as partículas são esféricas com dimensões menores que um décimo do comprimento de onda ($r < 0,1\lambda$), sendo o espalhamento função contínua da frequência e proporcional à sua quarta potência (CRESESB, 2014), as ondas eletromagnéticas com comprimento de onda superiores a mil nanômetros ($\lambda > 1000$ nm) não interagem com o ar seco, ao contrário do que ocorre nas regiões correspondentes aos comprimentos de ondas da cor azul e da violeta, onde o espalhamento é predominante.

De acordo com HAAG (2012), além do espalhamento por Rayleigh, outros fatores contribuem na atenuação ou extinção de determinados comprimentos de ondas ao atravessar a atmosfera e incidir no solo terrestre, tais como a absorção pelo ozônio, pelo dióxido de nitrogênio, pela mistura uniforme de gases, pelo vapor de água e aerossóis.

A camada de ozônio (O_3) absorve grande parte da radiação ultravioleta (UV) com comprimentos de ondas inferiores a $320 nm$ e em determinadas bandas do infravermelho (IR) de comprimentos de ondas acima dos $3120 nm$, porém há ainda uma fraca absorção na faixa de luz visível.

A absorção pela mistura uniforme de gases, principalmente o oxigênio (O_2) e o dióxido de carbono (CO_2), absorvem significativamente nos comprimentos de ondas superiores a $1000 nm$, dentro da faixa de radiação infravermelho (IR).

Os aerossóis diminuem a parcela da radiação direta e aumentam a parcela da radiação difusa principalmente nos comprimentos de ondas relativos ao espectro de luz visível e ultravioleta.

O vapor de água (H_2O) em suspensão na atmosfera é um forte absorvidor da radiação solar e pode ser percebida a sua interferência em várias faixas do espectro solar, como pode ser visto na figura 1.

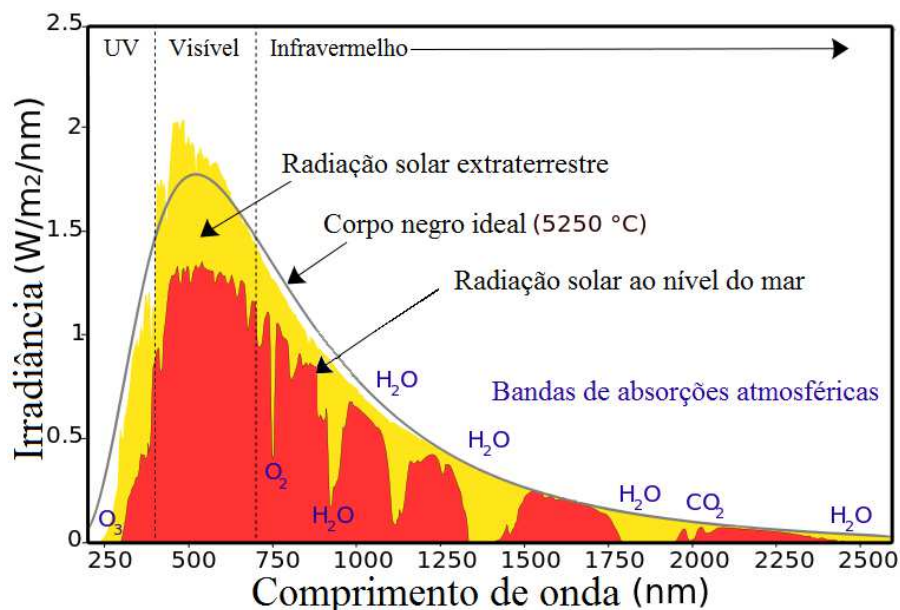


Figura 1: Espectro da radiação solar. Fonte: (BENDHOWARD, 2013).

É amplamente conhecido como uma característica dos materiais semicondutores e ressaltado na norma internacional IEC 60904-03 (2008), que a conversão fotovoltaica é espectralmente seletiva, dependendo das características naturais do material semicondutor utilizado para a fabricação das células e por conseguinte dos módulos fotovoltaicos.

A distribuição solar espectral de referência na qual são realizados os ensaios de caracterização dos módulos fotovoltaicos, que estabelece a eficiência de conversão do módulo está descrita na norma internacional IEC 60904-03. Essa distribuição, que atende pela sigla AM 1.5, foi obtida através da modelagem matemática do software SMARTS versão 2.9.2, disponibilizado gratuitamente pela *National Renewable Energy Laboratory* (NREL).

O espectro solar de referência foi obtido através da inferência da posição geográfica desta irradiação incidente, determinadas através da massa de ar, neste caso AM 1.5. A massa de ar (do inglês *air mass*) representa o caminho efetivo que a radiação incidente precisa percorrer ao ingressar na atmosfera até atingir a superfície terrestre em uma determinada posição do planeta, em relação ao caminho percorrido pelos raios solares na atmosfera até a superfície de um lugar ao nível do mar estando o Sol no zênite. Uma ilustração que exemplifica o significado de massa de ar é apresentada na figura 2.

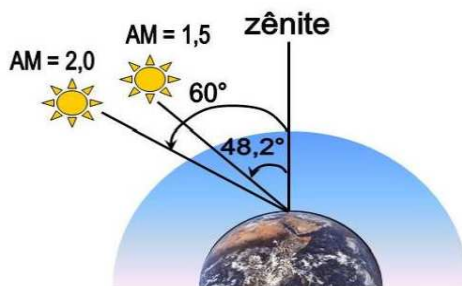


Figura 2: Ilustração da definição de massa de ar. Fonte: (BÜHLER, 2011).

Infere-se ainda as condições atmosféricas usadas na elaboração do espectro padrão pelo SMARTS são: concentração de CO₂ em patamares de 370 ppm (partes por milhão), o que representa um modelo de concentração deste aerossol para uma localidade rural sem a presença de poluição, teor de O₃ estipulado em 0,3438 atm-cm (343,8 DU), turbidez de 0,084 a 500 nm, pressão atmosférica ao nível do mar (1013,25 hPa) e uma quantidade de água precipitável de 1,4164 cm.

Através desta padronização do espectro da radiação solar, é possível medir a curva característica de qualquer tecnologia fotovoltaica usada na fabricação de módulos, lembrando que além da distribuição espectral a condição padrão de ensaio também exige uma irradiância de 1000 W/m² e uma temperatura de célula de 25°C. A figura 3 apresenta o espectro padrão extraterrestre e o global inclinado.

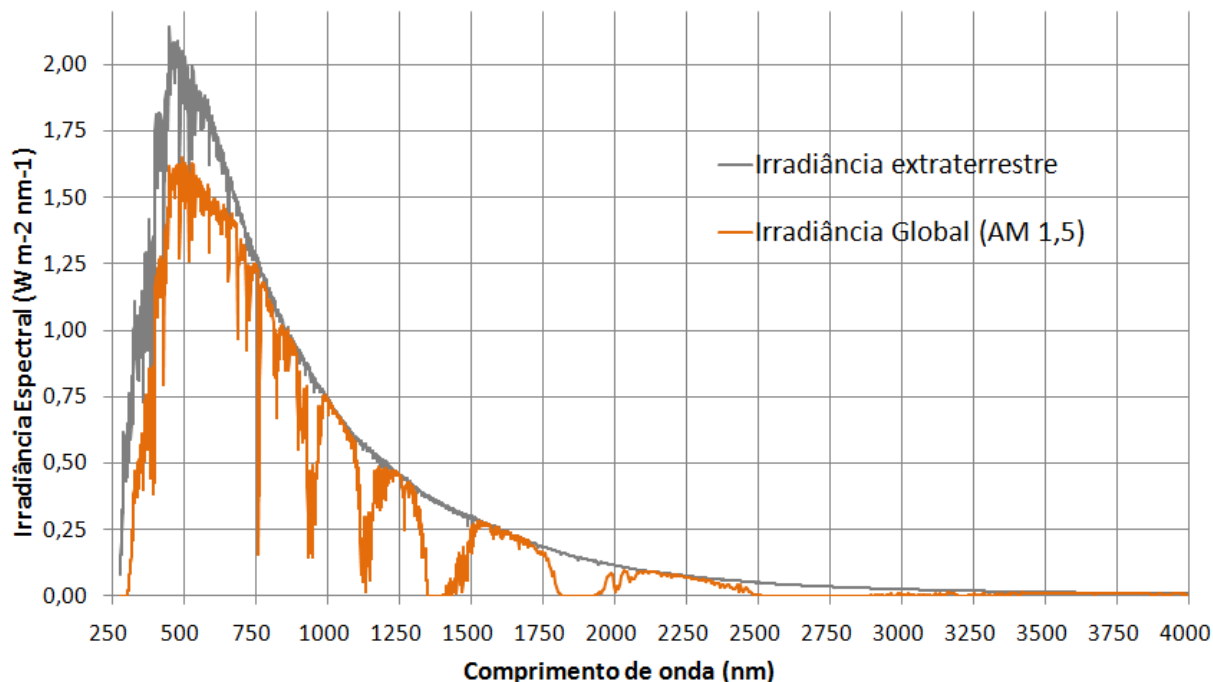


Figura 3: Espectro de referencia ASTM G173-03.

Porém, como a própria normatização vigente retrata em suas entre linhas, as diferentes tecnologias de fabricação de células fotovoltaicas apresentam respostas espectrais em faixas de comprimentos de ondas distintas e apresentam ainda rendimentos diferenciados para cada comprimento de onda. Assim, o seu rendimento é significativamente afetado pela distribuição espectral da radiação incidente, que varia seu espectro de acordo com vários fatores específicos nos locais da instalação do sistema fotovoltaico.

Portanto, sistemas com características construtivas idênticas, implementados em diferentes regiões, podem não apresentar desempenhos iguais. Na verdade raramente deverão apresentar o mesmo desempenho.

Este trabalho apresenta uma proposta e aplicação de metodologia para determinar uma eficiência de conversão para um dispositivo baseada não no espectro padrão, mas sim em um espectro alternativo, típico do local de instalação do sistema fotovoltaico. Este espectro é gerado pelo próprio software SMARTS a partir de dados de entrada como temperatura ambiente, pressão atmosférica, latitude do local, etc. Neste trabalho foi gerado um espectro padrão para a região da serra gaúcha, Estado do Rio Grande do Sul – Brasil. Os dados de entrada que foram usados na geração do espectro foram obtidos de médias de 14 anos medidas em uma estação meteorológica.

DETERMINAÇÃO DA RESPOSTA ESPECTRAL DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

Cada tecnologia diferente de fabricação de células fotovoltaicas apresenta uma absorção limitada do espectro da radiação solar incidente no solo (IEC 60904-03, 2008). Com o intuito de mensurar a capacidade de conversão fotovoltaica para diversos comprimentos de ondas do espectro, as orientações para esta determinação foram padronizadas na norma internacional IEC 60904-8.

A medição da resposta espectral, para módulos fotovoltaicos, disposta na norma regulamentadora, é realizada através da radiação de uma fonte de luz (ultravioleta, visível e infravermelho) em bandas estreitas de comprimento de onda sobre o dispositivo em teste, sendo que esta “varredura” deverá

cobrir toda a faixa de resposta do mesmo. Para que se obtenha a resposta espectral, é necessária medição da densidade da corrente de curto-circuito para cada comprimento de onda irradiada sobre o dispositivo em teste.

A fonte de luz utilizada para este teste é uma lâmpada de tungstênio de 1000 W com temperatura de cor, estável, de 3200 K, a luz irradiada deve apresentar uma distribuição uniforme sob o dispositivo em teste, sendo que este deve estar em uma situação de temperatura controlada.

Para garantir o nível de irradiância, é utilizado um monitor de irradiância do tipo termopar em vácuo, um radiômetro piroelétrico, um dispositivo fotovoltaico de referência com resposta espectral mais larga ou igual à resposta espectral do dispositivo em teste ou outro detector apropriado.

A norma IEC 60904-8 apresenta três técnicas para determinação da resposta espectral de dispositivos fotovoltaicos que apresentam uma distribuição linear e não linear, sendo que a primeira é o teste realizado sob a irradiância de um feixe de luz monocromática obtida através da decomposição da luz branca irradiada pela lâmpada descrita anteriormente (figura 4), já na segunda técnica, a luz não é decomposta e sim delimitada através de filtros monocromáticos com passo de comprimento de onda não superiores a 50 nm com bandas laterais inferiores a 0,2% (figura 5), e por último, é apresentado um método de luz pulsada, onde se utiliza uma lâmpada mais potente a fim de se obter pulsos de luz de alta intensidade (figura 6).

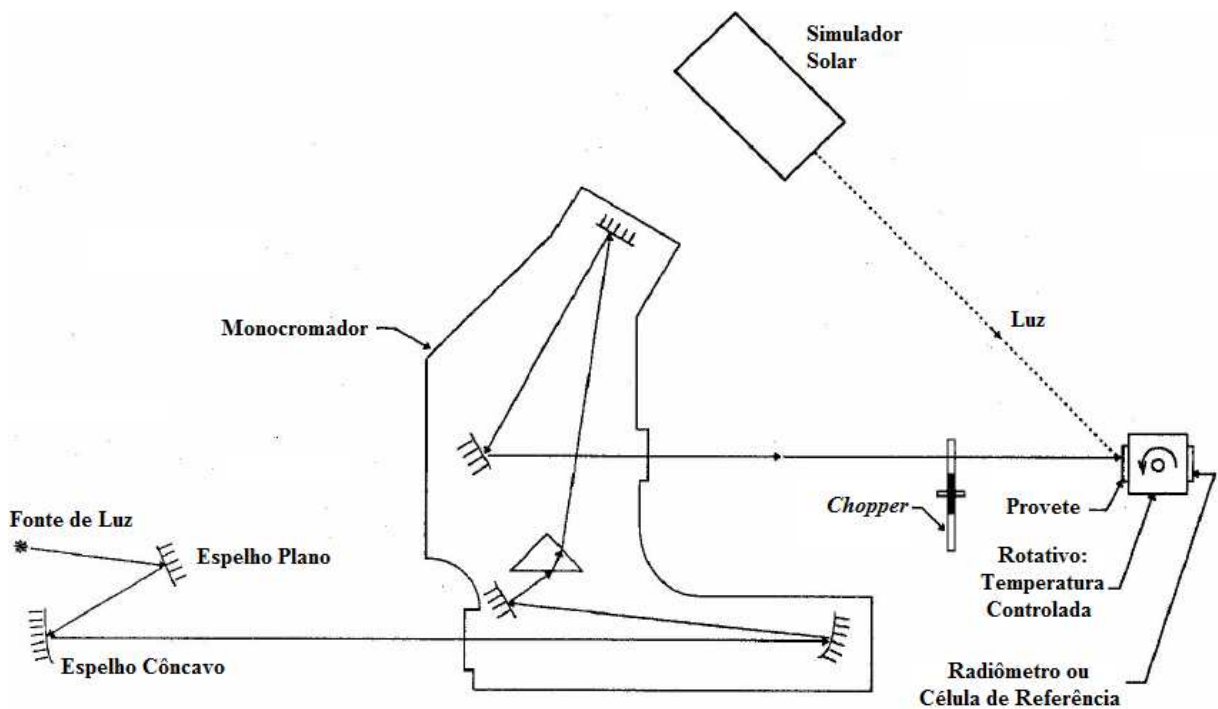


Figura 4: Ilustração medição da resposta espectral através de feixe de luz monocromática.

Fonte: (IEC 60904-8, 2014).

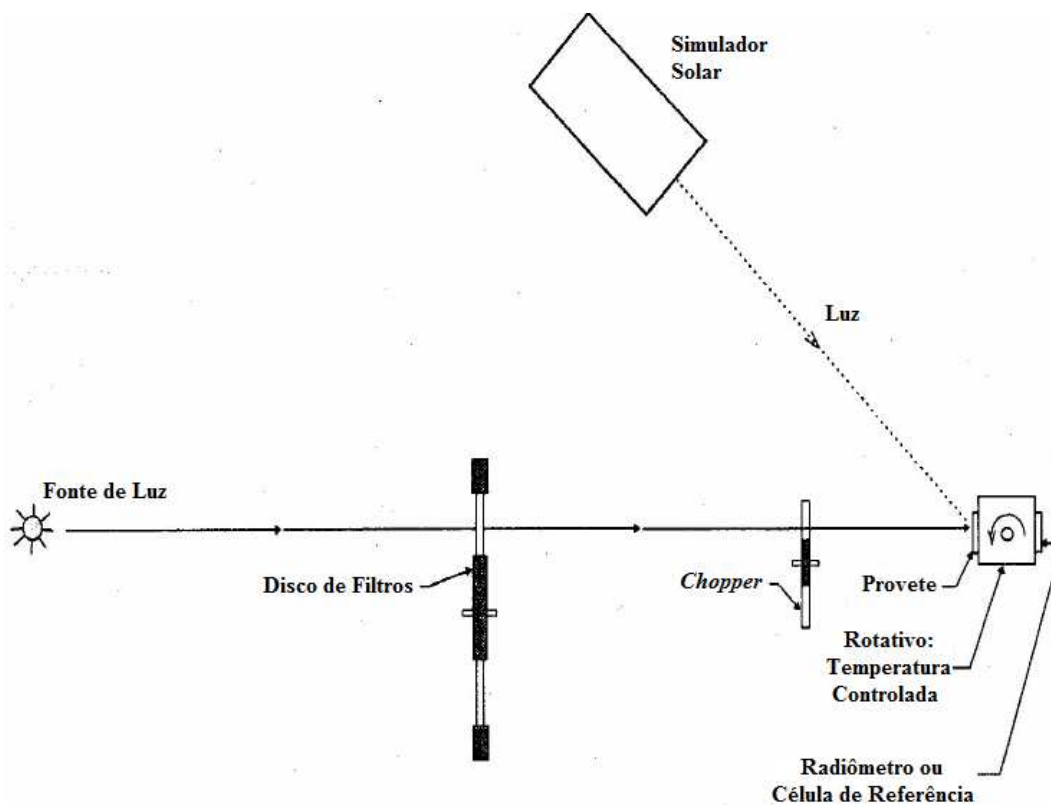


Figura 5: Ilustração medição da resposta espectral através de filtros monocromáticos.
 Fonte: (IEC60904-8, 2014).

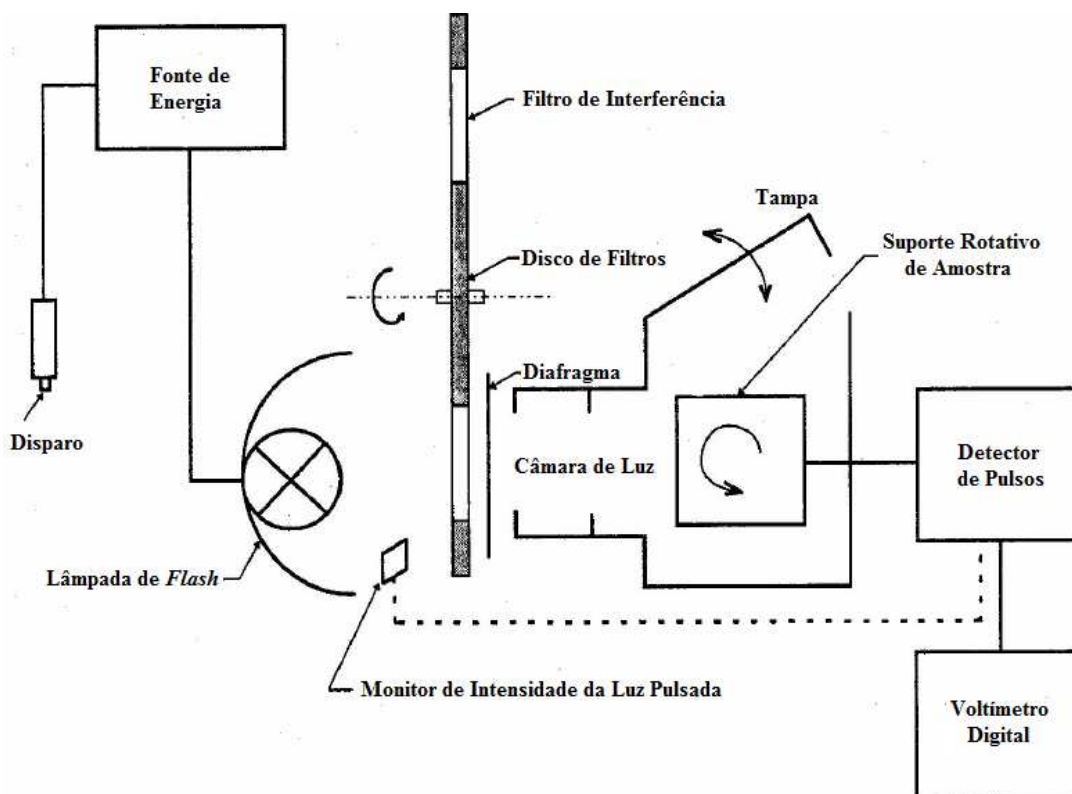


Figura 6: Ilustração medição da resposta espectral através de filtros monocromáticos e luz pulsada.
 Fonte: (IEC60904-8, 2014).

Porém, a norma alerta que o método de luz pulsada não pode ser utilizado para dispositivos que apresentem um tempo de resposta muito lento e que os resultados obtidos neste método, devem obrigatoriamente ser corrigidos devido ao aumento da intensidade da luz emitida para o referido teste.

OBTENÇÃO DAS RESPOSTAS ESPECTRAIS DAS TECNOLOGIAS DE c-Si e mc-Si

As respostas espectrais utilizadas neste trabalho são oriundas das pesquisas do Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems, de onde foi possível obter tanto os gráficos (figura 7) como os valores da corrente de curto-circuito para a composição das respostas espectrais das diferentes tecnologias de fabricação de módulos fotovoltaicos.

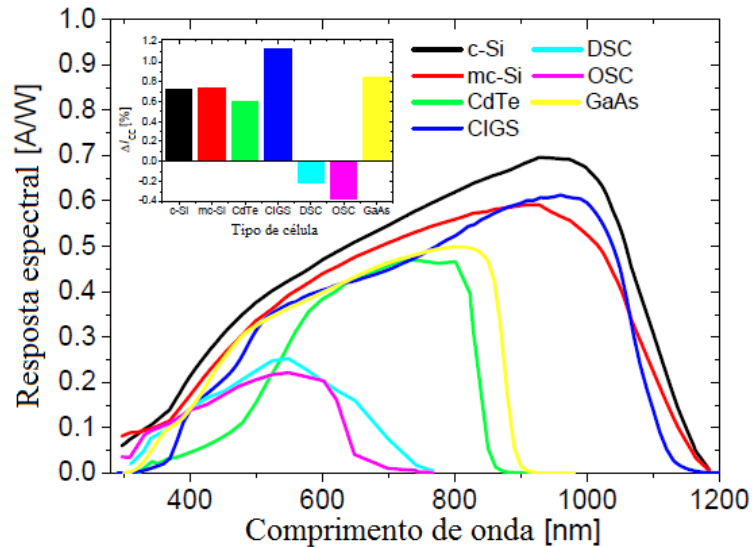


Figura 7: Resposta espectral das principais tecnologias de fabricação de células solares fotovoltaicas.
Fonte: (Fraunhofer ISE CalLab PV Cells)

Através da técnica de digitalização do gráfico fornecido pela Fraunhofer ISE CalLab PV Cell (segundo o mesmo sistema de referência original do gráfico), foi possível obter um conjunto de mais de duzentos (200) pontos que representasse de forma fidedigna as curvas das respostas espectrais das células de silício monocristalino (c-Si) e para a célula de silício multicristalino (mc-Si).

Devido a fatores intrínsecos dos materiais de fabricação das células fotovoltaicas, recombinação e difusão da junção PN, as curvas apresentam várias mudanças de declividade em seu traçado. Para tanto, optou-se por dividir as curvas de respostas espectrais das células de silício mono e multicristalino em quatro faixas, de acordo com a declividade de cada trecho e aplicar a cada uma delas um polinômio de ajuste de ordem 4. As faixas escolhidas foram:

- De 280 a 450 nm;
- De 450 a 750 nm;
- De 750 a 1050 nm;
- De 1050 a 1200 nm.

O início da análise em 280 nm deve-se ao fato de que o espectro da radiação solar tem início a partir deste comprimento de onda, não sendo relevante qualquer absorção de radiação a baixo deste limite. O limite superior da análise representa o final da faixa de capacidade de absorção da melhor tecnologia monojunção dentre as duas analisadas.

Ao dividir os dados em quatro faixas, obtiveram-se quatro equações que se sobrepuseram perfeitamente sobre os dados recebidos pela Fraunhofer (figura 8).

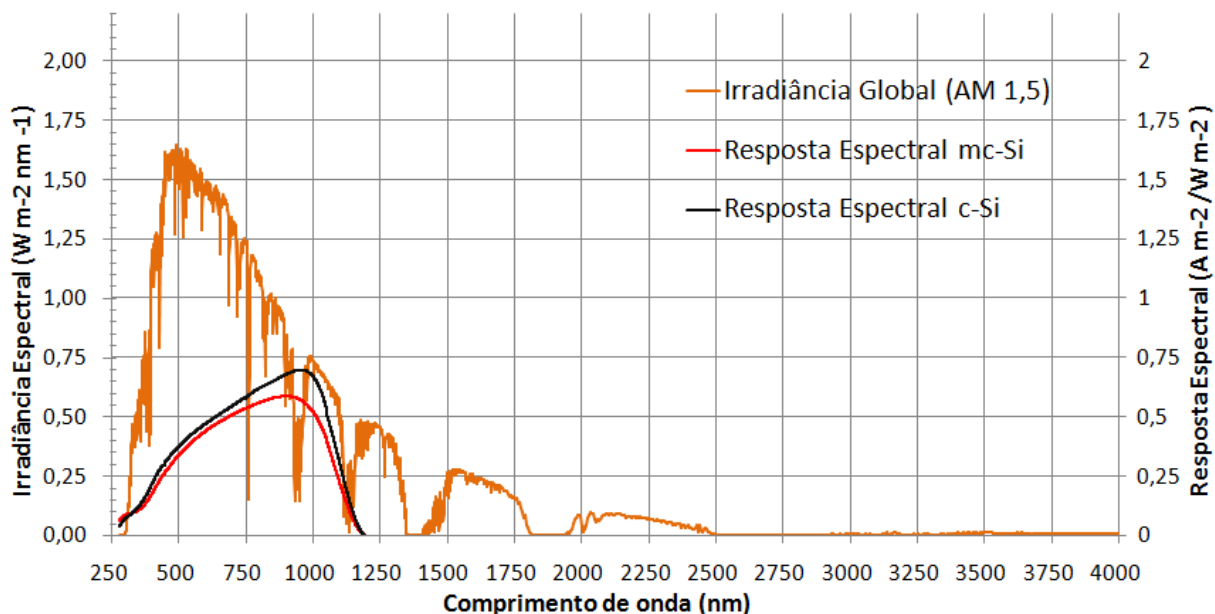


Figura 8: Respostas espectrais das células de c-Si e mc-Si sobre o Espectro de referencia ASTM G173-03.

Desta forma, foram gerados valores para a resposta espectral das tecnologias estudadas, correspondentes aos mesmos valores de comprimento de onda relacionados na norma IEC 60904-3.

O intuito de gerar as respostas espectrais nos mesmos valores de comprimento de onda, foi para que fosse possível a comparação direta entre as mesmas e a potência por metro quadrado para cada comprimento de onda em questão.

Através da multiplicação da potência incidente por nanometro do espectro padrão, fornecido pela norma IEC 60904-3, e os valores das respostas espectrais obtidas experimentalmente, foi possível a determinação da corrente de curto-circuito para cada comprimento de onda, que ao serem integralizados, representaram perfeitamente a corrente de curto-circuito por metro quadrado fornecido pelos principais fabricantes destas tecnologias.

GERAÇÃO DO ESPECTRO SOLAR MÉDIO DA REGIÃO DE FARROUPILHA – SERRA GAÚCHA

A criação do espectro solar referente a radiação incidente na cidade de Farroupilha-RS (Brasil), que foi escolhida como uma cidade representativa da serra gaúcha, foi realizada através da utilização dos dados geográficos e meteorológicos obtidos das estações meteorológicas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Para a geração de um espectro médio confiável, foram utilizados os dados das médias mensais de estações meteorológicas compreendidas entre um período de quatorze anos, fornecidos pelo INMET.

Através da utilização da média histórica dos dados meteorológicos obtidos e os dados geográficos da cidade de Farroupilha-RS, foi possível gerar um espectro alternativo para esta localidade (figura 9) inserindo-se os dados no software SMARTS 2.9.2, mesmo software utilizado pela IEC para criação do espectro padrão.

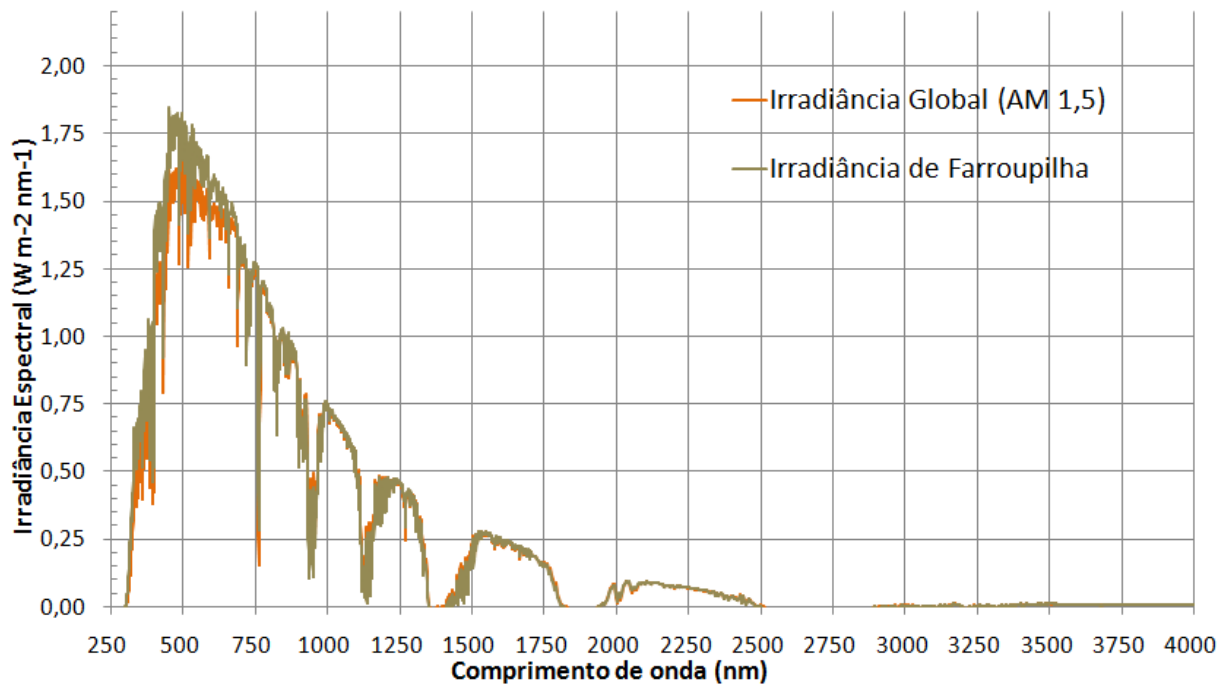


Figura 9: Espectro solar médio para a cidade de Farroupilha e o Espectro de referência ASTM G173-03.

Como pode-se verificar na figura 9, o espectro solar para a cidade de Farroupilha apresenta uma intensidade maior, do que o espectro de referência normatizado pela IEC 60904-03, principalmente na região do visível.

A figura 10 apresenta as curvas das respostas espectrais sobre os espectros de referência e ao espectro específicos da latitude 29° 13' 30'' sul e uma longitude de 51° 20' 52'' oeste.

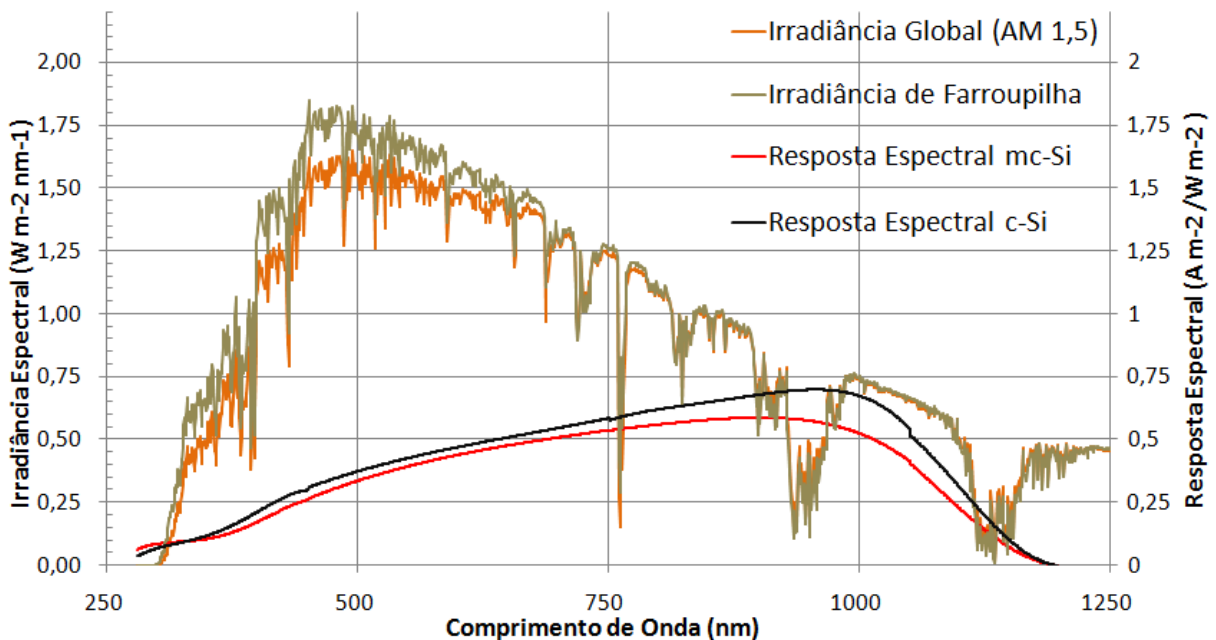


Figura 10: Respostas espectrais das células de c-Si e mc-Si sobre os espectros solar de referência e de Farroupilha.

Para determinar a importância desta diferença sobre os módulos de silício monocristalino (c-Si) e multicristalino (mc-Si), foi calculado o efeito na densidade de corrente dessas tecnologias devido a mudança na distribuição espectral, ou seja a substituição do espectro padrão pelo espectro alternativo criado para Farroupilha.

Foi possível verificar que as correntes de curto-circuito dos módulos de silício monocristalino e multicristalino obtiveram um incremento de 4,7% e 4,8% no seu valor, respectivamente. Essa variação deve-se exclusivamente ao aumento da intensidade do espectro de Farroupilha em relação ao espectro padrão, no intervalo que compreende a resposta espectral destes dispositivos fotovoltaicos.

CONCLUSÕES

Através do estudo realizado neste trabalho, pode-se observar que as condições climáticas e principalmente as geográficas apresentam grande influência na distribuição espectral solar da região de interesse. Esse aumento de intensidade se reflete no aumento da corrente de curto-circuito dos módulos, uma vez que o espectro sofre variação dentro das faixas de respostas espectrais da tecnologia em análise.

Ao utilizar o software SMARTS 2.9.2, foram executados vários testes para determinar qual fator apresentou a maior influência no aumento da potência do espectro local, onde ficou evidente que a variação da massa de ar (AM) é o critério mais impactante. Devido a adoção da latitude local (29°) e altura a cima do nível do mar de 783 metros para a criação do espectro de Farroupilha, a massa de ar encontrada foi de aproximadamente 1,2.

A massa de ar utilizada para a determinação do espectro solar de referência (AM 1,5), corresponde ao comportamento médio da radiação solar ao longo de um ano em localidades situadas na região temperada do hemisfério norte, localizado entre o trópico de Câncer e o Circulo Polar Ártico. Por se tratar de uma aproximação da massa de ar média entre as latitudes destes dois marcos geográficos, não representa bem a eficiência de um sistema fotovoltaico instalado próximos a estes dois marcos, pois uma pequena variação no valor da massa de ar da região em questão afetará consideravelmente o espectro solar local.

REFERÊNCIAS

Agência Nacional de Energia Elétrica. (2015). Banco de Informação de Geração. Acessado em 25 de Março de 2015, de ANEEL:<http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>

Agência Nacional de Energia Elétrica. (2012). Resolução Normativa N° 482. Resolução Normativa N° 482. Brasília, Distrito Federal, Brasil: ANEEL.

Beer, R. (2015). O sol é para todos. Veja, nº 10 (2416), 102.

Howard, B. (2013). Sunlight. Acessado em 17 de Junho de 2015, de Wikimedia:
http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Solar_spectrum_ita.svg

Bühler, A. J. (2007). Determinação de parâmetros fotovoltaicos a partir de ensaios de curvas características sem iluminação. Dissertação. Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil: UFRGS.

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.

Chapin, D. M., Fuller, C. S., & Pearson, G. L. (1954). Patente n° Patent US2780765. Estados Unidos/New York.

Commission, I. E. (2008). IEC 60904-03. Measurement principles for terrestrial photovoltaic (PV) solar devices with reference spectral irradiance data . Geneva, Switzerland: IEC.

- Empresa de Pesquisa Energética. (2014). Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2014. Rio de Janeiro: EPE.
- Empresa de Pesquisa Energética. (2015). Consumo Mensal de Energia Elétrica por Classe (Regiões e Subsistemas) 2004 - 2015. Rio de Janeiro: EPE.
- European Photovoltaic Industry Association. (2014). Global Market Outlook for Photovoltaics 2014-2018. Onehemisphere: EPIA.
- Fraunhofer ISE Callab PV Cells. (s.f.). Changes to new spectral distribution in IEC 60904-3 standard. Recuperado el 17 de Agosto de 2015, de Fraunhofer ISE: <http://www.ise.fraunhofer.de/en/service-units/callab-pv-cells-callab-pv-modules/callab-pv-cells/iec-60904-3>
- Gasparin, F. P., Bühler, A. J., & Krenzinger, A. (2012). Análise da Importância do Fator de Descasamento Espectral na Caracterização Elétrica de Módulos Fotovoltaicos. Análise da Importância do Fator de Descasamento Espectral na Caracterização Elétrica de Módulos Fotovoltaicos . São Paulo, São Paulo, Brasil: IV Congresso Brasileiro de Energia Solar e V Conferência Latino-americana da ISES.
- Ghensev, A. (2006). Materiais e Processos de Fabricação de Células Fotovoltaicas. Monografia . Lavras, Minas Gerais, Brasil: Universidade Federal de Lavras - UFLA.
- Green, M. A., Emery, K., Hishikawa, Y., Warta, W., & Dunlop, E. D. (2015). Solar cell efficiency tables (version 45). Progress in Photovoltaics , 23, págs. 1-9.
- Grupo de Trabalho de Energia Solar - CEPEL - CRESESB. (2014). Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos. Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos . (J. T. Pinho, & M. A. Galdino, Recopiladores) Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil.
- Gueymard, C. A. (2003). Simple model os atmospheric radiative transfer of sunshine. SMARTS 2.9.2 . Bailey, Colorado, Estados Unidos: National Renewable Energy Laboratory - NREL.
- Haag, R. (2012). Estimativa da distribuição espectral ra radiação solar sobre o território brasileiro através de análise multiinstrumental. Tese de doutorado . Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil: PROMEC - UFRGS.
- International Electrotechnical Commission. (2014). Measurement of spectral responsivity of photovoltaic (PV) device. Geneva, Switzerland: IEC.
- King, R. R., & al., e. (2003). Lattice-matched and metamorphic GaInP/GaInAs/Ge concentrator solar cells. Proceedings of 3rd World Conference on Photovoltaic Energy Conversion , 1, 622-625.
- National Renewable Energy Laboratory. (2015). Solar and Wind Energy Resource Assessment. United States.
- Quadrado, J. C. (2008). Dossier: Medição da radiação solar. Recuperado el 17 de Junho de 2015, de Energias Renováveis: http://www.energiasrenovaveis.com/DetalheNoticias.asp?ID_conteudo=102&ID_area=15
- Rampinelli, G. A., & Bühler, A. J. (2012). Análise de diferentes tecnologias fotovoltaicas para instalações residenciais no sul do Brasil. Avances en Energias Renovables y Medio Ambiente , 16.
- Sara, I. D., Betts, T. R., & Gottschalg, R. (2014). Determining spectral response of a photovoltaic device using polychromatic filters. Power Gener , 8, 947.

Schultz, O., Glunz, S. W., & Wileke, G. P. (2004). Multicrystalline silicon solar cells exceeding 20% efficiency. *Progress in Photovoltaics Research and Applications* , 12, 553.

Trenberth, K. E., Fasullo, J. T., & Kiehl, J. (2009). Earth's global energy budget. *Bulletin of the American Meteorological Society* , págs. 311-323.

Zilles, R., Macedo, W. N., Galhardo, M. A., & Oliveira, S. H. (2012). *Sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica*. São Paulo: Oficina de Textos.

ABSTRACT: This paper presents a proposal to determine a conversion efficiency of a photovoltaic device based not on the standard spectrum, but in an alternative spectrum. This spectrum, characteristic of the site of the photovoltaic system, is generated by software SMARTS from data such environmental temperature, atmospheric pressure and latitude. By determining of the alternative spectrum and the spectral response of the PV technology to be analyzed it, is possible to determine a spectral mismatch factor. By this factor, it is calculated a conversion efficiency of a PV device that is closer to the real efficiency the device will have on field. In this work the proposed methodology was tested for the city of Farroupilha-RS, Brazil and for the two more representative PV technologies on the market. It was found an increase of 4.7% (m-Si) e 4.8% (mc-Si) for the conversion efficiency if compared with the efficiency in the standard spectrum.

Keywords: Solar energy, solar spectrum, spectral response, conversion efficiency.