

## MEDIÇÃO DA RADIAÇÃO SOLAR GLOBAL E DIFUSA UTILIZANDO PIRANÔMETROS COM SENSORES FOTOELÉTRICOS

**Idilio Manoel Brea Victoria** – idilio@cefetrs.tche.br

**Lúcio Almeida Hecktheuer** – lucio@cefetrs.tche.br

**João Carlos Torres Vianna** – jcviana@ufpel.tche.br

Universidade Federal de Pelotas, Faculdade de Meteorologia

**Luciano Vitoria Barboza** – luciano@cefetrs.tche.br

Centro Federal de Educação Tecnológica de Pelotas, Grupo de Sistemas de Energia

### 1.1 Radiação solar

**Resumo.** No Brasil, a maior parte das Instituições que medem radiação solar, disponibilizam apenas dados de radiação global incidente em uma superfície horizontal. Na região de Pelotas-RS, a Estação Agroclimatológica de Pelotas, vinculada à Embrapa, tem os dados de radiação solar global diária estimados desde 1971 até 1992 e medidos a partir de 1993. A metodologia de dimensionamento dos sistemas solares confronta a demanda de energia solicitada pelo usuário com a disponibilidade de energia solar incidente no sistema solar. Considerando que os sistemas solares devem ser instalados objetivando uma maior quantidade de energia a ser captada, seus elementos captadores de radiação devem ser instalados com uma determinada inclinação em relação a horizontal e voltados para o Equador. Isso significa dizer que os dados de radiação disponibilizados pelas Instituições que medem radiação solar global devem ser trabalhados de modo que se tenha uma estimativa da radiação solar incidente em uma superfície inclinada. Os procedimentos existentes e utilizados pelos projetistas de sistemas solares no Brasil para estimar a radiação solar global incidente em uma superfície inclinada utilizam métodos estatísticos oriundos de medições da radiação difusa incidente em outros países. Entre os diversos métodos, pode-se citar o de Liu e Jordan (1960), Stanhill (1966), Ruth e Chant (1976), Bannister (1966-969) e Collares-Pereira e Rabl (1979). Com o objetivo de melhor estimar a radiação solar incidente em uma superfície inclinada e difundir a medição de radiação solar difusa através da utilização de piranômetros que utilizam sensores fotoelétricos em substituição aos que utilizam sensores termoelétricos, esse trabalho descreve os procedimentos de medições e correções a serem efetuadas na realização das medições de radiação solar global e difusa a fim de que as mesmas possam ser consideradas de boa qualidade.

**Palavras-chave:** Medição de Radiação Solar, Radiação Difusa, Anel de Sombra.

## 1. INTRODUÇÃO

Os instrumentos utilizados para a medição da radiação solar global e difusa que utilizam sensores do tipo termopilha apresentam um custo elevado de aquisição e de manutenção ao longo do seu funcionamento. Esses equipamentos fornecem dados de radiação com baixas incertezas visto que medem a radiação incidente em praticamente todo o seu espectro e possuem circuitos de compensação de temperatura a fim de reduzir erros de medição devido a variações da temperatura ambiente. Esses aparelhos apresentam resultados estáveis e com boa repetibilidade fazendo com que a World Meteorological Organization os considerem instrumentos de primeira classe. Seu custo de aquisição é da ordem de U\$ 2,350.00. Em função dos custos de aquisição e manutenção desses instrumentos, no Brasil, poucas estações meteorológicas realizam medições de radiação global, difusa e direta.

Com o objetivo de diminuir os custos de medições de radiação solar, este trabalho propõe a substituição dos instrumentos que utilizam sensores do tipo termopilha por instrumentos que utili-

zam sensores fotoelétricos os quais tem seus custos de aquisição na ordem de US\$ 270.00 (aproximadamente nove vezes mais baratos) e apresenta as principais correções a serem feitas nos dados com eles adquiridos. Vários trabalhos, entre eles Michalsky et al. (1987) e Michalsky et al. (1991), demonstram que os dados de radiação solar global e difusa obtidos através de piranômetros com sensores fotoelétricos, após as devidas correções, são bastante semelhantes aos dados de radiação obtidos com piranômetros que utilizam sensores do tipo termopilha.

Os sensores fotoelétricos são sensores bastante estáveis e não apresentam degradação significativa ao longo do seu período de uso. Além disso, devido ao seu tempo de resposta bastante curto, na ordem de 10 $\mu$ s, são apropriados para aplicações que necessitem observar variações de radiação quase que instantaneamente.

Os piranômetros dotados de sensores fotoelétricos quando utilizados para medir a radiação solar global, devem ter seus dados corrigidos devido a sua resposta espectral, dependência da temperatura e resposta co-seno. Quando utilizados para medir radiação solar difusa, utilizando anel de sombra, seus dados devem ser corrigidos, também, devido ao bloqueio de parte da radiação difusa pelo anel de sombra. Esse procedimento de correção também deve ser realizado quando da utilização de piranômetros dotados de sensores do tipo termopilha. Um outro aparelho utilizado para realizar a medição de radiação solar difusa é o disco de sombreamento, o qual necessita de um seguidor do sol a fim de obstruir a radiação solar direta durante do o dia. Esse seguimento do sol a longo do dia necessita de equipamento de custos de aquisição e manutenção elevados. Isso faz com que, em muitos casos, opte-se pela utilização do anel de sombra para obstruir a radiação direta.

## 2. LIMITAÇÕES DOS SENSORES FOTOELÉTRICOS NA MEDIÇÃO DE RADIAÇÃO SOLAR GLOBAL E DIFUSA

Os sensores fotoelétricos têm sua eficiência afetada, basicamente, como é exposto por Araújo (1985), por dois fatores: seletividade de absorção da célula e procedimentos de fabricação. A seletividade desses sensores faz com que nem todos os fótons que incidem no material semicondutor sejam aproveitados para gerarem pares elétrons-lacunas. Alguns fótons que incidem no material semicondutor possuem energia menor que a do *gap* do material, não gerando pares elétrons-lacunas. Outros, possuem energia muito maior e podem passar pelo material sem serem absorvidos. Caso sejam absorvidos, sua energia, mesmo maior que a do *gap* do material, só pode gerar um par elétron-lacuna, isto é, tem o mesmo efeito se sua energia fosse igual que a do *gap*. Além disto, nem todos os pares de elétrons-lacunas são aproveitados pois os mesmos podem ser recombinados rapidamente, sem contribuir com o efeito fotovoltaico. Devido a estes fatos, os sensores fotoelétricos constituídos por silício somente são sensíveis à radiações com comprimentos de onda correspondentes a luz visível e ao infravermelho perto do visível.

A não coincidência dos máximos de energia para cada comprimento de onda do espectro solar e o da resposta espectral do sensor fotoelétrico faz com que nem toda a energia solar seja captada pelo sensor.

Um outro fator que contribui para o aumento da incerteza da medida de radiação solar é a sensibilidade do sensor. Sua absorção de radiação varia com o ângulo de incidência e para sensores fotoelétricos dotados de silício, essa sensibilidade cai bruscamente para ângulos de incidência altos, não obedecendo à lei dos co-senos. Essa dependência angular de absorção dos sensores é chamada de resposta co-seno e tem seu efeito minimizado nos piranômetros através da utilização de um elemento plástico difusor colocado sobre o sensor. Dessa forma, a absorção permanece praticamente constante até ângulos de incidência na ordem de 70°. Para ângulos maiores que 70° a absorção tem um aumento considerável e após, diminui rapidamente para ângulos de incidência próximos de 90°. Favoravelmente a utilização de piranômetros que utilizam sensores fotoelétricos com difusores, suas respostas co-senos não obedecem perfeitamente à lei dos co-senos quando se tem uma baixa elevação solar, momentos esses de baixos valores de radiação solar direta o que, para períodos de integração diário de radiação, esse desvio da resposta co-seno ideal pode ser desprezado.

A resposta espectral de um sensor fotoelétrico de silício é mostrada na Fig. 1, variando muito pouco para diferentes fabricantes. A correção da resposta co-seno do piranômetro da Licor, modelo LI-200SA, é apresentada na Fig. 2.

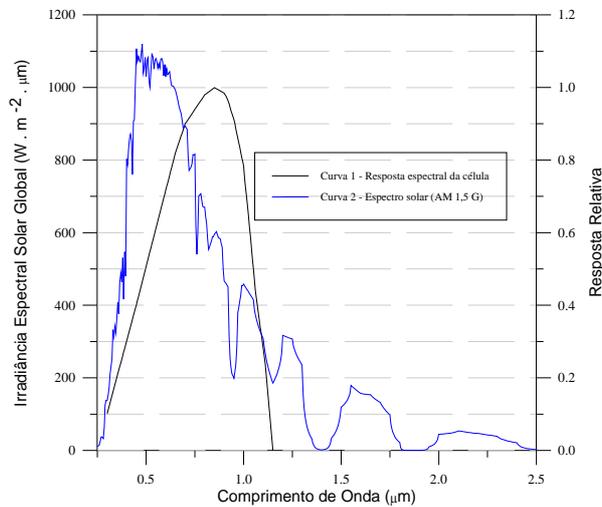


Figura 1 – Resposta espectral do silício.

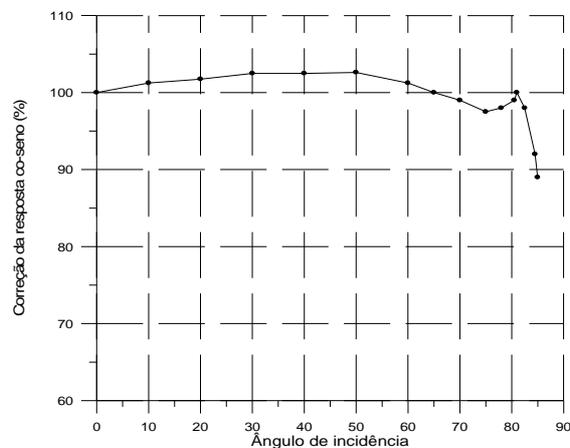


Figura 2 – Resposta co-seno do piranômetro da Licor, modelo LI-200SA.

### 3. PROCEDIMENTOS DE MEDIÇÃO

A seguir serão abordados os procedimentos a serem adotados na medição de radiação global e difusa utilizando piranômetros com sensores do tipo fotoelétrico. Os piranômetros a serem utilizados são da Licor, modelo LI-200SA. Para a medição de radiação difusa, adota-se a técnica da utilização do anel de sombra visto que seus custos de aquisição e manutenção são muito menores quando comparados com os custos de procedimentos que utilizam seguimento do sol ao longo do dia.

### 3.1. Medição da radiação global

As medidas de radiação global com o piranômetro Licor são realizadas e comparadas com as medições, simultâneas, efetuadas com um piranômetro da Eppley, modelo PSP, o qual será adotado como padrão.

A medição da radiação global efetuada com o piranômetro Licor deverá sofrer correção em função da temperatura ambiente, correção espectral e de resposta cos-seno. Para tanto, de acordo com Michalsky et al. (1987), a dependência da temperatura desse tipo de piranômetros pode ser corrigida, normalizada para 30°C, pela equação (1)

$$\frac{R}{R_{30}} = 0,9815 + 0,0006 \cdot T_{\text{pir}} \quad (1)$$

onde R é a resposta do piranômetro em uma temperatura T, R<sub>30</sub> é a resposta do piranômetro em 30°C e T<sub>pir</sub> é a temperatura (em °C) medida dentro do piranômetro. Devido a dificuldades em se obter a medida de temperatura no interior do piranômetro, medidas de temperatura ambiente, a aproximadamente 1,5 m de distância do piranômetro fornecem bons resultados na correção da dependência de temperatura do sensor.

A equação (1) pode ter seus coeficientes alterados de um piranômetro para outro. Esses coeficientes podem ser obtidos através do monitoramento da resposta do piranômetro quando em diferentes temperaturas. A sensibilidade desse tipo de sensor é praticamente linear com a temperatura e correções da ordem de 0,7% são típicas. Segundo Michalsky et al. (1991), as medidas de radiação solar global efetuadas com o piranômetro Licor já apresentam uma boa qualidade quando corrigida apenas em função da temperatura.

Michalsky et al. (1987) também propôs um método empírico para corrigir, simultaneamente, a resposta cos-seno e resposta espectral do piranômetro com sensor fotoelétrico quando utilizado para medir a radiação global. Foi verificado que, apenas com a correção da temperatura, os valores de radiação global já são de boa qualidade. No entanto, apresentam valores ligeiramente subestimados para valores de altas e baixas radiações e valores ligeiramente superestimados para radiações médias. Para corrigir esses pequenos desvios de linearidade, foi proposto um ajuste por mínimo quadrado dado pela equação (2)

$$\frac{Glo_{\text{fotoelétrico}}}{Glo_{\text{termopilha}}} = a + b \cdot \ln(Glo_{\text{fotoelétrico}}) + c \cdot \ln^2(Glo_{\text{fotoelétrico}}) \quad (2)$$

onde Glo<sub>fotoelétrico</sub> é o valor da radiação global obtida com o piranômetro que utiliza sensor fotoelétrico, Glo<sub>termopilha</sub> é o valor da radiação global obtida com o piranômetro que utiliza sensor termopilha e os coeficientes a, b e c são, respectivamente: 1,0002; 0,0003; 0,0000.

Esse procedimento de correção foi obtido de dados de radiação global medida, simultaneamente por um piranômetro da Licor e outro da Eppley durante um período de dezoito dias, contemplando dias claros e nublados. Os resultados obtidos, após as correções, utilizando piranômetro com sensor fotoelétrico discordam, no máximo, em 2% dos obtidos com o piranômetro Eppley. Quando esses valores são integrados ao longo do dia, a diferença entre as integrais é menor que 1%.

### 3.2. Medição da radiação difusa

A medição da radiação difusa a ser adotada como referência é aquela obtida através da utilização de um piranômetro Eppley PSP dotado de anel de sombra. Na medição de radiação solar difusa faz-se necessário não permitir a incidência de radiação direta no sensor de medição da radiação

difusa. Para isso, um método bastante utilizado consiste em colocar um anel de sombra colocado perpendicularmente ao eixo polar e num ângulo igual ao da latitude do local.

Um erro inerente da utilização desse anel de sombra é que ele obstrui parte da radiação difusa. Vários métodos são utilizados para calcular o fator de correção a ser acrescentado na medição realizada da radiação difusa, entre eles o proposto por Drummond (1956).

Considerando que a atmosfera tenha um comportamento isotrópico, Drummond (1956) desenvolveu a equação (3) para determinar o percentual da radiação solar difusa obstruída pelo anel de sombra:

$$X = \frac{2.b}{\pi.r} \cdot \cos^3 \delta \cdot (\text{sen} \phi \cdot \text{sen} \delta \cdot \omega_s + \cos \phi \cdot \cos \delta \cdot \text{sen} \omega_s) \quad (3)$$

onde b é o comprimento do anel de sombra, r é o raio do anel de sombra,  $\delta$  é a declinação do sol,  $\phi$  é a latitude do local da medição e  $\omega_s$  é o ângulo de nascimento do sol em radianos.

Para condições de isotropia, o fator de correção a ser aplicado nos valores dos dados de radiação solar difusa obtidos,  $k'$ , é dado pela equação (4)

$$k' = \frac{1}{1 - X} \quad (4)$$

O fator de correção  $k'$  depende das dimensões do anel de sombra, da latitude do local e do ângulo de nascimento do sol no dia da medição.

O efeito do obstrução de parte da radiação solar difusa através do anel de sombra em condições reais de medição (condições não isotrópicas), pode ser determinado através da medição simultânea da radiação difusa, uma usando um piranômetro com anel de sombra e outro com um pequeno disco de sombra. Drummond (1964), após análise de um grande número de medições, observou que o fator de correção  $k'$  deve ter um acréscimo de 7% para dias de céu claro, 3% para céus totalmente nublados e 4% para céus parcialmente cobertos por nuvens.

Pode-se classificar a atmosféricas como nublada, parcialmente nublada e clara. Essa classificação, segundo Iqbal (1983), é função do índice de claridade  $k_t$ . Valores de  $k_t$  inferiores a 0,3 sinalizam uma atmosfera nublada, valores superiores a 0,7 sinalizam atmosferas bastante claras e valores de 0,3 a 0,7 sinalizam atmosferas parcialmente nubladas.

Aplicando-se os procedimentos sugeridos por Drummond (1956) para uma localidade situada no hemisfério sul, latitude de  $31,87^\circ$ , tem-se correções que variam desde 6% no dia 22 de junho até 26% nos dias 01 de março e 14 de outubro, com erro RMSE (root mean square error) de  $\pm 9,2 \text{ W.m}^{-2}$ . Tais correções podem ser observadas na Fig. 3.

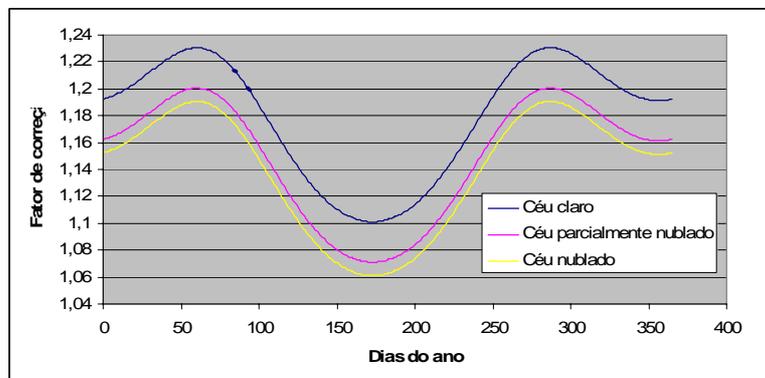


Figura 3 – Fator de correção da medida de radiação difusa devido ao uso de anel de sombra.

Um outro procedimento para a correção da medida da radiação difusa é fornecido por Lebarom et al. (1990) e, quando comparado com procedimento adotado por Drummond (1956) fornece resultados ligeiramente melhores.

Esse modelo de correção utiliza quatro parâmetros para descrever os efeitos isotrópicos e não isotrópicos da radiação solar. O parâmetro para descrever o efeito isotrópico da radiação é o mesmo obtido por Drummond (1956). O efeito não isotrópico é obtido através dos parâmetros  $\varepsilon$ ,  $\Delta$  e ângulo de zênite.

Os parâmetros  $\varepsilon$  e  $\Delta$  são obtidos, respectivamente, pelas equações (5) e (6).

$$\varepsilon = \frac{(Dif_{nc} - Dir_{Nnc})}{Dif_{nc}} \quad (5)$$

onde  $Dif_{nc}$  é a medida da radiação difusa não corrigida,  $Dir_{Nnc}$  é a radiação direta normal não corrigida e

$$\Delta = \frac{Dif_{nc} \cdot ma}{I_0} \quad (6)$$

onde  $Dir_{Nnc}$  é dada pela equação (7)

$$Dir_{Nnc} = \frac{(Glo - Dif_{nc})}{\cos(Zen)} \quad (7)$$

onde  $Glo$  é a medida da radiação global e  $Zen$  é o ângulo de zênite.

A Tab. 1 fornece os limites dos parâmetros  $\varepsilon$ ,  $\Delta$ , ângulo de zênite teta  $z$  e o fator de correção geométrico para a obtenção da radiação difusa. Em função dos parâmetros citados, pode-se obter os valores de correção final da radiação difusa no apêndice de Lebarom et al. (1990).

Tabela 1 – Limites dos parâmetros utilizados para descrever a não isotropia atmosférica devido ao anel de sombra.

Parâmetro	Limites dos parâmetros de correção					
	Zen	0	35	50	60	90
<b>X</b>	1,000	1,068	1,100	1,132	-	-
<b><math>\varepsilon</math></b>	0,000	1,253	2,134	5,980	-	-
<b><math>\Delta</math></b>	0,00	0,12	0,20	0,30	-	-

Os fatores de correção da radiação difusa, em função dos parâmetros que identificam o comportamento isotrópico e não isotrópico da radiação difusa são apresentados em Lebarom (1990) e variam de 0,935 a 1,248 com erro RMS de  $\pm 6,9 \text{ W.m}^{-2}$ . Lebarom (1990) utilizou como referência os valores de radiação difusa obtidos através da medição de radiação global e direta normal.

Na medição de radiação difusa, utilizando o piranômetro Licor, Michalsky et al. (1987) propôs um método empírico para corrigir, simultaneamente, o efeito de sombreamento, a resposta cosseno e resposta espectral do piranômetro com sensor fotoelétrico. A equação proposta para a correção, através de ajuste por mínimo quadrado é

$$\frac{Dif_{fotoletrico}}{Dif_{termopilha}} = a + b \cdot \ln\left(\frac{Dif_{fotoletrico}}{Glo_{fotoletrico}}\right) + c \cdot \ln^2\left(\frac{Dif_{fotoletrico}}{Glo_{fotoletrico}}\right) \quad (8)$$

onde  $Dif_{\text{fotoeletrico}}$  é o valor da radiação difusa obtida com o piranômetro que utiliza sensor fotoelétrico,  $Dif_{\text{termopilha}}$  é o valor da radiação difusa obtida com o piranômetro que utiliza sensor termopilha, e os coeficientes a, b e c são, respectivamente: 1,0002; 0,0003; 0,0000.

Os resultados obtidos, após as correções, utilizando piranômetro com sensor fotoelétrico discordam, em valores absolutos,  $\pm 15 \text{ W.m}^{-2}$ . Quando esses valores são integrados ao longo do dia, a diferença entre as integrais é menor que 5% sendo que os piores resultados são os obtidos em dias de céu claro.

#### 4. INSTRUMENTAL PARA A MEDIÇÃO DE RADIAÇÃO

Tanto a radiação global quanto a difusa serão medidas através de um sistema de aquisição de dados que tem como principal componente um microcontrolador PIC12F675 da Microchip, o qual possui memória de programa FLASH, memória de dados RAM e EEPROM, conversor analógico-digital com resolução de 10 bits, comparador analógico de tensão e temporizador de 16 bits. O PIC é programado para realizar medições de 1 em 1 segundo fornecendo, a cada 5 minutos, o valor médio da radiação solar daquele período. Esse sistema de aquisição de dados comporta a leitura de 3 grandezas, realizadas em seqüências defasadas de 1 segundo. Dessa forma, consegue-se realizar a medida da radiação feita pelo piranômetro o qual será utilizado como referência, a medida da radiação feita pelo piranômetro com sensor fotoelétrico e a medida de temperatura.

Para a medição da radiação solar difusa será utilizado um anel de sombra com as seguintes dimensões: raio de 7,6 cm e comprimento de 31,7 cm. Esse anteparo ainda está em fase de construção e será semelhante ao fabricado pela Kipp & Zonen, conforme é mostrado na Fig. 4.



Figura 4 – Modelo de piranômetro com anel de sombra em construção.

Para efeitos de correção de temperatura, utilizar-se-á um sensor do tipo termopar colocado no interior de um objeto com dimensões e cores semelhantes ao do piranômetro em teste. Isso evita que se tenha que mexer na estrutura do piranômetro em teste, não se correndo o risco de danificá-lo. Com esse procedimento, a correção de temperatura será realizada em sua plenitude.

$\text{W.m}^{-2}$

#### 5. MEDIDAS DE RADIAÇÃO GLOBAL

As medidas de radiação global utilizando piranômetros com sensores do tipo fotoelétrico estão sendo realizadas durante o ano de 2006 e, para isso, estão sendo seguidos todos os procedimentos já descritos nesse trabalho. Inicialmente, faz-se a medida da radiação solar global utilizando-se para isso, um piranômetro Eppley PSP o qual é tomado como referência e um outro, o qual está sendo testado, da marca Licor. Quase que simultaneamente, realiza-se as medidas de radiação e temperatura. A Fig. 5 mostra as medidas de radiação feitas utilizando-se o piranômetro Eppley e o da Licor sem nenhum tipo de correção. Essas medidas instantâneas foram realizadas no dia 03 de

maio em condições de céu claro (sem nebulosidade) na localidade com latitude  $31^{\circ} 45' 59''$  sul e longitude  $52^{\circ} 21' 11''$  oeste.

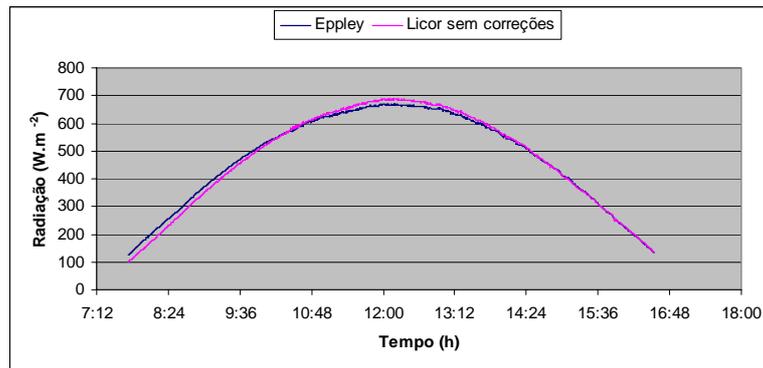


Figura 5 – Medida da radiação solar global sem nenhum tipo de correção.

Apenas realizando-se a correção da medida da radiação em função da temperatura, obtém-se uma melhora significativa. Os efeitos dessa correção podem ser verificados na Fig. 6.

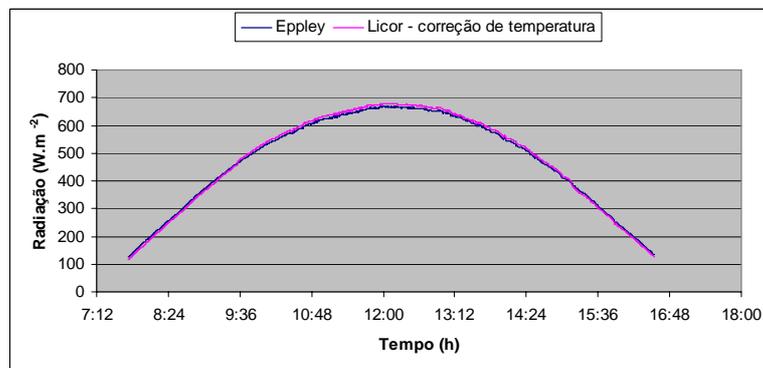


Figura 6 – Correção da medida da radiação solar global em função da temperatura.

Finalmente, utilizando-se os dados de radiação solar global já corrigidos em função da temperatura, aplica-se a correção sugerida pela eq. (2). Os resultados obtidos são mostrados na Fig. 7.

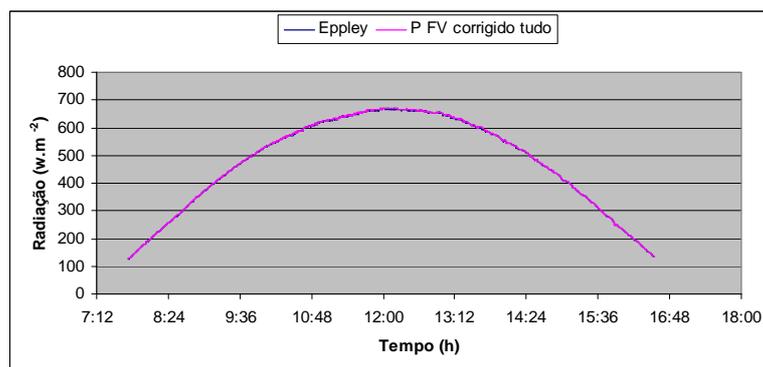


Figura 7 - Radiação solar global com todas as correções.

## 6. MEDIDAS DE RADIAÇÃO DIFUSA

As medições de radiação difusa ainda não foram realizadas até o momento. Isso se deve ao fato de que ainda não foram finalizados os trabalhos de confecção do anel de sombra a ser utilizado durante as medidas. Cabe ressaltar que todos os cuidados quanto ao formato, pintura e acabamento

estão sendo tomados a fim de consigamos obter dados de radiação difusa tão bons quanto os dados de radiação global já obtidos através dos procedimentos descritos nesse trabalho.

## **7. CONCLUSÕES**

A medição de radiação solar global e difusa é uma atividade que requer cuidados e procedimentos detalhados a fim de que se obtenham dados de boa qualidade.

Os valores de radiação solar global, obtidos com piranômetros que utilizam sensores do tipo fotoelétrico, como é o caso do utilizado nos experimentos realizados, desde que corrigidos adequadamente, demonstram que a utilização desses piranômetros, muito mais baratos que os piranômetros dotados de sensores do tipo termoeletrico, são uma boa alternativa de instrumental.

No caso da medida de radiação solar difusa, de acordo com vários autores já citados nesse trabalho, também se consegue resultados de boa qualidade quando comparados com os obtidos com piranômetros que utilizam sensores do tipo termoeletrico.

Pretende-se dar continuidade com esse trabalho realizando-se uma série de medidas de radiação solar difusa, as quais serão corrigidas através dos métodos de Drummond (1964) e LeBaron et al. (1990). Esses dois tipos de correções serão comparados para verificarmos qual delas melhor se adapta as nossas condições.

## **REFERÊNCIAS**

- Araújo, G. L., 1985, *Electricidad Solar Fotovoltaica: sistemas fotovoltaicos autônomos*, Universidad Politecnica de Madrid. ETSI Telecomunicación. Parte I: Fundamentos de la electricidad solar fotovoltaica, 3 "La célula solar", Madrid, pp. 118-176.
- Bannister, J. W., *Solar Radiation Records*, Division of Mechanical Engineering, Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, Australia (1966 -1969).
- Collares-Pereira, M., Rabl, A., 1979. *The Average Distribution of Solar Radiation - Correlations Between Diffuse and Hemispherical and Hourly Insolation Values*, *Solar Energy*, vol. 22, n. 2, pp. 155-164.
- Drummond, A. J., 1956. *On the Measurement of Sky Radiation*, *Arch. Meteor. Geophys & Bioklim*, vol. 7, pp. 413-436.
- Drummond, A. J., 1964. *Comments on Sky Radiation Measurements and Corrections*, *J. Appl. Meteorol.*, vol. 13, pp. 810-811.
- Iqbal, M., 1983, *An Introduction to Solar Radiation*, Academic Press, Toronto.
- LeBaron, B. A., Michalsky, J. J., Perez, R., 1990. *A Simple Procedure for Correcting Shadowband Data for All Sky Conditions*, *Solar Energy*, vol. 44, n. 5, pp. 249-256.
- Liu, B. Y. H., Jordan, R. C., 1960. *The Interrelationship and Characteristic Distribution of Direct, Diffuse and Total Solar Radiation*, *Solar Energy*, vol. 4, n. 1, pp. 1-19.
- Michalsky, J. J., Harrison, L., LeBaron, B. A., 1987. *Empirical Radiometric Correction of a Silicon Photodiode Rotating Shadowband Pyranometer*, *Solar Energy*, vol. 39, n. 2, pp. 87-96.
- Michalsky, J. J., Perez, R., Harrison, L., LeBaron, B. A., 1991. *Spectral temperature correction of silicon photovoltaic solar radiation detectors*, *Solar Energy*, vol. 47, n. 4, pp. 299-305.
- Ruth, D. W., Chant, R. E., 1976. *The Relationship of Diffuse Radiation to Total Radiation in Canada*, *Solar Energy*, vol. 18, pp. 153.
- Stanhill, G., 1966. *Diffuse Sky and Cloud Radiation in Israel*, *Solar Energy*, vol. 10, n. 2, pp. 69.

## MEASUREMENT OF GLOBAL AND DIFFUSE RADIATION USING PHOTOELECTRICAL PYRANOMETERS

**Abstract.** *In Brazil, most of the Institutions measures solar radiation and they just make available data of global radiation in a horizontal surface. In the area of Pelotas-RS, the Estação Agroclimática de Pelotas, linked Embrapa, it has the data of global solar radiation daily estimated since 1971 up to 1992 and measured starting from 1993. The design methodology of the solar systems compares the demand of energy requested by the user with the incident solar energy in the solar system. Considering that the solar systems should be installed so that a larger amount of energy is caught, the collectors should be installed with a certain inclination related to horizontal surface and oriented to Equator. That means that the radiation data made available by the Institutions that measure global solar radiation should be worked in order to esteem the incident solar radiation in a sloping surface. Hence, solar radiation data which are published by Institutions measure the global one. Thus, in our case, we need to adjust them in order to estimate the incident solar radiation on a tilted surface. To estimate the global solar radiation incident on a tilted surface, the designers of solar systems in Brazil use statistical methods originated from diffuse radiation measurements in other countries. Among the several methods in the literature, it can be pointed out: Liu and Jordan (1960), Stanhill (1966), Ruth and Chant (1976), Bannister (1966-969) and Collares-Pereira and Rabl (1979). With the objective of to esteem the incident solar radiation precisely in a sloping surface and to popularize the measurement of diffuse solar radiation through photoelectric pyranometers in substitution to the thermo electrical pyranometers, that work describes the procedures of measurements and corrections so that the measures of global radiation and diffuse radiation are considered of good quality. Usually, researchers use the thermo-electrical pyranometers to obtain the global and diffuse solar radiation. Nevertheless, this kind of pyranometer is very expensive. Thus, this work describes a methodology using photoelectrical pyranometer (cheaper than the formers) in order to obtain the global and diffuse solar radiation. In our approach, we present the details to get high quality results (in the sense of accuracy). This way, we intend to spread the use of photoelectrical pyranometer in the scientific community.*

**Keywords:** *Solar Radiation Measurement, Diffuse Radiation Measurement, Shadow Band.*