

# EQUAÇÕES DE CORREÇÃO ANISOTRÓPICA PARA A IRRADIÂNCIA DIFUSA MEDIDA POR ANEL DE SOMBREAMENTO EM FUNÇÃO DA COBERTURA DE CÉU – II RECUPERAÇÃO DE BANCO DE DADOS

DAL PAI<sup>1</sup>, Alexandre; ESCOBEDO<sup>2</sup>, João Francisco

## 1. Introdução

A implantação de novas tecnologias na aquisição e no gerenciamento de dados melhorou significativamente a obtenção e o armazenamento de variáveis meteorológicas e agrometeorológicas, efetuando com qualidade e confiança a medida de elementos climáticos como radiação solar, temperatura, umidade, precipitação etc. O uso desses novos sistemas de aquisição de dados permitiu a automatização do processo de medida e a digitalização de banco de dados existentes, cuja facilidade de programação e economia de tempo de processamento possibilitou a escolha de frequências de aquisição maiores capazes de contemplar, com mais precisão, efeitos atmosféricos como turbidez e anisotropia da radiação. Nesse sentido, fatores de correção para a irradiância difusa podem ser implementados nos sistemas de aquisição de dados automáticos via programação, corrigindo os efeitos da anisotropia no ato da medida.

O objetivo do trabalho é verificar o desempenho das correções anisotrópicas aplicadas na irradiância difusa medida pelo método do anel de sombreamento na partição de tempo média mensal e avaliar sua evolução na recuperação de um banco de dados de radiação solar de 6 anos.

## 2. Material e métodos

O banco de dados utilizado na avaliação do modelo de correção anisotrópico pertence ao Laboratório de Radiometria Solar (latitude 22,85° S, longitude 48,45° O, altitude 786 m), FCA/UNESP/Botucatu e é constituído das irradiâncias solares global, difusa e direta monitoradas no período de março de 1996 a dezembro de 2001, num total de 6 anos. A irradiância global foi medida por um piranômetro Eppley-PSP; a irradiância direta na incidência por um pireliômetro Eppley-NIP acoplado a um sistema de rastreamento solar ST-3, e a irradiância difusa por um piranômetro Eppley-PSP através do método do anel de sombreamento, com um anel do tipo Melo e Escobedo (1994) nas dimensões 0,40 m de raio e 0,10 m de largura. A aquisição dos dados foi realizada através de um Datalogger Campbell Scientific Inc. modelo 21X, na frequência de 1Hz, armazenando médias a cada 300 leituras.

A irradiância difusa de referência foi calculada pelo método da diferença através da equação (1) entre as irradiâncias global e direta projetada na horizontal.

$$I_g = I_d + I_D \cos \theta_z = I_d + I_{DH} \quad (1)$$

$I_g$  é a irradiância global em W/m<sup>2</sup>;  $I_d$  é a irradiância difusa em W/m<sup>2</sup>;  $I_D$  é a irradiância direta na incidência normal em W/m<sup>2</sup>;  $I_{DH}$  é a irradiância direta na horizontal em W/m<sup>2</sup> e  $\theta_z$  é o ângulo zenital. A irradiância difusa isotrópica foi calculada a partir da aplicação do fator de correção isotrópico diário de Oliveira et al. (2002) através das equações (2) e (3) na medida da irradiância difusa anel;

$$F_p = \left( \frac{2b}{\pi R} \right) \cdot \cos(\delta) \left[ \frac{\cos(\phi + \delta)}{\cos(\phi)} \right]^2 \cdot \int_0^{\omega_s} \cos(\theta_z) d\omega \quad (2)$$

$$FC = \frac{1}{1 - F_p} \quad (3)$$

onde  $b$  é a largura do anel,  $R$  o raio,  $\delta$  a declinação solar,  $\phi$  a latitude do local e  $\omega$  o ângulo horário. A irradiância difusa anisotrópica foi corrigida isotropicamente pelas equações (2) e (3) e anisotropicamente em função da cobertura de céu (Dal Pai e Escobedo, 2003), pelas equações (4), (5) e (6).

$$I_{d_{Anis}} = 0,963 I_{d_{IsoME}} \quad \text{Nublado} \quad (4)$$

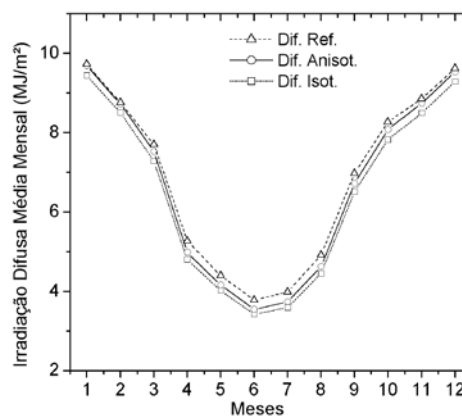
$$I_{d_{Anis}} = 1,029 I_{d_{IsoME}} \quad \text{Parc. Nubl} \quad (5)$$

$$I_{d_{Anis}} = 1,075 I_{d_{IsoME}} \quad \text{Aberto} \quad (6)$$

onde  $I_{d_{Anis}}$  é a irradiância difusa anisotrópica e  $I_{d_{IsoME}}$  é a irradiância difusa isotrópica medida na montagem Melo-Escobedo. As irradiações solares foram obtidas através da integração diária das irradiâncias e agrupadas em médias mensais.

## 3. Resultados e discussão

A evolução anual das irradiações difusas médias



mensais diárias é apresentada na figura 1. Figura 1. Evolução anual das irradiações difusa referência, isotrópica e anisotrópica.

O desempenho do modelo de correção é observado através da comparação de proximidade entre a irradiação difusa corrigida isotrópica e anisotropicamente em relação a irradiação difusa de

<sup>1</sup> Doutorando do Curso Energia na Agricultura – FCA/UNESP/Botucatu. E-mail: [dalpai@fca.unesp.br](mailto:dalpai@fca.unesp.br)

<sup>2</sup> Dr. Prof. Departamento de Recursos Naturais, Faculdade de Ciências Agronômicas, UNESP, Botucatu. E-mail: [escobedo@fca.unesp.br](mailto:escobedo@fca.unesp.br)

referência. A figura 2 mostra a evolução do indicativo estatístico MBE (desvio entre valores estimados e medidos; Stone, 1993) entre as irradiações difusa com correções isotrópica e anisotrópica em relação a difusa referência, com dependência sazonal dos desvios para os períodos de nebulosidade: maiores no inverno-outono e menores na primavera-verão.

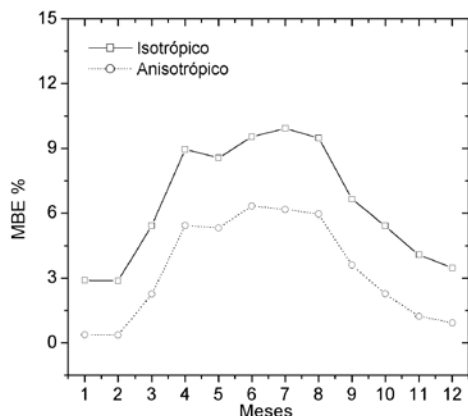


Figura 2. Indicativo estatístico MBE entre a irradiação difusa referência e as difusas isotrópica e anisotrópica.

Nos meses de novembro, dezembro, janeiro e fevereiro, período de alta nebulosidade, a correção anisotrópica obteve aproveitamento próximo de 100%, ou seja, a irradiação difusa com correção anisotrópica praticamente coincidiu com a difusa de referência. Nos meses de abril, maio, junho, julho e agosto, período de baixa nebulosidade, a correção foi menos eficiente e reduziu o efeito da anisotropia na ordem de 50% em relação a correção isotrópica. A evolução anual das irradiações médias mensais global, direta na horizontal e difusas referência, corrigidas isotrópica e anisotropicamente podem ser observadas na figura 3, e na tabela 1 são apresentadas a média anual das irradiações em MJ/m<sup>2</sup>.

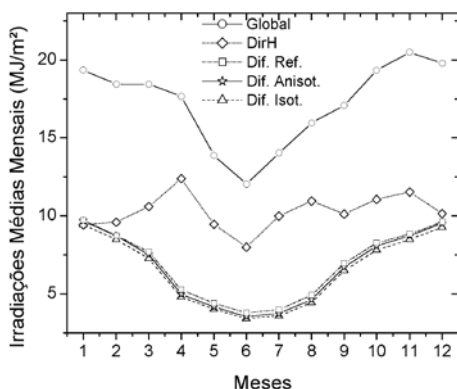


Figura 3. Irradiações médias mensais: global, direta na horizontal, difusa referência, difusa isotrópica e difusa anisotrópica.

Tabela 1. Média anual das irradiações global, direta na horizontal e difusas no período de 6 anos

Radiação Solar	MJ/m <sup>2</sup>
Global ( $G_M$ )	17,20
Direta na Horizontal ( $D_H$ )	10,28
Difusa Diferença ( $d_1$ )	6,86
Difusa Isotrópica ( $d_2$ )	6,44
Difusa Anisotrópica ( $d_3$ )	6,67

Para comparação com a irradiação global medida ( $G_M$ ) através do piranômetro, calculou-se a irradiação global ( $G_1$ ), ( $G_2$ ) e ( $G_3$ ) a partir da soma das irradiações difusa referência ( $d_1$ ), isotrópica ( $d_2$ ) medida pelo anel ME, e anisotrópica ( $d_3$ ) com a irradiação direta na horizontal ( $D_H$ ) através da equação 1, como:

$$G_1 = D_H + d_1 = 10,28 + 6,86 = 17,14 \text{ MJ/m}^2$$

$$G_2 = D_H + d_2 = 10,28 + 6,44 = 16,72 \text{ MJ/m}^2$$

$$G_3 = D_H + d_3 = 10,28 + 6,67 = 16,95 \text{ MJ/m}^2$$

No período de 6 anos, a irradiação global média mensal acumulada medida ( $G_M$ ) foi 17,20 MJ/m<sup>2</sup>, e os desvios relativos obtidos através de  $\delta = 100 \cdot (G_M - G_n) / G_M$  foram:

$$\delta (G_1) = 0,35\%$$

$$\delta (G_2) = 2,79\%$$

$$\delta (G_3) = 1,45\%$$

Os resultados entre o  $G_M$  e os  $G_1$ ,  $G_2$  e  $G_3$  foram melhores, na seqüência, para as irradiações difusa referência, anisotrópica e isotrópica. O desvio  $\delta (G_1)$  de 0,35% indica que a irradiação global  $G_1$  não difere significativamente da global medida  $G_M$  e deve ser atribuído a imprecisão dos radiômetros solares. O desvio  $\delta (G_2)$  de 2,79% é devido a soma da imprecisão instrumental mais os efeitos intrínsecos da anisotropia da radiação difusa, que não estão incluídos na correção isotrópica efetuada pelas equações (2) e (3). O  $\delta (G_3)$  de 1,45% mostra que, além das imprecisões dos equipamentos, existe outros efeitos que contribuem para a anisotropia além dos efeitos da cobertura, cujo valor pode ser quantificado através da diferença entre  $\delta (G_1)$  e  $\delta (G_3)$  como sendo de 1,1%.

#### 4. Conclusão

A aplicação dos fatores anisotrópicos apresentou eficiência diferenciada na correção da irradiação difusa média mensal. Sazonalmente, o desempenho das correções dependeu da nebulosidade, com eficiência de 100% para períodos de alta nebulosidade e de 50% para baixa nebulosidade. Na recuperação de um banco de dados de irradiações global, direta e difusa, a correção anisotrópica apresentou bom desempenho, reduzindo pela metade o desvio entre a irradiação global calculada a partir da difusa isotrópica e a global calculada a partir da difusa anisotrópica.

#### 5. Referências bibliográficas

- DAL PAI, A., ESCOBEDO, J. F. Equações de correção anisotrópica para a irradiação difusa medida por anel de sombreamento em função da cobertura de céu – I Modelagem. In: XIII CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, Santa Maria, RS, 2003. (submetido)
- MELO, J. M. D., ESCOBEDO, J. F. Medida da radiação solar difusa. In: ENERGÍAS LÍMPIAS EN PROGRESO, VII CONGRESSO IBÉRICO DE ENERGIA SOLAR, Vigo, Espanha. Anais INTERNATIONAL SOLAR ENERGY SOCIETY, v. 1, 1994.
- OLIVEIRA, A. P., ESCOBEDO, J. F., MACHADO, A. J. A new shadow-ring device for measuring diffuse solar radiation at surface. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, Boston, v. 19, p. 698-708, 2002.
- STONE, R. J. Improved statistical procedure for the evaluation of solar radiation estimation models. *Solar Energy*, v.51, n.4, p.289-291, 1993.