

ESTIMATIVA HORÁRIA DA RADIAÇÃO DIRETA NA INCIDÊNCIA ATRAVÉS DA RADIAÇÃO GLOBAL

Eduardo Nardini Gomes¹, João Francisco Escobedo², Jacyra Soares³

ABSTRACT - In this paper we have developed decomposition models to estimate the direct solar radiation based on the global radiation. The database was made by 8 years measures of the global and direct radiations, registered at the Radiometric Station of FCA/Unesp, from Botucatu-SP. The proposed models were based on the K_b versus K_t correlation adjusted by polynomial regression. The statistically indicators r^2 , MBE, RMSE and d were used to validate the models. The results showed that the models underestimated the experimental values less than 5%, with a high adjustment index, as well as high r^2 .

INTRODUÇÃO

A radiação solar direta é a única componente da radiação solar que pode ser concentrada, sendo o seu conhecimento de extrema importância, principalmente em aplicações que envolvem valores horários desta irradiação, como na simulação da energia solar requerida em diversos sistemas termo-elétricos envolvendo painéis fotovoltaicos, e em concentradores solares, buscando o aumento de temperatura de determinados sistemas térmicos.

Na estimativa da irradiação solar direta, dois são os modelos utilizados: modelos de transmitância atmosférica, e modelos que calculam a decomposição da irradiação solar direta em componentes da irradiação solar global. Os modelos de transmitância atmosférica necessitam do conhecimento detalhado de muitos parâmetros atmosféricos, enquanto que os modelos de decomposição necessitam somente da radiação global na estimativa da irradiação direta.

O modelo de decomposição mostra ser mais prático, pois é baseado na correlação entre o índice de claridade ($K_t=H_g/H_0$) e a transmitância da radiação solar direta ($K_b=H_b/H_{b0}$), onde: H_b é irradiação direta na incidência, H_g é a irradiação global na superfície horizontal, H_0 é a irradiação no topo da atmosfera calculada de acordo com Iqbal (1983), e H_{b0} é constante solar integrada no intervalo de tempo de 1 hora, sendo representada por $4,921\text{MJ m}^{-2}\text{h}^{-1}$.

Os objetivos deste trabalho são: 1) ajustar um modelo estatístico de decomposição para a estimativa horária da irradiação direta na incidência (H_b) em função da irradiação global na superfície horizontal (H_g), através da correlação entre a transmitância da radiação direta na incidência (K_b) e do índice de claridade (K_t); 2) ajustar um modelo estatístico polinomial de estimativa, baseado na transmitância média da radiação direta na incidência em função de intervalos centesimais de K_t e; 3) validar os modelos propostos através dos indicativos estatísticos r^2 , MBE, RMSE e d de Willmott (1981).

MATERIAL E MÉTODOS

A base de dados de radiação solar utilizada no estudo é constituída por medidas experimentais da Estação de Radiometria Solar de Botucatu, situada no Departamento de Recursos Naturais da FCA/ UNESP, situada a $22^{\circ}51'S$, $48^{\circ}27'O$ e 786m de altitude.

As irradiações horárias (em $\text{MJm}^{-2}\text{h}^{-1}$) global (H_g), direta (H_b) foram obtidas respectivamente através de um piranômetro EPPLEY-PSP ($K=8,13\mu\text{Vm}^2\text{W}^{-1}$), e de um pireliômetro EPPLEY-NIP, ($K=7,73\mu\text{Vm}^2\text{W}^{-1}$) acoplado a um rastreador solar EPPLEY modelo ST-3, fixo na direção norte-sul geográfica e ajustado para a latitude local.

A validação dos modelos propostos se deu através dos indicativos estatísticos r^2 , MBE, RMSE, e d de Willmott (1981), utilizando uma base de dados independente da utilizada no ajuste dos modelos. Os dados de 1996 a 2001 e 2003 foram utilizados na geração, e o ano de 2002 na validação.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A figura 1 mostra a correlação entre a transmitância da radiação direta na incidência (K_b) e o índice de claridade (K_t), bem como o modelo 1, ajustado com base em 31254 valores horários de K_b versus K_t , com $r^2=0,8940$, sendo expresso pela equação polinomial de quarta ordem:

$$K_b = -0,0149 + 0,4353K_t - 3,3327(K_t)^2 + 10,0616(K_t)^3 - 6,5510(K_t)^4$$

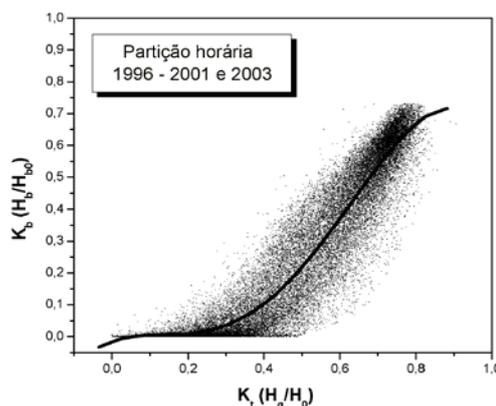


Figura 1. Correlação entre a transmitância da irradiação direta na incidência (K_b) e a índice de claridade (K_t), bem como o modelo polinomial ajustado.

Apesar do elevado coeficiente de determinação (r^2), a figura mostra que ocorreu um considerável espalhamento dos pontos ao redor do modelo ajustado, onde um determinado valor de K_t pode assumir diversos valores de K_b , ou seja, quando $K_t=0,5$, K_b assume valores que vão de 0 a 0,5.

¹Doutorando no programa Irrigação e Drenagem, da Faculdade de Ciências Agrônômicas da Unesp campus de Botucatu, SP. End: Fazenda Lageado, S/N., 18600.000 Botucatu, SP, Brasil, (engomes@fca.unesp.br)

² Professor Doutor do Departamento de Recursos Naturais, Faculdade de Ciências Agrônômicas/ Unesp. End.: Fazenda Lageado S/N. 18600.000 Botucatu, SP, Brasil, tel 0xx14 3811-7162, (escobedo@fca.unesp.br)

³ Professora Doutora – Instituto Astronômico e Geofísico/USP, Departamento de Ciências Atmosféricas (jacyra@usp.br)

Segundo Willmott (1981), quando empregado isoladamente, o r^2 não se mostra um bom indicativo de performance de modelos estatísticos, necessitando assim do uso conjunto de mais indicativos estatísticos, para que se possa ter uma avaliação mais confiável dos modelos, como será apresentado na validação.

Na tentativa de buscar uma maior precisão na estimativa, calculou-se a curva média de K_b com base em intervalos centesimais de K_t , de acordo com Barone et al. (1982), como expresso na figura 2. Para tanto, os dados da figura 1 foram submetidos a um critério de filtragem, no qual se dividiu o intervalo de K_t (que vai de 0 a 1) em 100 sub-intervalos, e para cada sub-intervalo, calculou-se a média e o desvio de K_b . Através dos valores médios de K_b e de seus desvios foi possível ajustar o modelo 2, que apresentou $r^2=0,9983$, sendo expresso por:

$$K_b = -1,2284E-4 + 0,0700(K_t) - 1,0420(K_t)^2 + 5,2066(K_t)^3 - 3,3204(K_t)^4$$

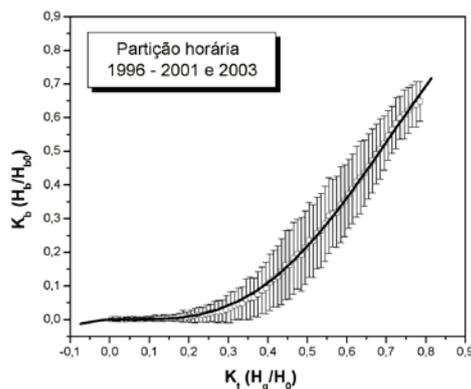


Figura 2. Correlação entre a transmitância média da irradiação direta na incidência (K_b) em função de intervalos centesimais do índice de claridade (K_t); e modelo polinomial ajustado.

O elevado r^2 obtido já era esperado, pois no ajuste do modelo 2 foram utilizados somente 79 intervalos centesimais de K_t , ao invés dos 100 inicialmente propostos. Os valores de K_t acima da transmissividade máxima local foram eliminados, pois caracterizavam efeito de multi-reflexão por nuvens, o que implicaria em erros no ajuste do modelo, bem como na estimativa de K_b .

A validação dos modelos propostos, através dos indicativos estatísticos, mostrou que o modelo 2 leva vantagem em relação ao modelo 1 na estimativa de K_b , pois apresenta menor espalhamento (18,3% menor), maior índice de ajustamento e ligeira subestimativa em relação ao modelo 1.

Os modelos ajustados subestimaram os valores experimentais em menos de 5% (MBE), sendo a subestimativa do modelo 1 em torno de 3,99%, enquanto que o modelo 2 foi na ordem de 4,7%.

O indicativo estatístico RMSE mostrou que enquanto o modelo 1 apresenta espalhamento na ordem de 27,33%, já o modelo 2 apresenta um espalhamento bem menor, na ordem de 9%. Observou-se também um elevado índice de ajustamento dos modelos 1 e 2, que apresentaram no indicativo d de Willmott valores na ordem de 0,97 e 0,99, respectivamente.

O melhor desempenho do modelo 2 se deve a este ter se baseado na curva média de K_b , em função dos intervalos centesimais de K_t , envolvendo um

numero bem menor de valores tanto no ajuste, quanto na validação do modelo. Enquanto o modelo 1 foi validado com base em 4116 valores, o modelo 2 foi validado com base em 79 valores.

A figura 3 mostra as correlações entre os valores de K_b estimados pelo modelo 1 (Fig. 3a), pelo modelo 2 (Fig 3b) e medidos, bem como as retas: ajustada (regressão linear simples passando pelo zero) e ideal (1:1).

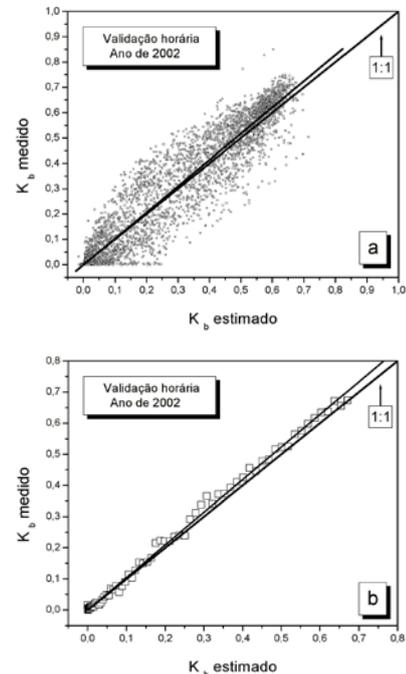


Figura 3. Correlação entre K_b estimado pelos modelos 1 (fig.3a) e 2 (fig.3b) e medido, e retas: ajustadas (através de regressão linear) e ideais (1:1).

As figuras 3a e 3b confirmam os resultados obtidos nos indicativos estatísticos, pois mostram que tanto na figura 1 quanto na figura 2 houve proximidade entre as retas ajustada e ideal, indicando que o índice de ajustamento foi realmente elevado. As figuras confirmam também a tendência de subestimativa menor que 5%, já que os coeficientes angulares das retas ajustadas foram na ordem de 3,7% (modelo 1) e 4,7% (modelo 2) em relação à reta ideal, no sentido de K_b medido.

Conclui-se assim que é possível estimar com considerável precisão a radiação direta na incidência através de valores da radiação global, utilizando-se de modelos de decomposição, baseados na correlação entre K_b e K_t .

REFERÊNCIAS

- Barone, B., Cuomo, V., Amato, U. Diffuse and beam components of daily global radiation in Genova and Macerata. *Sol. Energy*, v.28, p. 307-11, 1982.
- Iqbal, M. *An introduction to solar radiation*. New York: Academic Press, 1983. 390 p.
- Willmott, C.J. On the validation of models. *Physic Geogr.*, v.2, p.184-94, 1981

Agradecimentos: CNPq e FAPESP pelo apoio financeiro.