

ESTIMATIVA DIÁRIA DA RADIAÇÃO DIRETA NA INCIDÊNCIA COM BASE NA RADIAÇÃO GLOBAL

Eduardo Nardini Gomes¹, João Francisco Escobedo², Jacyra Soares³

ABSTRACT – In this paper was described a model to estimate the direct solar radiation based on the global radiation. The database was made by measures of 8 years of the global and direct radiations, registered in the Radiometric Station of FCA/Unesp, from Botucatu - SP. The global and direct radiations were measured by a pyranometer EPPLEY-PSP, ($K=8.13\mu Vm^2W^{-1}$) and a pyrhemliometer EPPLEY-NIP, ($K=7.73\mu Vm^2W^{-1}$), respectively. The pyrhemliometer was coupled with an EPPLEY solar tracker model ST3, fixed in the geographical north-south position, and it was adjusted for the local latitude. The proposed model was based on the $K_b \times K_t$ correlation adjusted by polynomial regression. In order to generate the model 7 years were used, and 1 year (independent to the data employees in the generation) was used in the validation. The statistically indicators r^2 , MBE, RMSE and d were used to validate the models. The results showed that the model underestimates the experimental values in 3.4%, but it presented a high adjustment index ($d=0.97$), as well high r^2 (0.91), what showed the good quality of the estimative.

INTRODUÇÃO

A radiação solar é a fonte primária de energia sobre todas as conhecidas fontes de energia renováveis do planeta (Lopez et al. 2000), e o seu conhecimento é de vital importância na produção vegetal, e na manutenção da vida no planeta. A quantificação da radiação solar incidente vem sendo realizada basicamente para atender a diversas áreas de conhecimento como: meteorologia, ecologia, agronomia, engenharia florestal, e demais engenharias relacionadas com os conceitos da termo-elétrica, e os estudos sobre cálculo da eficiência de coletores solares, bem como de painéis fotovoltaicos.

Segundo Oliveira et al. (2002), devido ao alto custo de importação de equipamentos, e da ausência de uma rede solarimétrica nacional consistente e menos esparsa, a radiação solar direta não vem medida de rotina na maioria das localidades do território nacional.

Com o objetivo solucionar esta problemática, modelos de estimativa da radiação solar direta vem sendo desenvolvidos, sendo basicamente dois os tipos empregados: os modelos de transferência radiativa e os modelos de decomposição. Os modelos do primeiro tipo necessitam de muitas informações a respeito das interações da radiação solar incidente com determinados parâmetros da atmosfera, que geralmente não são medidos de rotina na maioria das estações meteorológicas convencionais. Já os modelos de decomposição permitem relacionar a radiação solar direta com outras radiações, como a radiação global na superfície horizontal.

Assim sendo, os objetivos deste trabalho são:

1) Desenvolver um modelo de decomposição, na

partição diária, ajustado através da correlação entre o índice de claridade ($K_t=H_g/H_0$) e a transmitância da radiação direta na incidência ($K_b=H_b/H_{b0}$), onde H_g é a irradiação global, H_0 é a irradiação no topo da atmosfera projetada na horizontal, H_b é a irradiação direta na incidência, e H_{b0} é a irradiação no topo da atmosfera na incidência; 2) Validar o modelo proposto através dos indicativos estatísticos r^2 (coeficiente de determinação), MBE (Mean Bias Error), RMSE (Root Mean Square Error) 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, situada no Departamento de Recursos Naturais da Faculdade de Ciências Agrônomicas/ UNESP, Campus de Botucatu (coordenadas geográficas: latitude de 22°51'Sul, longitude 48°27'Oeste e altitude 786 m). O clima é típico das regiões subtropicais do Brasil, e segundo a classificação de Köppen é classificado como Cwa.

As irradiâncias (em W/m^2) global (I_G) e direta na incidência (I_b) foram obtidas respectivamente através de um piranômetro EPPLEY-PSP, com constante de calibração igual a $8,13\mu V/Wm^2$ e de um piriômetro EPPLEY-NIP, com constante de calibração igual a $7,73\mu V/Wm^2$, acoplado a um rastreador solar EPPLEY modelo ST-3, fixo na direção norte-sul geográfica e ajustado na latitude local.

As irradiações diárias (em MJ/m^2 dia) global (H_g), direta (H_b) foram obtidas através da integração diária dos valores médios de 5 minutos de I_G e I_b , respectivamente, através do software Origin 6.0. As irradiações no topo da atmosfera (na incidência e projetada na horizontal) foram calculadas de acordo com Iqbal (1983).

A estimativa diária da irradiação direta na incidência, baseada em valores da irradiação global no plano horizontal, foi realizada através de um modelo estatístico de regressão polinomial de quarto grau, com variáveis adimensionais representadas pelo índice de claridade (K_t) e a transmitância da radiação direta na incidência (K_b). Assim, estimou-se a irradiação direta na incidência diária com base na correlação entre K_b e K_t .

A validação do modelo proposto se deu através do coeficiente de determinação (r^2), e dos indicativos estatísticos MBE (Mean Bias Error), RMSE (Root Mean Square Error), e d de Willmott (1981), utilizando-se uma base de dados independente da empregada no ajuste do modelo. Os dados de 1996 a 2001 e 2003 foram utilizados na geração do modelo, e o ano de 2002 na validação.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

¹Doutorando em Irrigação e Drenagem, Faculdade de Ciências Agrônomicas da Unesp de Botucatu, SP. End: Fazenda Lageado, S/N., 18600.000 Botucatu, SP, Brasil, caixa postal 237, e-mail: engomes@fca.unesp.br

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

³ Doutora – Instituto Astronômico e Geofísico/USP, Departamento de Ciências Atmosféricas, e-mail: jacyra@usp.br

A figura 1 mostra a correlação entre o índice de claridade (K_t) e a transmitância da radiação solar direta na incidência (K_b), bem como a curva ajustada através de regressão polinomial. No ajuste da equação foram utilizadas 2327 medidas simultâneas das irradiações diárias, resultando na equação:

$$K_b = -0,0847 + 1,3934K_t - 7,1755(K_t)^2 + 15,5487(K_t)^3 - 9,3104(K_t)^4$$

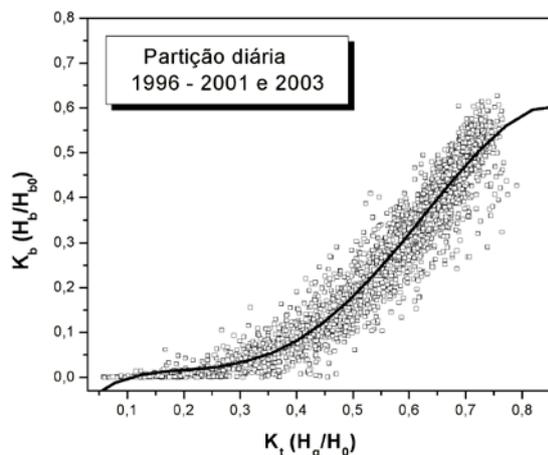


Figura 1. Correlação entre o índice de claridade (K_t) e a transmitância da radiação direta na incidência (K_b), e modelo polinomial ajustado.

Na figura 1 observa-se que devido a elevada nebulosidade e conseqüente baixa transmissividade da atmosfera, em geral, os valores de K_b tendem a zero no intervalo $0 < K_t \leq 0,2$, e que acima deste intervalo tem-se uma condição de céu nublado tendendo a parcialmente nublado ($0,2 < K_t \leq 0,35$), com sutil elevação nos valores de K_b .

No intervalo definido entre $0,35 < K_t < 0,65$ observa-se uma significativa elevação dos valores de K_b , já que este intervalo define a cobertura de céu como sendo parcialmente nublado, com elevação na transmissividade atmosférica, e conseqüente aumento na radiação direta que alcança a superfície terrestre.

À medida que o índice de claridade se tornou máximo, ocorreram os máximos valores de K_b , que foram por volta 0,62, pois quando $K_t \geq 0,65$, o céu é considerado aberto, e neste intervalo, a atmosfera passa a atenuar cada vez menos a irradiação direta na incidência.

Na validação do modelo proposto observou-se que este apresentou um elevado coeficiente de determinação ($r^2=0,9257$), indicando que uma elevada proporção da variação de K_b é explicado por K_t , bem como existiu uma elevada correlação entre K_b e K_t . Observou-se também, através do indicativo estatístico *MBE*, que em geral o modelo subestima os valores experimentais na ordem de -3,88%.

O indicativo estatístico *RMSE* mostrou que o modelo apresenta um espalhamento na ordem de 17,69%.

O modelo proposto também apresentou um elevado índice de ajustamento, na ordem de 0,9753, segundo o indicativo *d* de Willmott, o qual varia de 0 (total desajustamento) a 1 (total ajustamento entre valores estimados e medidos).

A figura 2 mostra a correlação entre os valores estimados e medidos de K_b , e mostra também as retas:

ajustada através de regressão linear simples (passando pelo zero) e a reta ideal (1:1).

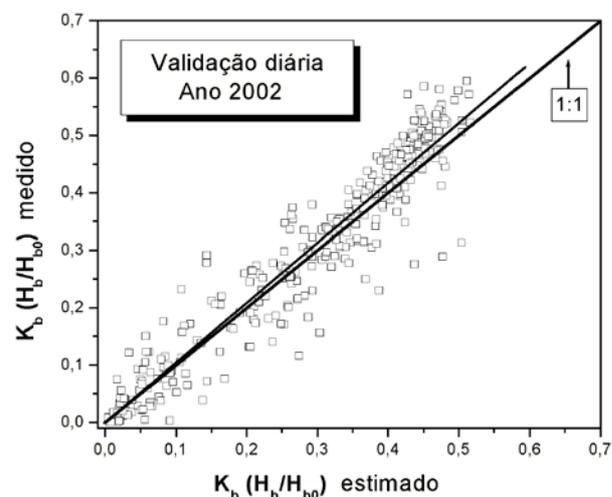


Figura 2. Correlação entre K_b estimado e medido, e as retas: ajustada (através de regressão linear) e ideal (1:1).

A reta ajustada por regressão linear não coincide com a reta ideal (1:1), o que mostra que ocorre uma tendência de subestimativa do modelo. O coeficiente angular da reta ajustada da ordem de 1,0361, quantifica a subestimativa por volta de 3,61%. Este resultado confirma o resultado obtido pelo indicativo estatístico (*MBE*), que foi na ordem de 3,88%.

Observa-se que o modelo proposto atendeu as necessidades de permitir a estimativa da radiação solar direta na incidência através da radiação global, com bons resultados como mostram os indicativos estatísticos. Visando uma melhor precisão na estimativa, cabe um estudo mais detalhado da relação entre K_b e K_t frente a sazonalidade, bem como o desenvolvimento de modelos mensais e sazonais de estimativa da radiação direta, de forma a possibilitar uma maior gama de equações, bem como uma maior eficiência de estimativa.

REFERÊNCIAS

- Iqbal, M. *An introduction to solar radiation*. New York: Academic Press, 1983. 390 p.
- Lopez, G., Rubio, M.A., Batles, F.J. Estimation of hourly direct normal from measured global solar irradiance in Spain. *Renewable Energy*, v.21, p. 175-86, 2000.
- Oliveira, A. P., Machado, A.J., Escobedo, J.F., Soares, J.S. Diurnal evolution of solar radiation at surface in the city of São Paulo: seasonal variation and modeling. *Theoretical and Applied Climatology*, 2002. v. 71, p. 231-50, 2002.
- Willmott, C.J. On the validation of models. *Physic Geogr.* v.2, p.184-94, 1981.

Agradecimentos: CNPq e FAPESP pelo apoio financeiro.