

EQUAÇÕES DE ESTIMATIVA ANUAL E MENSAL DA IRRADIÂNCIA DIFUSA

Alexandre Dal Pai¹, João Francisco Escobedo¹

ABSTRACT - In this paper it is proposed annual and monthly diffuse radiation estimate equations as a function of K_t clearness index. The global irradiance was measured by an Eppley PSP piranometer and the diffuse irradiance by an Eppley PSP piranometer fitted to a shadowring. The validations were performed by the MBE and RMSE statistical indicators. The results showed that the equations were appropriate to estimate the annual and monthly diffuse radiation.

INTRODUÇÃO

Os modelos de estimativa da radiação solar difusa merecem um destaque especial em virtude da dificuldade das estações meteorológicas em medir esta componente. Para Cañada et. al. (1994), em cada aplicação se requer um determinado tipo de dado e na sua ausência, há necessidade de se recorrer a valores estimados por modelos. Segundo Graham et. al. (1988), mesmo de posse de valores medidos, os valores estimados por modelos se fazem necessários em situações que envolvam projeção de valores futuros.

Segundo Iqbal (1983), a determinação teórica das radiações direta e difusa depende de vários fatores como propriedades óticas das nuvens, quantidade de nuvens, espessura, albedo e posição. Para Coppolino (1989), a componente difusa, em qualquer instante, depende da altitude e latitude do lugar, da altura solar, da época do ano, do grau de turbidez atmosférica, da quantidade de vapor d'água presente na atmosfera e da cobertura do céu.

O procedimento mais comum citado na literatura é estimar a radiação difusa a partir de valores medidos ou estimados da radiação global. Esta estimativa se processa por meio da fração difusa (razão da radiação difusa pela global) em função do índice de claridade K_t (razão da radiação global pela extraterrestre).

MATERIAL E MÉTODOS

Os dados utilizados são do banco de dados do Laboratório de Radiometria Solar de Botucatu – SP, do Departamento de Recursos Naturais da Faculdade de Ciências Agrônomicas/UNESP. As coordenadas geográficas são 22° 54' latitude Sul, 48° 27' longitude Oeste e 786 m de altitude. Os modelos de correção e os modelos de estimativa foram desenvolvidos com dados do período de março de 1996 a fevereiro de 1998 e a validação utilizou os dados de março de 1998 a fevereiro de 1999.

A radiação difusa foi medida por um piranômetro Eppley-PSP, sendo seu sensor obscurecido por um anel de sombreamento com 0,40 m de raio e 0,10 m de largura, com fator de calibração no valor de 8,17 $\mu\text{V}/\text{Wm}^{-2}$. Mantém-se fixo o anel e movimenta-se o sensor na direção horizontal, conforme a declinação solar na época. O anel de sombreamento foi posicionado com seu centro situado à mesma altura do sensor do piranômetro e inclinação em relação à vertical igual da latitude local. As faces internas do anel foram pintadas de preto fosco com a finalidade de

minimizar o efeito das reflexões internas e as faces externas pintadas de branco brilhante para refletir a radiação incidente. A radiação global foi medida com um piranômetro Eppley-PSP, com fator de calibração de 8,13 $\mu\text{V}/\text{Wm}^{-2}$.

Utilizou-se um sistema de coleta de dados digital, por meio de um Datalogger Campbell Scientific 21X, operando na frequência de 1Hz e realizando a média aritmética para cada 300 leituras ou 5 minutos.

Para a formulação das equações de estimativa foram utilizados os seguintes indicativos estatísticos: MBE e RMSE (Stone. 1993).

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^N (y_i - x_i)}{N}$$

$$RMSE = \left[\frac{\sum_{i=1}^N (y_i - x_i)^2}{N} \right]^{\frac{1}{2}}$$

em que y_i são os valores estimados, x_i os valores medidos e N o número de observações.

O desvio das médias MBE (Mean Bias Error) é um indicativo que fornece informação no desempenho de um modelo a longo prazo. Um valor positivo indica uma superestimação, pelo modelo, da radiação. Para um valor negativo ocorre o inverso. Quanto menor seu valor absoluto, melhor é sua performance. A raiz quadrada do desvio quadrático médio RMSE fornece informação quanto ao desempenho do modelo à curto prazo. Quanto menor seu valor, menor a dispersão dos dados em torno do modelo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A equação de estimativa da radiação difusa foi ajustada a partir de uma curva polinomial de 4º grau, expressa por:

$$\bar{I}_d = 0,36 + 106,67\bar{K}_t + 5663,27\bar{K}_t^2 - 14479,28\bar{K}_t^3 + 9359,61\bar{K}_t^4 \quad \bar{K}_t \leq 0,78$$

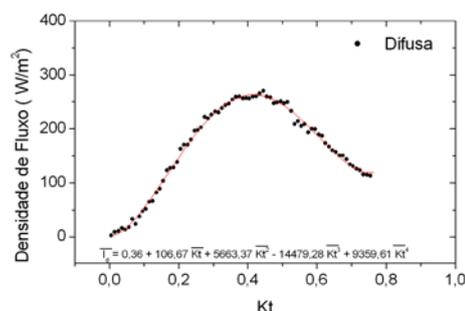


Figura 1. Modelo da radiação direta na horizontal em função do índice de claridade

A curva da Figura 1 apresenta um crescimento até um ponto de máximo (aproximadamente 250 W/m^2), correspondendo à uma região de nebulosidade moderada e decai atingindo um valor mínimo

¹ Depto. De Recursos Ambientais (Setor Ambientais), FCA, Univ. Estadual Paulista, Botucatu, Fazenda Experimental Lageado, CP 237, 18603-970, Botucatu, SP, Brazil. (dalpai@fca.unesp.br)

(aproximadamente 120 W/m²) em condições de pouca nebulosidade. Este valor máximo ocorre na cobertura de céu parcialmente nublado, caracterizado pelo par céu "aberto/coberto", o que causa um aumento do fluxo difuso em virtude do comportamento complexo dessa região, mesclando radiação difusa e direta ao mesmo tempo (Suehrcke e McCormick, 1988).

A Figura 2 exibe a validação para a média anual. Os valores determinados para MBE e RMSE foram, respectivamente, -5,24W/m² e 12,43W/m², expressando um bom desempenho do modelo.

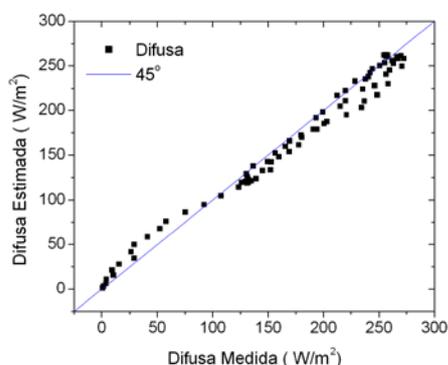


Figura 2. Validação anual do modelo da radiação direta na horizontal.

Para verificar a sazonalidade do modelo proposto, foi realizada a validação mensal com dados no período de março de 1998 à fevereiro de 1999, e os indicativos estatísticos são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Indicativos estatísticos MBE e RMSE para a difusa.

Mês	Difusa	
	MBE (W/m ²)	RMSE (W/m ²)
Janeiro	-51,13	61,89
Fevereiro	-34,79	45,46
Março	-8,48	27,35
Abril	8,05	23,18
Mai	34,29	43,82
Junho	66,82	75,86
Julho	70,18	83,58
Agosto	28,52	48,26
Setembro	-5,47	20,97
Outubro	-19,68	30,47
Novembro	-14,29	34,22
Dezembro	-32,99	39,43

A validação indicou uma superestimativa para a época do inverno, ao passo que se verificou uma subestimativa para o período do verão, conforme indicativos estatísticos na Tabela 1. Os menores valores absolutos de MBE foram apresentados pelos meses de setembro (-5,27W/m²), abril (8,05W/m²) e março (-8,48W/m²). Já os maiores valores absolutos foram atribuídos aos meses de julho (70,18 W/m²) e janeiro (-51,13 W/m²), deixando bem claro os efeitos da sazonalidade no modelo. O modelo foi desenvolvido com dados de dois anos e por isso mostra melhor desempenho para meses próximos ao equinócio e

maiores espalhamentos para meses próximos aos solstícios. Para se melhorar a precisão do modelo para meses extremos (solstícios), recomenda-se então o uso de equações mensais, as quais permitem uma estimativa mais precisa da radiação difusa para um determinado mês. A Tabela 2 apresenta as equações mensais para a radiação difusa.

Tabela 2. Coeficientes das equações mensais da radiação difusa e seu coeficiente de determinação.

Mês	Difusa = a + b Kt + c Kt ² + d Kt ³ + e Kt ⁴				
	Coeficientes				
	a	b	c	d	e
Jan	19,7	-208,4	7557,7	-17353,9	10789,3
Fev	5,5	323,2	4476,3	-12034,5	7796,7
Mar	1,6	215,3	4530,1	-12306,6	8321,9
Abr	-8,6	407,7	2834,1	-8803,1	6087,1
Mai	8,8	176,9	3143,4	-8467,6	5518,7
Jun	8,6	127,6	3962,6	-11761,1	8519,2
Jul	4,8	172,5	2206,6	-6479,6	4559,6
Ago	-14,6	614,5	1617,3	-6390,8	4486,9
Set	-4,6	516,1	2799,1	-8608,7	5727,2
Out	-2,3	608,6	1744,5	-5320,3	3079,2
Nov	27,5	-363,3	7961,7	-16889,3	9580,5
Dez	28,4	-385,7	8091,1	-17679,2	10581,0

REFERÊNCIAS

- Cañada, J., Pinazo, J.V., Boscá, J. V. Analisis de variables radiometricas y meteorologicas en Valencia durante los años 1989,1990 Y 1992. In: CONGRESSO IBÉRICO DE ENERGIA SOLAR, 7, 1994, Vigo España, Anais ... Vigo Associação Ibérica de Energia Solar, 1994. p.103-108.
- Coppolino, S. A simple model for computing diffuse solar radiation. Solar Energy, v.43, n.6, p.385-9, 1989.
- Graham, V. A., Hollands, K. G. T., Unny, T. E. A time series model for K, with applications to global synthetic weather generation. Solar Energy, v.40, n.2, p.83-92, 1988.
- Iqbal, M. An introduction to solar radiation. Nova Iorque, Academic Press, 1983. 390p.
- Stone, R. J. Improved statistical procedure for the evaluation of solar radiation estimation models. Solar Energy, v.51, n.4, p.289-91, 1993.
- Suehrcke, H., McCormick, P. G. The frequency distribution of instantaneous insolation values. Solar Energy, v.40, n.5, p.413-22, 1988.

Agradecimentos: ã Capes, CNPq e FAPESP pelo apoio financeiro.