

# ESTIMATIVA DIÁRIA DA RADIAÇÃO FOTOSINTETICAMENTE ATIVA GLOBAL, DIRETA E DIFUSA.

GOMES, Eduardo Nardini<sup>1</sup>; ESCOBEDO, João Francisco<sup>2</sup>; ANGELA, Rodrigo<sup>3</sup>

## INTRODUÇÃO

Na agricultura moderna, a energia solar diária efetivamente disponível às diversas comunidades vegetais é um conhecimento extremamente importante, pois busca-se a maximização da produção de biomassa através da síntese orgânica. A energia na faixa de comprimento de onda mais utilizável pelas plantas é a radiação fotossinteticamente ativa (PAR), e encontra-se na faixa espectral de 0,4 a 0,7 $\mu$ m (Montheith & Unsworth, 1990). A irradiação PAR global ( $H_{Gp}$ ) é representada pela soma da PAR direta ( $H_{Dp}$ ) e PAR difusa ( $H_{dp}$ ), sendo que ambas são utilizadas pelas plantas no processo de fotossíntese (Karalis, 1989). Apesar da importância, estas componentes não vem sendo medidas de rotina na maioria das estações agrometeorológicas convencionais, devido principalmente a limitações de natureza instrumental. Para fins práticos alguns autores utilizam  $H_{Gp}$  representando 50% da radiação global ( $H_G$ ). Outros autores propõem modelos estatísticos de estimativa de  $H_{Gp}$  em função de  $H_G$ . Segundo Assunção(1995), a fração radiométrica  $H_{Gp}/H_G$  assume valores entre 43% e 69%, cuja variação deve-se a estados atmosféricos diferenciados que atenuam as componentes da radiação global e direta. Para  $H_{Dp}$  e  $H_{dp}$  poucas são as informações disponíveis na literatura (Karalis, 1989; Grant, 1997; Alados & Alados-Arboledas, 1999; Möttus et. al., 2001) mostrando a necessidade de elaboração de modelos para estas componentes. Assim, os objetivos deste trabalho foram desenvolver equações diárias de estimativa das componentes  $H_{Gp}$ ,  $H_{Dp}$ , e  $H_{dp}$  em função de  $H_G$ ,  $H_D$  e  $H_d$  e das componentes  $H_{Dp}$  e  $H_{dp}$  em função de  $K_t$  (transmissividade atmosférica).

## MATERIAL E MÉTODOS

A base de dados deste estudo é constituída das irradiações diárias global ( $H_G$ ), direta ( $H_D$ ), PAR global ( $H_{Gp}$ ) e PAR direta ( $H_{Dp}$ ) realizadas no período de maio de 1999 a setembro de 2000, na Estação de Radiometria Solar da Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP/Botucatu (latitude 22,85°S, longitude 48,45°O, altitude 786m). As irradiações  $H_G$  e  $H_{Gp}$  foram determinadas através de um piranômetro EPPLEY-PSP e um sensor quântico da LI-COR, enquanto que as irradiações  $H_D$  e  $H_{Dp}$  por pireliômetro EPPLEY-NIP e um pireliômetro com sensor quântico LI-COR desenvolvido na Estação de Radiometria Solar, ambos acoplados a um rastreador solar da EPPLEY modelo ST-3. Foram determinadas pelo método da diferença as irradiações difusa ( $H_d=H_G-H_D$ ) e PAR difusa ( $H_{dp}=H_{Gp}-H_{Dp}$ ). A irradiação no topo da atmosfera ( $H_0$ ) foi calculada de acordo com Iqbal, (1983). Utilizou-se 12 meses para gerar os modelos, e 3 meses posteriores na validação, que se deu através dos indicativos estatísticos MBE e RMSE e d (Willmott, 1981).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A figura 1 mostra a correlação entre as irradiações diárias  $H_G$  e  $H_{Gp}$  (fig.1a);  $H_D$  e  $H_{Dp}$  (fig.1b);  $H_d$  e  $H_{dp}$  (fig.1c), e os respectivos modelos estatísticos I, II e III, ajustados através de regressão linear simples. Os coeficientes angulares dos modelos estatísticos indicam (na média) o quanto a PAR representou da radiação do espectro total, considerando todos os tipos de cobertura de céu, no período de junho de 1999 a maio de 2000.

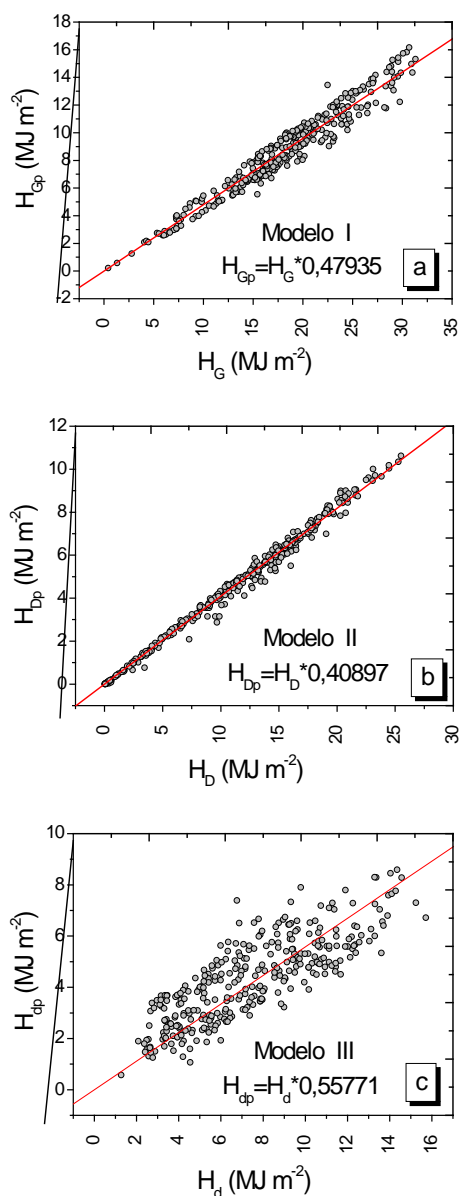


Fig. 1. Correlação entre as irradiações global ( $H_G$ ) e PAR global ( $H_{Gp}$ ) (a); direta ( $H_D$ ) e PAR direta ( $H_{Dp}$ ) (b); difusa ( $H_d$ ) e PAR

<sup>1</sup> Doutorando do Curso de Irrigação e Drenagem da FCA / UNESP, câmpus de Botucatu, SP. E-mail: [engomes@fca.unesp.br](mailto:engomes@fca.unesp.br)

<sup>2</sup> Dr.Professor da Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP, câmpus de Botucatu, SP. E-mail: [escobedo@fca.unesp.br](mailto:escobedo@fca.unesp.br)

<sup>3</sup> Graduando do Curso de Engenharia Florestal da FCA / UNESP, câmpus de Botucatu, SP.

difusa ( $H_{dp}$ ) (c), e modelos estatísticos I, II e III, ajustados através de regressão linear simples.

Além dos modelos estatísticos lineares, uma forma atualizada de estimativa de  $H_{Dp}$  e  $H_{dp}$  é através das frações radiométricas, representadas pela transmissividade atmosférica da radiação global ( $K_t=H_G/H_0$ ), PAR direta ( $K_{Dp}=H_{Dp}/H_0$ ) e PAR difusa ( $K_{dp}=H_{dp}/H_0$ ). Estas frações permitem a obtenção indireta das componentes  $H_{Dp}$  e  $H_{dp}$  em função  $K_t$ .

A figura 2 mostra a correlação entre  $K_t$  diário e as frações radiométricas  $K_{Dp}$  (fig. 2a) e  $K_{dp}$  (fig. 2b). As curvas ajustadas resultaram nos modelos estatísticos IV (fig.2a) e V (fig.2b).

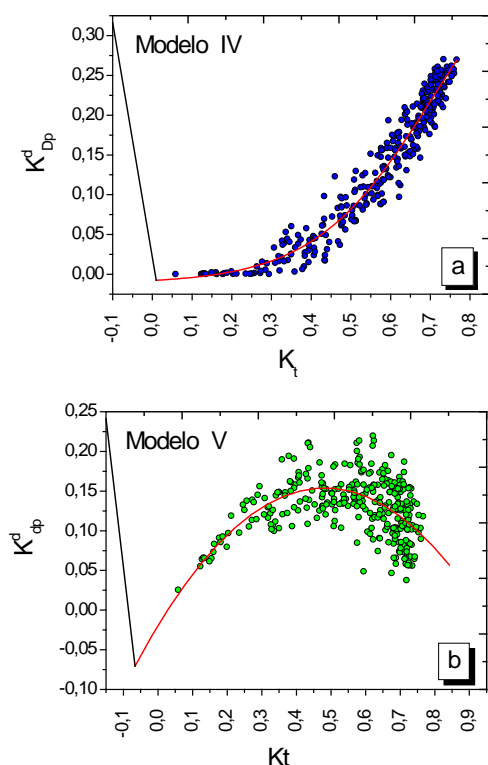


Fig. 2. Correlação entre as frações radiométricas  $K_{Dp}$ (a) e  $K_{dp}$ (b) em função da transmissividade atmosférica da global ( $K_t$ ), e seus respectivos modelos ajustados.

O modelo IV foi gerado a partir de uma função logística de Boltzmann, enquanto que o modelo V através de uma função polinomial de segundo grau, representadas por:

$$\text{Modelo IV} \quad K_{Dp} = \frac{-0,467574}{1 + \exp[(Kt - 0,70574)/0,14869]} + 0,45573$$

$$\text{Modelo V} \quad K_{dp} = -0,01974 + 0,72119 * Kt - 0,74871 * (Kt)^2$$

A importância dos modelos IV e V advém destes dependerem unicamente de  $K_t$ , que é uma fração radiométrica facilmente determinável, na obtenção de  $H_{Dp}$  e  $H_{dp}$ , enquanto que os modelos II e III dependem das irradiações direta ( $H_D$ ) e difusa ( $H_d$ ), as quais são menos disponíveis na rede solarimétrica mundial.

A validação dos modelos estatísticos deu-se através dos indicativos estatísticos MBE, RMSE e d (Willmott, 1981), e seus resultados encontram-se na tabela 1.

A tabela 1 indica que os modelos propostos desempenharam-se bem nos indicativos estatísticos. Os baixos valores de MBE e o elevado ajustamento revelaram a qualidade da modelagem.

Tabela 1: Resultados estatísticos da validação dos Modelos I, II, III, IV e V.

	MBE(%)	RMSE(%)	d
Modelo I	1,01	10,69	0,974
Modelo II	2,62	9,87	0,994
Modelo III	-3,51	29,87	0,874
Modelo IV	1,87	19,81	0,975
Modelo V	-0,49	25,87	0,834

Na estimativa de  $H_{Dp}$ , o modelo II mostrou-se ligeiramente mais preciso que o IV. Isto ocorreu devido ao modelo II constituir uma forma direta de estimativa de  $H_{Dp}$  enquanto que o modelo IV constitui uma forma indireta, ou seja, enquanto o modelo IV depende de  $H_G$  e  $H_0$ , e seus desvios, o modelo II depende unicamente de  $H_D$ , o que resultou em RMSE 10% menor.

Já na estimativa de  $H_{dp}$ , os melhores resultados nos indicativos estatísticos MBE (3% menor) e RMSE (4% menor) foram obtidos pelo modelo V, que constitui uma forma indireta de estimativa. Apesar do modelo III ser uma forma direta de estimativa de  $H_{dp}$ , este depende de  $H_d$ , que é um parâmetro que apresenta uma maior ocorrência de desvio promovido pela anisotropia da radiação solar difusa, principalmente quando os valores de  $K_t$  encontram-se na faixa entre céu parcialmente nublado e nublado.

## CONCLUSÃO

Os modelos propostos são eficientes na estimativa das componentes  $H_{Gp}$ ,  $H_{Dp}$  e  $H_{dp}$  devido ao elevado índice de ajustamento. A escolha do melhor modelo a ser empregado depende da disponibilidade de radiômetros solares, pireliômetro e anel de sombreamento. Se a componente  $H_D$  e  $H_d$  forem medidas, as componentes da PAR das respectivas radiações podem ser determinadas com alta precisão, caso contrário, se apenas a radiação global for medida, os modelos de estimativa de  $H_{Dp}$  e  $H_{dp}$  em função de  $K_t$  podem também ser empregados com precisão.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALADOS I., ALADOS-ARBOLEDAS, L. Direct and diffuse photosynthetically active radiation: measurements and modelling. *Agric. For. Meteorol.*, v.93, p.27-38, 1999.
- ASSUNÇÃO, H.F. *Relações entre a radiação fotossinteticamente ativa e a radiação global em Piracicaba-SP*. Piracicaba, 1995. 57 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Agrometeorologia)-Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- FRISINA, V.A., ESCOBEDO, J.F., GOMES, E.N. Equações de estimativas diárias das componentes global, difusa e refletida da radiação solar total e fotossinteticamente ativa (PAR) em estufa de polietileno. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 11, 2000, Rio de Janeiro. CD..Rio de Janeiro: CBA, 2000.
- GRANT, R.H. Shadow-band corrections for photosynthetically active radiation under clear and overcast conditions. *Agricultural and Forest Meteorology*, v. 87, p. 212-22, 1997.
- IQBAL, M. *An introduction to solar radiation*. New York: Academic Press, 1983. 390 p.
- KARALIS, J.D. Characteristics of direct photosynthetically active radiation. *Agric. For. Meteorol.*, v.48, p.225-34, 1989.
- MÖTTUS, M., ROSS, J., SULEV, M. Experimental study of ratio of PAR to direct integral solar radiation under cloudless conditions. *Agric. For. Meteorol.*, v.109, p.161-70, 2001.
- WILLMOTT, C.J. On the validation of models. *Physic Geogr.* v.2, p.184-94, 1981.

Apoio financeiro: CNPq (14577/2002-2 e 572108/1998-2) e Capes.