

EVOLUÇÃO DIURNA DAS IRRADIAÇÕES HORÁRIAS GLOBAL E DIRETA DO VISÍVEL E DO ESPECTRO TOTAL

E.N. GOMES¹; J.F. ESCOBEDO²; J. SOARES³; A. P. de Oliveira³

¹FCA/Unesp Departamento de Recursos Naturais - Botucatu, SP, Brasil, e-mail: engomes@fca.unesp.br

²FCA/Unesp Departamento de Recursos Naturais - Botucatu, SP, Brasil, e-mail: escobedo@fca.unesp.br

³IAG/USP, Departamento de Ciências Atmosféricas, Grupo de Micrometeorologia, São Paulo, Brasil.

ABSTRACT: The present work describes the diurnal evolution of the hourly mean irradiations: global; direct in the horizontal; global PAR; direct PAR in the horizontal surface and the fractions global PAR from global and direct PAR from direct radiation to a forest area in Brazil. The diurnal evolution of the irradiations showed that all the irradiations followed the tendency of the irradiation in the top of the atmosphere, but with a smaller energy level. The evolution of the day presented a meridian symmetry around 12:30, with maximum irradiations happening between 11 and 13 hours. In this period, the global PAR irradiation [H_{Gp}^h] represented 47.45% of the global [H_G^h] and to direct PAR [H_{DHp}^h] 41.29% of the direct [H_{DH}^h], and the fractions [K_{Gp}^h] and [K_{DHp}^h] were not constant in consequence of the variation of the optic mass, presenting evolution with inverse symmetry along the day. Compared the monthly medium irradiations in the months of December and June, that represent the shorter and longer length daytime of the year, respectively the percent energy differential between 11:30 and 12:30 were: 51.85% for $\langle H_G^h \rangle$; 32.43% for $\langle H_{Gp}^h \rangle$; 73.12% for $\langle H_{DH}^h \rangle$ and of 33.87% for $\langle H_{DHp}^h \rangle$.

RESUMO: O presente trabalho descreve a evolução diurna das irradiações horárias médias anuais: global; direta na horizontal; PAR global; PAR direta na horizontal e das frações PAR global da radiação global e PAR direta da radiação direta para uma região de extrativismo florestal no município de Botucatu, SP, Brasil. A evolução diurna das irradiações médias anuais mostrou que todas as irradiações seguiram a tendência da irradiação no topo da atmosfera, mas com um menor nível energético. A evolução diurna apresentou uma simetria meridional em torno das 12:30, com irradiações máximas ocorrendo entre 11 e 13 horas. Neste período, a irradiação PAR global [H_{Gp}^h] representou 47,45% da global [H_G^h] e a PAR direta [H_{DHp}^h] 41,29% da direta [H_{DH}^h], e as frações [K_{Gp}^h] e [K_{DHp}^h] não foram constantes em consequência da variação da massa ótica, apresentando evolução com simetria inversa ao longo do dia. Comparadas as irradiações médias mensais nos meses de dezembro e junho, que representam respectivamente o comprimento de dia mais curto e mais longo do ano, o diferencial energético percentual no horário das 11:30 as 12:30 foi de: 51,85% para $\langle H_G^h \rangle$; 32,43% para $\langle H_{Gp}^h \rangle$; 73,12% para $\langle H_{DH}^h \rangle$ e de 33,87% para $\langle H_{DHp}^h \rangle$.

INTRODUÇÃO

A radiação fotossinteticamente ativa global (PAR global) situa-se na região visível do espectro solar (0,4 a 0,7 μ m) e é representada pela soma da PAR direta com a PAR difusa. Ambas radiações são utilizadas nos processos fotossintéticos dos vegetais, onde o conhecimento da variação sazonal da PAR global, direta e difusa é um fator importante a ser considerado em estudos de modelagem, simulação da produção de biomassa e fisiologia vegetal.

Vários estudos já foram realizados com a PAR global em relação a radiação global (Szeicz, 1974; Britton & Dodd, 1976; Howell et al., 1983; Meek et al., 1984; Ting & Giacomelli, 1987; Papaioannou et al., 1996; Alados et al., 1996; Udo & Aro, 2000; Zhang et al., 2000, entre outros). Os resultados mostram que a fração PAR global da radiação global encontra-se dentro do intervalo de 44 a 69%, dependendo da nebulosidade, dos aerossóis, da concentração de ozônio, do vapor de água na atmosfera, característicos para cada região em estudo.

Com relação as componentes PAR direta e PAR difusa, poucas são as informações disponíveis na literatura, devido principalmente a limitações de ordem instrumental. Para medir a

PAR direta são necessários o pireliômetro seletivo espectralmente a faixa de comprimento de onda da PAR, e do rastreador solar, equipamentos de elevado custo, e manutenção permanente, enquanto que a PAR difusa esbarra nas limitações dos métodos de medida que utilizam o processo de sombreamento (anel e disco). Além de não serem muito precisos devido ao efeito da anisotropia da radiação difusa, a medida através do anel de sombreamento necessita de fatores de correção específicos para a faixa de comprimento de onda da PAR (Grant, 1997). Outra desvantagem na medida desta radiação com o anel de sombreamento é que a metodologia não está devidamente desenvolvida como é o caso da radiação difusa do espectro total (Drumond, 1956 e Oliveira, 2002).

No Brasil, as informações sobre a PAR são ainda mais escassas devido ao alto custo de importação de equipamentos e da extensão do território nacional. As divulgações no país se restringem aos trabalhos com a PAR global (Assis & Mendez, 1989, Assunção, 1994, França et al., 1997, Calvete et al., 1999, França et al., 1999) e nenhuma informação está disponível na literatura sobre as componentes direta e difusa da PAR.

Assim, no presente trabalho objetivou realizar uma série de medidas das irradiações horárias PAR global (H_{Gp}^h), PAR direta (H_{DHp}^h), global (H_G^h), e direta (H_{DH}^h) para efetuar: 1) Evolução diurna das irradiações horárias médias anuais global [H_G^h], direta na horizontal [H_{DH}^h], PAR global [H_{Gp}^h], e PAR direta na horizontal [H_{DHp}^h]; 2) Evolução diurna das frações horárias médias anuais: PAR global da radiação global [K_{Gp}^h] e PAR direta da radiação direta [K_{DHp}^h]; 3) Evolução diurna das irradiações horárias médias mensais: global $\langle H_G^h \rangle$, PAR global $\langle H_{Gp}^h \rangle$, direta na horizontal $\langle H_{DH}^h \rangle$ e PAR direta na horizontal $\langle H_{DHp}^h \rangle$ e frações PAR global da radiação global $\langle K_{Gp}^h \rangle$ e PAR direta da radiação direta $\langle K_{DHp}^h \rangle$ para os meses de junho e dezembro.

MATERIAL E MÉTODOS

A base de dados das irradiações horárias global, direta na incidência, PAR global e PAR direta na incidência utilizadas no trabalho é do período de junho de 1999 a maio de 2000, monitorados na Estação de Radiometria Solar/ UNESP- Botucatu, (latitude de 22°51'Sul, longitude 48°27'Oeste e altitude 786 m), situada no centro oeste do Estado de São Paulo, Brasil. O clima local é temperado quente (mesotérmico), típico das regiões subtropicais do Brasil, sendo classificado de acordo com Köppen como Cwa, com inverno seco e verão úmido.

As irradiâncias global (I_G) e PAR global (I_{Gp}) foram monitoradas por um piranômetro EPPLEY-PSP ($K=8,13\mu V/Wm^2$) e um sensor quântico da LI-COR ($K=10,63\mu V/Wm^2$) e as irradiâncias direta (I_b) e PAR direta na incidência (I_{bp}) por pireliômetro EPPLEY-NIP ($K=7,73\mu V/Wm^2$) e um pireliômetro desenvolvido na Estação de Radiometria Solar, com sensor quântico LI-COR, ambos acoplados a um rastreador solar EPPLEY modelo ST-3.

O pireliômetro seletivo espectralmente a faixa de comprimento de onda da PAR (Figura. 1) é composto de um tubo colimador de aço inoxidável nas dimensões: comprimento 200mm; diâmetro externo 23mm e diâmetro interno 17,5mm, e o sensor quântico com fator de calibração igual a $14,14\mu Vm^2/W$.

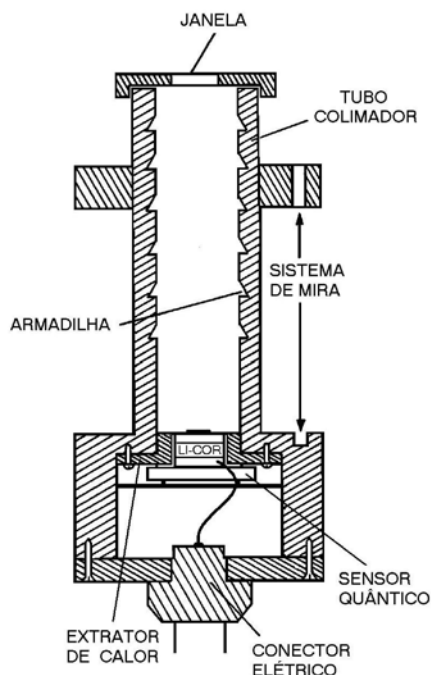


Fig. 1. Esquema do Pireliômetro com sensor quântico seletivo a faixa de comprimento de onda da PAR (0,4 a 0,7µm).

Como a função do tubo colimador é permitir que somente a radiação direta atinja o sensor quântico, a parede interna possui um sistema de armadilha totalmente enegrecida com foligem para absorver fluxos da radiação difusa ou radiação espalhada, que eventualmente penetre no tubo. O sistema de mira elaborado nas duas flanges do tubo colimador permitiu o alinhamento do instrumento na direção do sol, de forma a ter-se somente a incidência normal (radiação direta) no sensor quântico, posicionado na base do tubo colimador a 170 mm da entrada de luz. O ângulo de abertura, calculado em função do raio de abertura superior e distância entre o centro da abertura e o centro do sensor é de $5,4^{\circ}$, enquanto que o ângulo de visão do pireliômetro NIP da Eppley é de $5,7^{\circ}$, portanto, ambos instrumentos medem em condições de igualdade no que diz respeito a captação da radiação direta proveniente do sol, e da fração de radiação emitida pela auréola solar. Möttus et al., (2001) também desenvolveu um pireliômetro seletivo espectralmente a faixa de comprimento de onda da PAR, intitulado “Phytoactinometer”, cujo ângulo de abertura foi de 10° , o qual emprega o mesmo princípio de medida, baseado no sensor quântico da LI-COR.

As irradiações direta na horizontal e (I_{DH}) e PAR direta na horizontal (I_{DHp}) foram calculadas de acordo com Iqbal (1983), através da multiplicação destas irradiações pelo co-seno do ângulo zenital instantâneo (z), ou seja: $I_{DH} = I_b * \cos(z)$, e $I_{DHp} = I_{bp} * \cos(z)$.

A irradiação no topo da atmosfera (I_o) foi calculada instantaneamente também conforme Iqbal (1983) através da equação: $I_o = I_{sc} E_o (\sin \delta \sin \phi + \cos \delta \cos \phi \cos \omega)$, onde I_{sc} representa a constante solar equivalente a 1367 W/m^2 , E_o é o fator de correção da excentricidade da órbita da terra, δ é a declinação solar; ϕ é a latitude local e ω é o ângulo horário.

Na aquisição de dados utilizou-se um Micrologger modelo 23x da CAMPBELL SCIENTIFIC-INC, operando na frequência de 1 Hz e armazenando médias de 5 minutos. Para a conversão de unidades dos sinais gerados pelos sensores quânticos de $\mu\text{E/J}$ para W/m^2 , utilizou-se o fator de conversão de energia de $4,6 \mu\text{E/J}$ recomendado pelo manual da LI-COR.

As irradiações horárias ($\text{MJ/m}^2\text{hora}$) foram calculadas através da integração horária dos valores médios de 5 minutos das irradiações I_G , I_{DH} , I_{Gp} , I_{DHp} e I_o através de um programa de

gerenciamento de dados, desenvolvido na linguagem Lab Talk para o software Origin 6.0. As irradiações médias mensais estão indicadas por “ $\langle \rangle$ ”, de acordo com Iqbal(1983), e as médias anuais através do símbolo “[]”.

Os índices $[K_{Gp}^h]$ e $[K_{DHp}^h]$ foram calculados através das frações radiométricas $[H_{Gp}^h]/[H_G^h]$ e $[H_{DHp}^h]/[H_{DH}^h]$, respectivamente, e o índice de claridade $[K_t^h]$ foi calculado através da fração radiométrica $[H_G^h]/[H_o^h]$.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura. 2 mostra a evolução diurna das irradiações horárias médias anuais $[H_o^h]$, $[H_G^h]$, $[H_{DH}^h]$, $[H_{Gp}^h]$ e $[H_{DHp}^h]$. As variações das irradiações $[H_{Gp}^h]$ e $[H_{DHp}^h]$ acompanham as evoluções das irradiações $[H_G^h]$ e $[H_{DH}^h]$, respectivamente, com as irradiações apresentando simetria meridional entre o nascer do sol até o meio dia, e do meio dia até o por do sol. Os máximos energéticos ocorreram no intervalo das 11 horas às 13 horas, não havendo variação significativa nos valores das irradiações entre os períodos de integração das 11 às 12 horas (11:30) e das 12 às 13 horas (12:30). Neste período, $[H_G^h]$ representou 65,77% de $[H_o^h]$; $[H_{DH}^h]$ foi aproximadamente 63,97% de $[H_G^h]$; e as componentes $[H_{Gp}^h]$ e $[H_{DHp}^h]$ representam 47,45% de $[H_G^h]$ e 41,29% de $[H_{DH}^h]$, respectivamente.

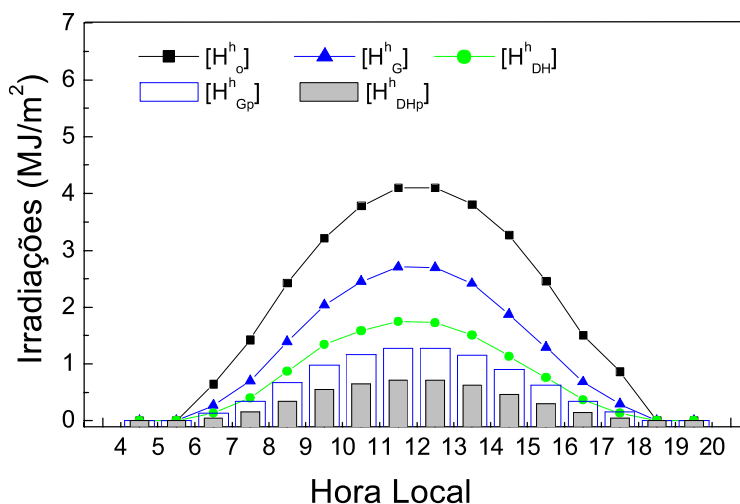


Fig. 2. Evolução diurna das irradiações médias anuais $[H_G^h]$, $[H_{DH}^h]$, $[H_{Gp}^h]$ e $[H_{DHp}^h]$.

A Figura 3 mostra a evolução diurna do índice de claridade $[K_t^h]$ e das frações $[K_{Gp}^h]$ e $[K_{DHp}^h]$. Ocorreu uma tendência inversa entre $[K_t^h]$ e $[K_{Gp}^h]$, e similar entre $[K_t^h]$ e $[K_{DHp}^h]$. Os valores de $[K_{Gp}^h]$ foram sempre maiores que os valores de $[K_{DHp}^h]$.

A evolução da fração $[K_{Gp}^h]$ teve início com percentual em torno dos 52,04%, e decresceu até próximo ao meio dia, atingindo 47,45%, e após este horário, a razão novamente se elevou a 53,56%. Esta variação deve ser atribuída a uma maior massa ótica ou caminho ótico a ser percorrido nos períodos do início e final do dia, onde a probabilidade de ocorrência de vapor de água na atmosfera é maior, e conseqüentemente, é maior a absorção da radiação infravermelha, ocasionando menores valores para a global, e conseqüentemente para a fração radiométrica $[K_{Gp}^h]$. O valor médio de

$[K_{Gp}^h]$ foi 48,85%, estando próximo as valores encontrados por diversos autores (McCree, 1966, Britton & Dodd, 1976, Blackburn & Proctor, 1983, Papaianou et al.,1993).

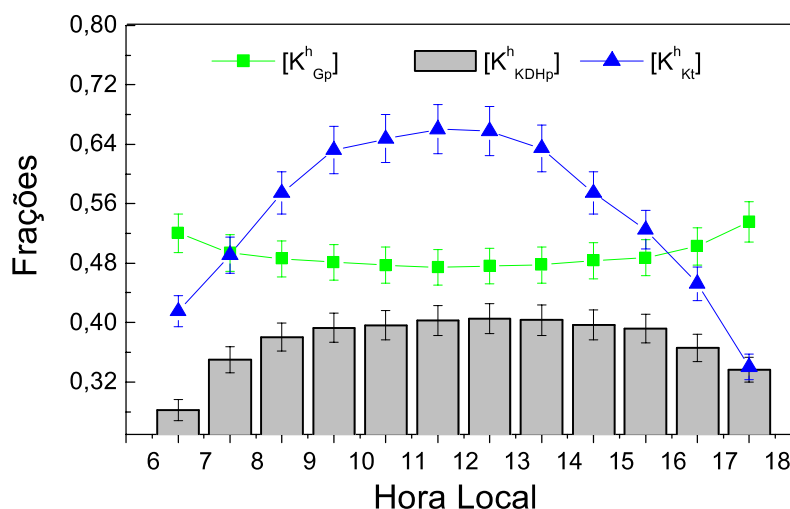


Fig. 3. Evolução diurna das frações médias anuais $[K_{Gp}^h]$, $[K_{DHp}^h]$ e $[K_t^h]$.

A evolução diária do índice de claridade $[K_t^h]$ mostrou valores iniciais em torno de 42%, elevando-se a em torno de 65% por volta do meio-dia solar, decrescendo a em torno de 34% no final do dia.

A fração $[K_{DHp}^h]$ apresentou uma evolução contrária a $[K_{Gp}^h]$. No início do dia $[K_{DHp}^h]$ situou-se em torno dos 28,26%, elevando-se até 40,54% no meridiano solar, decrescendo posteriormente até 35,30%. A fração média $[K_{DHp}^h]$ foi de 38,02%, estando em concordância com os resultados obtidos por Karalis (1989) em Atenas, que variaram entre 34,00% a 42,00%, com média anual de 40%. O autor sugere que a tendência observada para $[K_{DHp}^h]$ ocorre devido a atenuação da radiação solar direta ser mais forte na faixa de comprimento de onda da PAR que fora dela.

A Figura. 4 mostra a evolução diurna irradiações médias mensais: no topo da atmosfera $\langle H_o^h \rangle$, global $\langle H_G^h \rangle$, direta na horizontal $\langle H_{DH}^h \rangle$, PAR global $\langle H_{Gp}^h \rangle$ e PAR direta na horizontal $\langle H_{DHp}^h \rangle$ para os meses de junho (fig. 4a) e dezembro (fig. 4b). Estes meses foram escolhidos para a avaliação sazonal por representarem o mês com os comprimentos de dia mais curto (10,6 horas de luz) e mais longo do ano (13,4 horas de luz), respectivamente, marcando o início do inverno e do verão.

Os máximos valores energéticos (entre as 11:30 e 12:30 HL) obtidos para o mês de junho foram: $\langle H_o^h \rangle = 3,27 \text{ MJ/m}^2$; $\langle H_G^h \rangle = 2,16 \text{ MJ/m}^2$ (66,06% de $\langle H_o^h \rangle$); $\langle H_{DH}^h \rangle = 1,48 \text{ MJ/m}^2$ (68,52% de $\langle H_G^h \rangle$); $\langle H_{Gp}^h \rangle = 0,93 \text{ MJ/m}^2$ (43,06% de $\langle H_G^h \rangle$), e $\langle H_{DHp}^h \rangle = 0,62 \text{ MJ/m}^2$ (28,70% de $\langle H_G^h \rangle$ e 41,89% de $\langle H_{DH}^h \rangle$). Para o mês de dezembro, no período compreendido entre as 11:30 e 12:30 HL, os máximos valores energéticos foram: $\langle H_o^h \rangle = 5,04 \text{ MJ/m}^2$; $\langle H_G^h \rangle = 3,28 \text{ MJ/m}^2$ (65,08% de $\langle H_o^h \rangle$); $\langle H_{DH}^h \rangle = 1,96 \text{ MJ/m}^2$ (59,76% de $\langle H_G^h \rangle$); $\langle H_{Gp}^h \rangle = 1,61 \text{ MJ/m}^2$ (49,09% de $\langle H_G^h \rangle$) e $\langle H_{DHp}^h \rangle = 0,83 \text{ MJ/m}^2$ (25,30% de $\langle H_G^h \rangle$ e 42,35% de $\langle H_{DH}^h \rangle$). O diferencial energético percentual entre os meses de dezembro e junho para o horário das 11:30 as 12:30 foi: 51,85% para $\langle H_o^h \rangle$; 32,43% para $\langle H_{DH}^h \rangle$; 73,12% para $\langle H_{Gp}^h \rangle$ e de 33,87% para $\langle H_{DHp}^h \rangle$, mostrando assim o considerável efeito da sazonalidade nas componentes da radiação solar

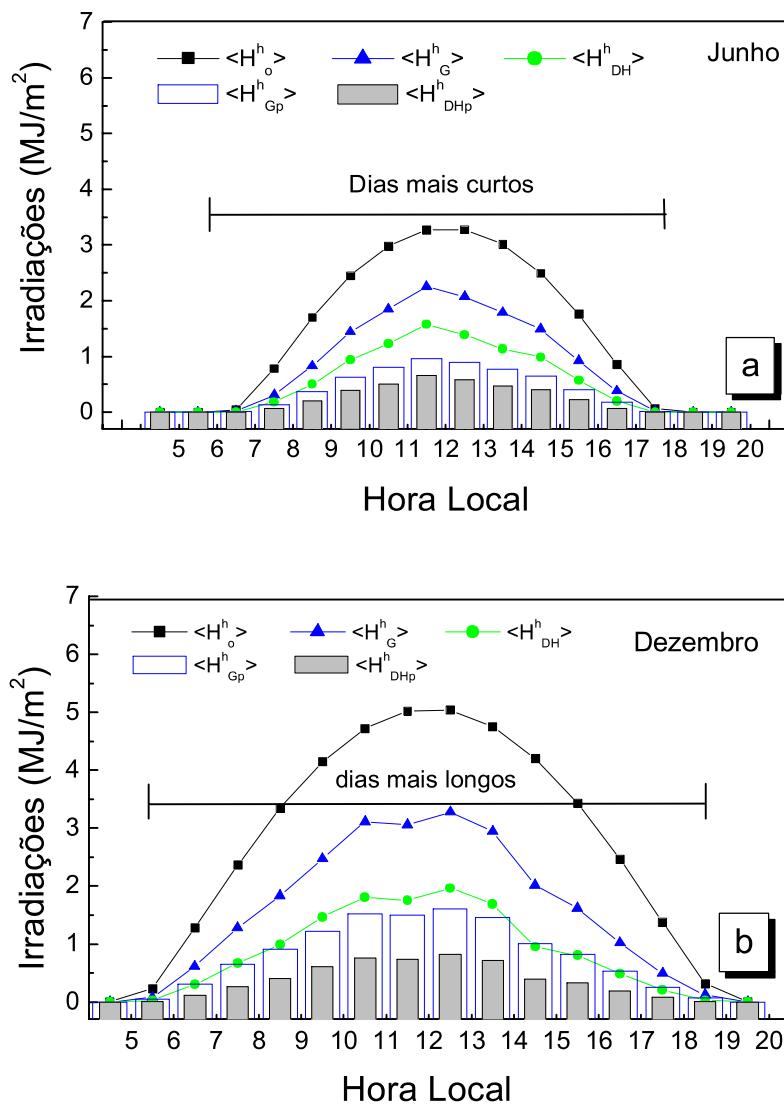


Fig. 4. Evolução diurna das irradiações horárias médias mensais em junho(a) e dezembro (b)

CONCLUSÕES

A evolução diurna das irradiações horárias médias mensais e anuais serve como indicativa das tendências de variação de determinadas componentes da radiação solar, tendo em vista que a literatura especializada ainda não apresente um trabalho similar, envolvendo as mesmas componentes da radiação solar nas condições climáticas do estudo.

A variação diurna das irradiações e das frações horárias médias mensais é um efeito que deve ser considerado nos projetos a longo prazo, como por exemplo em projetos de simulação da produção de biomassa, bem como os projetos de conversão térmica e fotovoltaica da radiação solar, tendo em vista que as frações $[K_{Gp}^h]$ e $[K_{DHp}^h]$ não foram constantes ao longo do dia, bem como a evolução diurna das irradiações entre os meses de junho e dezembro apresentou um diferencial energético que não deve ser desconsiderado nos estudos envolvendo a energia solar disponível à região do estudo.

Lista de Símbolos

I_o	Irradiância no topo da atmosfera (W/m^2).
I_G	Irradiância global na superfície horizontal (W/m^2).
I_b	Irradiância direta na incidência (W/m^2).
I_{DH}	Irradiância direta na horizontal (W/m^2).
I_{Gp}	Irradiância PAR global na superfície horizontal (W/m^2).
I_b	Irradiância PAR direta na incidência (W/m^2).
I_{DHp}	Irradiância PAR direta na horizontal (W/m^2).
K	Fator de Calibração ($\mu V/Wm^2$)
PAR	Radiação Fotossinteticamente Ativa
$[H_o^h]$	Irradiação no topo da atmosfera média horária anual (MJ/m^2).
$[H_G^h]$	Irradiação global na superfície horizontal média horária anual (MJ/m^2).
$[H_{DH}^h]$	Irradiação direta na horizontal média horária anual (MJ/m^2).
$[H_{Gp}^h]$	Irradiação PAR global na superfície horizontal média horária anual (MJ/m^2).
$[H_{DHp}^h]$	Irradiação PAR direta na horizontal média horária anual (MJ/m^2).
$\langle H_o^h \rangle$	Irradiação no topo da atmosfera média mensal horária (MJ/m^2 mês).
$\langle H_G^h \rangle$	Irradiação global na superfície horizontal média mensal horária (MJ/m^2 mês).
$\langle H_{DH}^h \rangle$	Irradiação direta na horizontal média mensal horária (MJ/m^2 mês).
$\langle H_{Gp}^h \rangle$	Irradiação PAR global na superfície horizontal média mensal horária (MJ/m^2 mês).
$\langle H_{DHp}^h \rangle$	Irradiação PAR direta na horizontal média mensal horária (MJ/m^2 mês).
K_{Gp}^h	Fração PAR global da radiação global horária (adimensional).
K_{DHp}^h	Fração PAR direta na horizontal da radiação no topo da atmosfera horária (adimensional).
K_T^h	Índice de claridade horário (adimensional).
$[K_{Gp}^h]$	Fração PAR global da radiação global média horária anual (adimensional).
$[K_{DHp}^h]$	Fração PAR direta na horizontal da radiação direta na horizontal média horária anual (adimensional).
$[K_t^h]$	Índice de claridade médio horário anual (adimensional).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALADOS, I., FOYO-MORENO, I., ALADOS-ARBOLEDAS, L. Photosynthetically active radiation: measurements and modelling. *Agric. For. Meteorol.*, v.78, p.121-31, 1996.
- ASSIS, F.N., MENDEZ, M.E.G. Relação entre radiação fotossinteticamente ativa e radiação global. *Pesq. Agropec. Bras.*, v.24, p.797-800, 1989.
- 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 "Luis de Queiroz", Universidade de São Paulo.

- BLACKBURN, W.J., PROCTOR, J.T.A. Estimating photosynthetically active radiation from measured solar irradiance. *Sol. Energy*, v.31, p.233-4, 1983.
- BRITTON, C.M., DODD, J.D. Relationships of photosynthetically active radiation and shortwave irradiance. *Agric. Meteorol.*, v.17, p.1-7, 1976.
- CALVETE, E.O., FRANÇA, S., BERGAMASCHI, H., KAMPF, A.N. Determinações micrometeorológicas sob diferentes materiais de cobertura para aclimação de plantas ix vitro. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v.7, n.2, p. 151-56, 1999.
- DRUMMOND, A.J. On the measurements of sky radiation. *Archiv. Fur Meteorologie. Geophysik Bioklimatologie*, v.7, p.413-36, 1956.
- FRANÇA, S. ROSA, L.M.G., BERGAMASCHI, H., NAGINGE, C. SPANENBERG, P. Radiação fotossinteticamente ativa e sua relação com a radiação solar global em dossel de alfafa, em função do índice de área foliar. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v.5, n.2, p. 147-53, 1997.
- FRANÇA, S., BERGAMASCHI, H., ROSA, L.M.G. Modelagem do crescimento de milho em função da radiação fotossinteticamente ativa e do acúmulo de graus-dia, com e sem irrigação. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v.7, n.1, p. 59-66, 1999.
- GRANT, R.H. Shadow-band corrections for photosynthetically active radiation under clear and overcast conditions. *Agric. For. Meteorol.*, v.87, p.212-22, 1997.
- HOWELL, T.A., MEEK, D.W., HATFIELD, J.L. Relationship of photosynthetically active radiation to shortwave radiation in the San Joaquin Valley. *Agric. Meteorol.*, v.28, p.157-75, 1983.
- KARALIS, J.D. Characteristics of direct photosynthetically active radiation. *Agric. For. Meteorol.*, v.48, p.225-34, 1989.
- MCCREE, K.J. A solarimeter for measuring photosynthetically active radiation. *Agric. Meteorol.*, v.3, p.353-66, 1966.
- MEEK, D.W., HATFIELD, J.L., HOWELL, T.A., IDSO, S.B., REGINATO, R.J. A generalized relationship between photosynthetically active radiation and solar radiation. *Agronomy Journal*, v.76, 1984.
- 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.
- 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. *Theor. Appl. Clim.*, 2002. v. 71, p. 231-50, 2002.
- PAPAIOANNOU, G., NIKOLIDAKIS, G., ASIMAKOPOULUS, D.N., RETALIS, D. Photosynthetically active radiation in Athens. *Agric. For. Meteorol.*, v.81, p.287-98, 1996.
- PAPAIOANNOU, G., PAPANIKOLAOU, N., RETALIS, D. Relationships of photosynthetically active radiation and shortwave irradiance. *Theor. Appl. Clim.*, v.48, p.23-7, 1993.
- SZEICZ, G. Solar radiation for plant growth. *J. Appl. Ecol.*, v.11, p.617-36, 1974.
- TING, K.C., GIACOMELLI, G.A. Solar photosynthetically active radiation transmission through greenhouse glazings. *Energy Agric.*, v.6, p.121-32, 1987.
- UDO, S.O., ARO, T.O. Global PAR related to solar radiation for central Nigeria. *Agric. For. Meteorol.*, v.97, p.21-31, 1999.
- ZHANG, X., ZHANG, Y., ZHOUB, Y. Masuring and modelling photosynthetically active radiation in Tibet Plateau during april-october. *Agric. Meteorol.*, v.102, p.207-12, 2000.

Os autores agradecem à CNPq e a FAPESP pelo apoio financeiro.