

EVOLUÇÃO ANUAL DAS IRRADIAÇÕES DIÁRIAS MÉDIAS MENSAIS GLOBAL E DIRETA DO VISÍVEL E 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, São Paulo, Brasil: jacvra@usp.br

ABSTRACT: The present work describes the annual evolution of monthly values of global and direct radiation for short wave and photosynthetically active radiation (PAR) bands for a Brazilian forest area in order to provide information about the potential energy available in that site. The annual evolution of monthly values showed seasonal dependence, with maximum values in November for global ($\langle H_G^d \rangle = 23,01 \text{ MJ/m}^2$) and global PAR ($\langle H_{Gp}^d \rangle = 11,74 \text{ MJ/m}^2$), and in April for direct ($\langle H_{DH}^d \rangle = 14,61 \text{ MJ/m}^2$) and direct PAR ($\langle H_{DHp}^d \rangle = 6,06 \text{ MJ/m}^2$), and minimum in June ($\langle H_G^d \rangle = 12,73 \text{ MJ/m}^2$, $\langle H_{Gp}^d \rangle = 5,49 \text{ MJ/m}^2$, $\langle H_{DH}^d \rangle = 8,03 \text{ MJ/m}^2$ and $\langle H_{DHp}^d \rangle = 3,29 \text{ MJ/m}^2$). The global PAR fraction of the global irradiation ($\langle K_{Gp}^d \rangle$) showed dependence with clouds and precipitation, with values among 43.18% and 53.21% in the period of June to May, while the direct PAR fraction of the direct irradiation ($\langle K_{DHp}^d \rangle$) showed values among 34.12% and 41.34% in the period of September to January. The accumulated radiation in the year showed the values: $H_G^a = 6,69 \text{ GJ/m}^2$, $H_{Gp}^a = 3,19 \text{ GJ/m}^2$, $H_{DH}^a = 3,89 \text{ GJ/m}^2$ and $H_{DHp}^a = 1,63 \text{ GJ/m}^2$.

RESUMO: O presente trabalho descreve a evolução anual das irradiações médias mensais global e direta do espectro total e na faixa de comprimento de onda da radiação fotossinteticamente ativa (PAR) em uma região de extrativismo florestal no município de Botucatu, SP, Brasil, visando disponibilizar informações sobre o potencial energético da região. A evolução anual das irradiações médias mensais mostrou dependência sazonal, com maiores valores em novembro para global ($\langle H_G^d \rangle = 23,01 \text{ MJ/m}^2$) e PAR global ($\langle H_{Gp}^d \rangle = 11,74 \text{ MJ/m}^2$), e em abril para a Direta ($\langle H_{DH}^d \rangle = 14,61 \text{ MJ/m}^2$) e PAR direta ($\langle H_{DHp}^d \rangle = 6,06 \text{ MJ/m}^2$), e mínimos em junho ($\langle H_G^d \rangle = 12,73 \text{ MJ/m}^2$, $\langle H_{Gp}^d \rangle = 5,49 \text{ MJ/m}^2$, $\langle H_{DH}^d \rangle = 8,03 \text{ MJ/m}^2$ e $\langle H_{DHp}^d \rangle = 3,29 \text{ MJ/m}^2$). A fração PAR global da radiação global ($\langle K_{Gp}^d \rangle$) dependeu da nebulosidade e precipitação locais, variando entre 43,18% e 53,21% no período de junho a maio, enquanto que a fração PAR direta da radiação direta ($\langle K_{DHp}^d \rangle$) variou entre 34,12% e 41,34% entre setembro e janeiro. As irradiações acumuladas no ano foram: $H_G^a = 6,69 \text{ GJ/m}^2$, $H_{Gp}^a = 3,19 \text{ GJ/m}^2$, $H_{DH}^a = 3,89 \text{ GJ/m}^2$ e $H_{DHp}^a = 1,63 \text{ GJ/m}^2$.

INTRODUÇÃO

A variação anual das componentes global, direta e difusa da radiação solar do visível e espectro total é uma informação extremamente importante para estudos climáticos, de estimativa de eficiência de coletores solares, em modelagem de fotossíntese em culturas (Kuusk, 1992; Mariscal et al. 2000; Fonseca et al. 2000), em florestas (Hutchison & Matt, 1977; Stampler & Allen, 1979; McNaughton et al., 1992; Bégué et al., 1994; Hassika & Berbigier 1998), em casas de vegetação (Frisina et al. 2000; Farkas et al., 2001) e em modelagem ecológica (Brock, 1981; Silva & Asmus, 2001).

Entretanto, devido à vasta extensão do território nacional brasileiro (8.547 milhões de km²), as informações com estas irradiações não se encontram disponibilizadas em uma resolução temporal e espacial adequadas, bem como estudos que envolvem faixas de comprimento de onda mais específicos (como é o caso da radiação fotossinteticamente ativa (PAR), representada pela região visível do espectro solar situada entre 0,4 a 0,7 μm), são ainda mais escassos.

A maioria dos estudos com a radiação fotossinteticamente ativa se restringem a componente PAR global e os resultados mostram que a fração PAR global da radiação global encontra-se dentro do intervalo de 44 a 69% (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), dependendo da nebulosidade, da concentração de vapor de água, ozônio e aerossóis.

A PAR global é representada pela soma da PAR direta na horizontal e a PAR difusa, e apesar de ambas radiações serem utilizadas pelos vegetais nos processos fotossintéticos, poucas são as informações disponíveis na literatura, devido principalmente a limitações de ordem instrumental, devido ao elevado custo dos equipamentos de medida e da manutenção permanente.

As medidas da PAR direta podem ser feitas de forma indireta (Karalis, 1989; Alados et al., 1999) utilizando filtros seletivos espectralmente as faixas de comprimento de onda da radiação solar (UV, PAR e IV) em pireliômetro e através do método da diferença (PAR direta=PAR global- PAR difusa), ou de forma direta (Möhtus, 2001) através de pireliômetro seletivo espectralmente a faixa de comprimento de onda da PAR, utilizando sensores quânticos.

As medidas da PAR difusa esbarram nas limitações dos métodos de medida, os quais utilizam o processo de sombreamento pelo anel e disco, que além de não serem muito precisos devido ao efeito da anisotropia da radiação difusa, necessitam ainda de fatores de correção específicos para a faixa de comprimento de onda da PAR (Grant, 1997), o que é uma grande desvantagem, pois esta metodologia ainda não está devidamente desenvolvida como no caso da radiação difusa do espectro total (Drumond, 1956, Escobedo et al., 1994, Melo & Escobedo, 1994 e Oliveira et al., 2002).

No Brasil, as informações sobre a PAR são ainda mais escassas, devido ao alto custo de importação de equipamentos, e da ausência de uma rede solarimétrica nacional consistente e menos esparsa. 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, entre outros) e sobre as componentes direta e difusa da PAR somente temos os trabalhos de Frisina et al. (2000) e Gomes et al. (2002).

Tendo em vista que a literatura especializada ainda não apresente um trabalho similar, envolvendo as componentes PAR global (H_{GP}^d), PAR direta (H_{DHP}^d), global (H_G^d), e direta (H_{DH}^d) da radiação solar, nas condições climáticas de Botucatu-SP, Brasil, o objetivo deste trabalho foi realizar uma série de medidas destas quatro irradiações para efetuar: 1) A evolução anual das irradiações médias mensais diárias: global $\langle H_G^d \rangle$, PAR global $\langle H_{GP}^d \rangle$, direta na horizontal $\langle H_{DH}^d \rangle$ e PAR direta na horizontal $\langle H_{DHP}^d \rangle$; 2) A evolução anual das frações médias mensais diárias: PAR global da radiação global $\langle K_{GP}^d \rangle$ e PAR direta da radiação direta $\langle K_{DHP}^d \rangle$; 3) A evolução anual das transmissividades atmosféricas médias mensais diárias: global $\langle K_I^d \rangle$ e PAR $\langle K_{IP}^d \rangle$; 4) A evolução anual das irradiações mensais acumuladas: global H_G^m , PAR global H_{GP}^m , direta na horizontal H_{DH}^m e PAR direta na horizontal H_{DHP}^m , contribuindo assim com a descrição da variação anual da radiação solar no município de Botucatu/SP e proximidades,

MATERIAL E MÉTODOS

A base de dados das radiações global, direta na incidência, PAR global, 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. No período de estudo houve ausência de chuvas em agosto de 1999 e a máxima precipitação acumulada (228 mm) ocorreu no mês de

fevereiro de 2000 (Figura 1). Os dias mais curto e longo do ano foram respectivamente de 10,6 horas de luz (junho) e de 13,4 horas de luz (dezembro). O mês com maior número de horas de brilho solar acumuladas foi agosto de 1999 com 300 horas, e o menor foi de fevereiro de 2000 com 160 horas. O brilho solar foi medido através de um heliógrafo (Campbell Strokes), e o fotoperíodo (N) foi calculado diariamente de acordo com a expressão $N=2h/15$, onde h é o ângulo horário, calculado através da expressão: $h=\text{acos}(-\text{tg}(\text{declinação})\cdot\text{tg}(\text{latitude}))$.

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

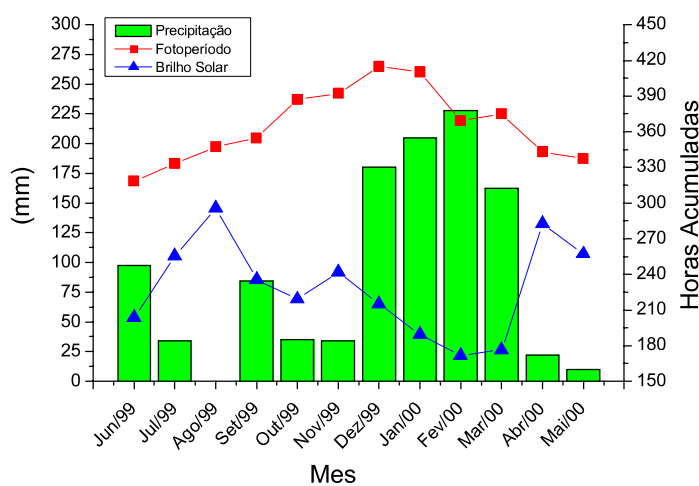


Figura 1 - Precipitação, Fotoperíodo e Brilho Solar Acumulado para Botucatu, no período de junho de 1999 a maio de 2000.

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 $\mu\text{E}/\text{J}$ para W/m^2 , utilizou-se o fator de conversão de energia de $4,6\mu\text{E}/\text{J}$ recomendado pelo manual da LI-COR.

A irradiância no topo da atmosfera (I_o) foi calculada instantaneamente conforme Iqbal (1983), através da equação: $I_o = I_{sc} E_o (\text{sen} \delta \text{sen} \phi + \cos \delta \cos \phi \cos \omega)$, onde I_{sc} representa a constante solar equivalente a 1367 Wm^{-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.

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

As irradiações diárias (MJ/m^2) foram calculadas através da integração diária dos valores médios de 5 minutos das irradiâncias 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).

Os índices radiométricos médios mensais diários $\langle K_{Gp}^d \rangle$ e $\langle K_{DHp}^d \rangle$ foram calculadas através das frações radiométricas $\langle H_{Gp}^d \rangle / \langle H_G^d \rangle$ e $\langle H_{DHp}^d \rangle / \langle H_{DH}^d \rangle$, respectivamente, e os índices de claridade do espectro total $\langle Kt^d \rangle$ e na faixa de comprimento de onda da PAR $\langle Kt_p^d \rangle$ foram calculados através das frações radiométricas $\langle H_G^d \rangle / \langle H_O^d \rangle$ e $\langle H_{Gp}^d \rangle / \langle H_{Op}^d \rangle$, respectivamente, onde $\langle H_{Op}^d \rangle = 0,382 * \langle H_O^d \rangle$.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 2 mostra a evolução anual das irradiações médias mensais diárias no topo da atmosfera $\langle H_O^d \rangle$, global $\langle H_G^d \rangle$, PAR global $\langle H_{Gp}^d \rangle$, PAR direta $\langle H_{DH}^d \rangle$ e PAR direta na horizontal $\langle H_{DHp}^d \rangle$.

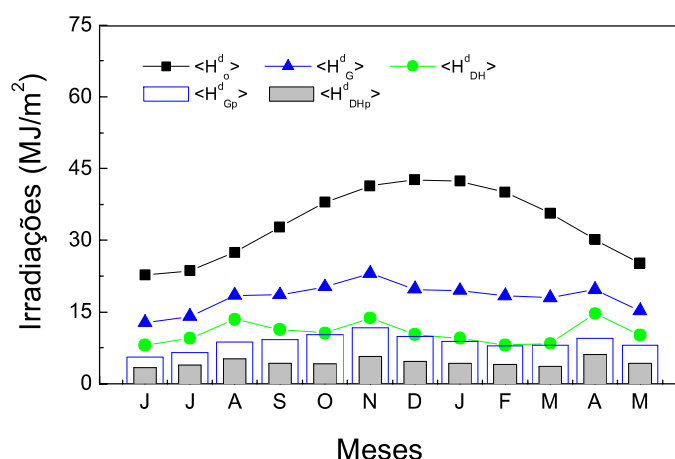


Figura 2. Evolução Anual das Irradiações médias mensais: no topo da atmosfera $\langle H_O^d \rangle$, global $\langle H_G^d \rangle$, PAR global $\langle H_{Gp}^d \rangle$, direta $\langle H_{DH}^d \rangle$ e PAR direta $\langle H_{DHp}^d \rangle$.

A figura 2 mostra que as irradiações $\langle H_G^d \rangle$, $\langle H_{Gp}^d \rangle$, $\langle H_{DH}^d \rangle$ e $\langle H_{DHp}^d \rangle$ apresentaram dependência sazonal com a nebulosidade e precipitação, pois não seguiram a tendência de $\langle H_O^d \rangle$ nos meses do período que vai de dezembro a março, caracterizados por elevada precipitação, baixo brilho solar, e conseqüente elevada nebulosidade, onde sofreram considerável atenuação. Observa-se que nos meses de abril a agosto as irradiações tendem a seguir a evolução dos valores da radiação no topo da atmosfera, porém com um menor nível energético.

Observa-se também na figura 2 que no mês de junho ocorreram os menores valores energéticos para as componentes: $\langle H_G^d \rangle = 12,73 \text{ MJ/m}^2$, $\langle H_{DH}^d \rangle = 8,03 \text{ MJ/m}^2$, $\langle H_{Gp}^d \rangle = 5,49 \text{ MJ/m}^2$ e $\langle H_{DHp}^d \rangle = 3,29 \text{ MJ/m}^2$, enquanto que os maiores valores energéticos ocorreram em novembro para $\langle H_G^d \rangle = 23,01 \text{ MJ/m}^2$ e $\langle H_{Gp}^d \rangle = 11,74 \text{ MJ/m}^2$, e em abril para $\langle H_{DH}^d \rangle = 14,61 \text{ MJ/m}^2$ e $\langle H_{DHp}^d \rangle = 6,06 \text{ MJ/m}^2$.

A evolução anual das frações médias mensais $\langle K_{Gp}^d \rangle$ e $\langle K_{DHp}^d \rangle$ está ilustrada na Figura 3. A fração $\langle K_{Gp}^d \rangle$ apresentou uma característica de elevação de valores no período seco e de decréscimo

nos meses mais chuvosos, enquanto que $\langle K_{DHP}^d \rangle$ apresentou uma evolução contrária. No período seco $\langle K_{DHP}^d \rangle$ se distanciou de $\langle K_{Gp}^d \rangle$, e nos chuvosos se aproximou de $\langle K_{Gp}^d \rangle$. A fração média mensal $\langle K_{Gp}^d \rangle$ situou-se entre 43,19% e 53,21%, e a fração $\langle K_{DHP}^d \rangle$ entre 34,12% e 41,34%, estando de acordo com os resultados da literatura.

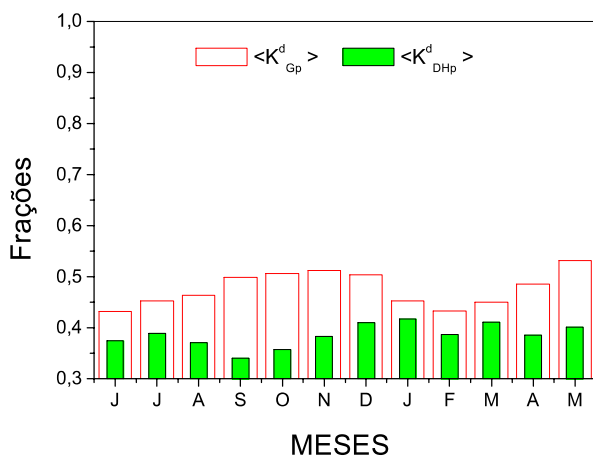


Figura 3. Evolução Anual das frações médias mensais diárias $\langle K_{Gp}^d \rangle$ e $\langle K_{DHP}^d \rangle$.

A Figura 4 mostra a evolução anual da transmissividade atmosférica da global $\langle K_t^d \rangle$ e da PAR $\langle K_{tp}^d \rangle$. Observa-se que a transmissividade da banda PAR é em todos os meses do ano superiora a faixa de comprimento de ondas total (global), e isto deve-se a faixa de comprimento de onda da PAR ser de alta energia, enquanto que no espectro global determinadas faixas de comprimento de onda (Infravermelho) são menos energéticas. Os menores valores obtidos por estes índices ocorreram nos meses de dezembro a fevereiro, onde ocorreu a maior nebulosidade do período analisado, o que indicou uma condição média (mensal) de céu parcialmente nublado ($\langle K_t^d \rangle = 0,46$). A máxima transmissividade total ocorreu em abril de 2000 ($\langle K_t^d \rangle = 0,67$) e a máxima transmissividade da faixa PAR ocorreu em maio de 2000 ($\langle K_{tp}^d \rangle = 0,84$).

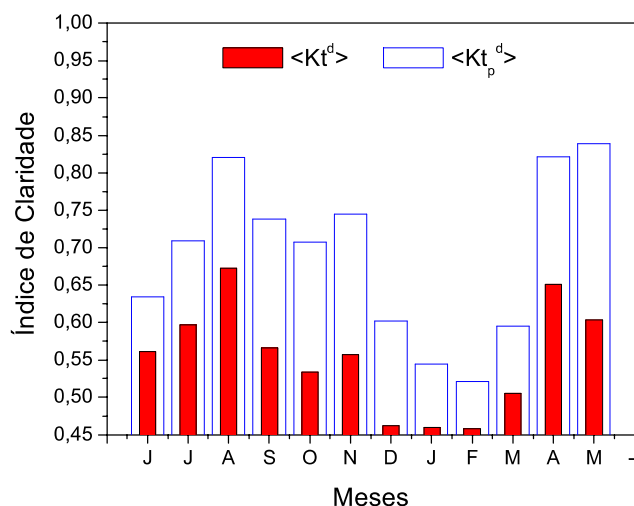


Figura 4 – Evolução Anual das transmissividades atmosféricas da global $\langle K_t^d \rangle$ e da PAR $\langle K_{tp}^d \rangle$.

A Figura 5 mostra a evolução das irradiações mensais acumuladas e comprovou os efeitos atenuantes da alta nebulosidade e precipitação sobre as irradiações acumuladas H_O^m , H_G^m , H_{Gp}^m , H_{DH}^m e H_{DHp}^m nos meses de dezembro a março. O mês de junho de 1999 foi onde ocorreram os menores valores mensais acumulados: $H_O^m=680,62\text{MJ/m}^2/\text{mês}$, $H_G^m=374,16\text{MJ/m}^2/\text{mês}$, $H_{Gp}^m=234,83\text{MJ/m}^2/\text{mês}$, $H_{DH}^m=161,84\text{MJ/m}^2/\text{mês}$ e $H_{DHp}^m=98,21\text{MJ/m}^2/\text{mês}$, e os máximos ocorreram de novembro de 1999 a abril de 2000, ou seja: $H_O^m=1321,98\text{MJ/m}^2/\text{mês}$ em dezembro; $H_G^m=690,43\text{MJ/m}^2/\text{mês}$, $H_{DH}^m=411,94\text{MJ/m}^2/\text{mês}$ e $H_{Gp}^m=352,13\text{MJ/m}^2/\text{mês}$ em novembro; e $H_{DHp}^m=186,37\text{MJ/m}^2/\text{mês}$ em abril de 2000. As irradiações anuais acumuladas foram de: $H_G^a=6,69\text{GJ/m}^2/\text{ano}$; $H_{Gp}^a=3,19\text{GJ/m}^2/\text{ano}$; $H_{DH}^a=3,89\text{GJ/m}^2/\text{ano}$ e $H_{DHp}^a=1,63\text{GJ/m}^2/\text{ano}$, indicando qual foi o total energético anual disponibilizado para o município de Botucatu.

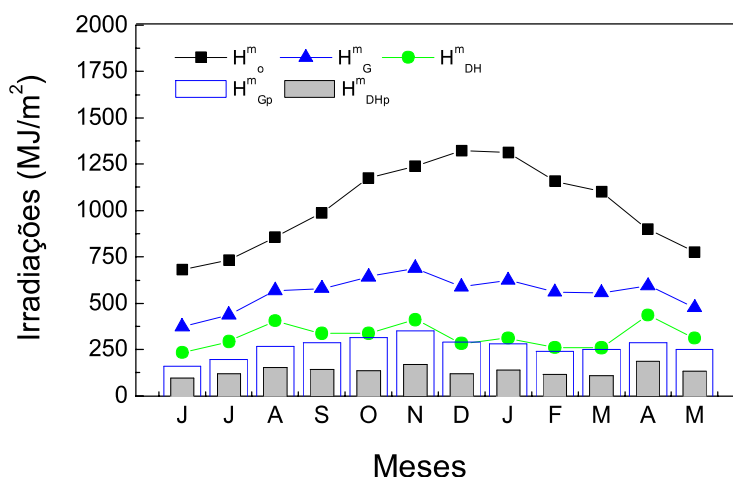


Figura 5. Evolução anual das irradiações mensais acumuladas: no topo da atmosfera (H_O^m), global (H_G^m), PAR global (H_{Gp}^m), direta na horizontal (H_{DH}^m) e PAR direta na horizontal (H_{DHp}^m).

CONCLUSÕES

A evolução anual das irradiações global (H_G^d), PAR global (H_{Gp}^d), direta (H_{DH}^d) e PAR direta (H_{DHp}^d) mostrou que ocorreu um diferencial energético na ordem de $10,28\text{MJ/m}^2$, $6,25\text{MJ/m}^2$, $6,58\text{MJ/m}^2$ e $2,77\text{MJ/m}^2$, respectivamente, entre os meses menos e mais energéticos, e que as frações (K_{Gp}^d) e (K_{DHp}^d) sofreram variações consideráveis entre os períodos chuvosos e secos devido a dependência climática regional, a qual deve ser analisada em uma base de dados mais consistente, uma vez que podem ocorrer variações de um ano a outro nos parâmetros atmosféricos envolvidos no estudo.

Levando-se em consideração o total energético anual da energia solar direta que foi disponibilizada na superfície terrestre da área em estudo ($3,89\text{GJ/m}^2$), observa-se o elevado potencial de emprego desta energia em painéis fotovoltaicos e coletores solares. Vale salientar também para fins biossíntese vegetal que 47,8% da radiação global anual foi disponibilizado na forma de PAR global ($3,19\text{GJ/m}^2$), sendo esta decomposta em torno de 51% de PAR direta ($1,63\text{GJ/m}^2$) e 49% de PAR difusa ($1,56\text{GJ/m}^2$).

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
$\langle H_o^d \rangle$	Irradiação no topo da atmosfera diária média mensal (MJ/m^2 mês).
$\langle H_G^d \rangle$	Irradiação global na superfície horizontal diária média mensal (MJ/m^2 mês).
$\langle H_{DH}^d \rangle$	Irradiação direta na horizontal diária média mensal (MJ/m^2 mês).
$\langle H_{Gp}^d \rangle$	Irradiação PAR global na superfície horizontal diária média mensal (MJ/m^2 mês).
$\langle H_{DHp}^d \rangle$	Irradiação PAR direta na horizontal diária média mensal (MJ/m^2 mês).
H_o^m	Irradiação no topo da atmosfera mensal acumulada (MJ/m^2 mês).
H_G^m	Irradiação global na superfície horizontal mensal acumulada (MJ/m^2 mês).
H_{DH}^m	Irradiação direta na horizontal mensal acumulada (MJ/m^2 mês).
H_{Gp}^m	Irradiação PAR global na superfície horizontal mensal acumulada (MJ/m^2 mês).
H_{DHp}^m	Irradiação PAR direta na horizontal mensal acumulada (MJ/m^2 mês).
H_o^a	Irradiação no topo da atmosfera anual acumulada (MJ/m^2 mês).
H_G^a	Irradiação global na superfície horizontal anual acumulada (MJ/m^2 mês).
H_{DH}^a	Irradiação direta na horizontal anual acumulada (MJ/m^2 mês).
H_{Gp}^a	Irradiação PAR global na superfície horizontal anual acumulada (MJ/m^2 mês).
H_{DHp}^a	Irradiação PAR direta na horizontal anual acumulada (MJ/m^2 mês).
$\langle K_{DHp}^d \rangle$	Fração PAR direta na horizontal da radiação direta na horizontal diária média mensal (adimensional).
$\langle Kt^d \rangle$	Transmissividade atmosférica diária média mensal (adimensional).
$\langle Ktp^d \rangle$	Transmissividade atmosférica PAR diária média mensal (adimensional).

BIBLIOGRAFIA

- ALADOS, I., FOYO-MORENO, I., ALADOS-ARBOLEDAS, L. Photosynthetically active radiation: measurements and modelling. *Agric. For. Meteorol.*, v.78, p.121-31, 1996.
- ALADOS, I., ALADOS-ARBOLEDAS, L. Direct and diffuse photosynthetically active radiation: measurements and modeling. *Agric. For. Meteorol.*, v.93, p. 27-38, 1999.
- 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.
- BÉGUÉ, A., HANAN, N. P., PRINCE, S.D. Radiative transfer in shrub savanna sites in Niger: preliminary results from HAPEX-Sahel. 2. Photosynthetically active radiation interception of the woody layer. *Agric. For. Meteorol.*, v.69, p.247-66, 1994.
- BRITTON, C.M., DODD, J.D. Relationships of photosynthetically active radiation and shortwave irradiance. *Agric. Meteorol.*, v.17, p.1-7, 1976.
- BROCK, T.D. Calculating solar radiation for ecological studies. *Ecol. Modell.*, v.14, p.1-19, 1981.
- CALVETE, E.O., FRANÇA, S., BERGAMASCHI, H., KAMPF, A.N. Determinações micrometeorológicas sob diferentes materiais de cobertura para aclimação de plantas ix vitro. *Rev. Bras. Agromet.*, 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.
- ESCOBEDO, J. F., MELO, J. M. D., FRISINA, V.A. Radiações solar global e fração da global refletida em estufa tipo túnel com cobertura de polietileno, 7, 1994, Vigo. *Libro de Actas... Vigo: Asociación Española de Energia Solar*, 1994, p. 53 -58.
- FARKAS, I., WEIHS, P., BIRÓ, A., LAUBE, W., EITZINGER, J., WÓJCICKI, A. Modelling of radiative PAR transfer in a tunnel greenhouse. *Math. Comput.Simul.*, v.56, p.357-68, 2001.
- FONSECA, E.L., ROSA, L.M., FONTANA, D.C. Relação entre NDVI e radiação fotossinteticamente ativa absorvida por *Paspalum notatum*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 11, 2000, Rio de Janeiro. *Anais...Rio de Janeiro: Congresso Brasileiro de Meteorologia*, 2000. (Editado em CD-ROM).
- 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. *Rev. Bras. Agromet.*, 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. *Rev. Bras. Agromet*, v.7, n.1, p. 59-66, 1999.
- 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. *Anais...Rio de Janeiro: Congresso Brasileiro de Meteorologia*, 2000. (Editado em CD-ROM).
- GOMES, E. N. *Medida e modelos da radiação fotossinteticamente ativa global, direta na incidência e horizontal*. Botucatu, 2002. 97 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Irrigação e Drenagem) - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - Unesp.
- GRANT, R.H. Shadow-band corrections for photosynthetically active radiation under clear and overcast conditions. *Agric. For. Meteorol.*, v.87, p.212-22, 1997.
- HASSIKA, P., BERBIGIER, P. Annual cycle of photosynthetically active radiation in maritime pine forest. *Agric. For. Meteorol.*, v.90, p.157-71, 1998.
- 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.
- HUTCHISON, B.A., MATT, D.R. The annual cycle of solar radiation in a deciduous forest. *Agric. Meteorol.*, v.18, 255-65, 1977.
- 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.
- KUUSK, A. Absorption profiles of shortwave radiation in a vegetation canopy. *Agric. For. Meteorol.*, v.62, p.191-204, 1992.

- MARISCAL, M.J., ORGAZ, F., VILLALOBOS, F.J. Modelling and measurement of radiation interception by olive canopies. *Agric. For. Meteorol.*, v.100, p.183-97, 2000.
- MELO, J. M. D., ESCOBEDO, J. F. Medida da radiação solar difusa. In: Congresso Ibérico de Energia Solar, 7, 1994, Vigo. *Libro de Actas... Vigo: Asociación Española de Energía Solar*, 1994, p. 47 -52.
- MCNAUGHTON, K.G., GRENN, S.R., BLACK, T.A., TYNAN, B.R., EDWARDS, W.R.N. Direct measurement of net radiation and photosynthetically active radiation absorbed by a single tree. *Agric. For. Meteorol.*, v.62, p.87-107, 1992.
- 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. *Agron. J.*, 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. 231-49, 2002.
- PAPAIOANNOU, G., NIKOLIDAKIS, G., ASIMAKOPOULUS, D.N., RETALIS, D. Photosynthetically active radiation in Athens. *Agric. For. Meteorol.*, v.81, p.287-98, 1996.
- SILVA, E. T., ASMUS, M. L. A dynamic simulation model of the widgeon grass *Ruppia maritima* and its epiphytes in the estuary of the Patos Lagoon, RS, Brazil. *Ecol. Modell.*, v.137, p.161-79, 2001.
- STAMPER, J. H., ALLEN, J. C. A model of the daily photosynthetic rate in a tree. *Agric. Meteorol.*, v.20, p.459-81, 1979.
- 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 a CNPq e FAPESP pelo apoio financeiro.