

RADIAÇÕES GLOBAL E PAR-GLOBAL; DIFUSA E PAR-DIFUSA; DIRETA E PAR-DIRETA, MÉDIAS MENSAS EM BOTUCATU/SP/BRASIL.

**DOUGLAS RODRIGUES², JOÃO F. ESCOBEDO¹, THIAGO N. S. ALMEIDA³,
NATÁLIA P. GAIAD⁴, LUDMILA A. FUKUNAGA⁵**

1 Dr. em Física, Prof. Associado, Depto. de Recursos Naturais, Faculdade de Ciências Agrônômicas, UNESP, Botucatu - SP, Fone: (14) 38117162, escobedo@fca.unesp.br

2 Tecnólogo em Informática para Gestão de Negócios, Técnico de Nível Superior do Departamento de Recursos Naturais/FCA/UNESP/Botucatu.

3 Mestrando em Energia na Agricultura, Departamento de Recursos Naturais/FCA/UNESP/Botucatu.

4 Graduanda em Engenharia Florestal – FCA/Botucatu/SP/Brasil.

5 Graduanda em Agronomia – FCA/Botucatu/SP/Brasil.

Apresentado no XVII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia – 18 a 21 de Julho de 2011 – SESC Centro de Turismo de Guarapari, Guarapari – ES.

RESUMO. No trabalho é apresentada a evolução anual das energias médias mensais das radiações global, direta e difusa do espectro total e das radiações PAR-global, PAR-direta e PAR-difusa do espectro PAR. A partir desses resultados foram calculadas a evolução anual da fração difusa da radiação global e da fração PAR-difusa da PAR-global, e evolução anual da fração PAR-global da global, fração PAR-difusa da difusa e fração PAR-direta da direta. Os resultados são apresentados, discutidos e comparados com a literatura.

Palavras-chave: radiação solar, radiação fotossintética.

MONTHLY AVERAGE OF GLOBAL AND PAR-GLOBAL; DIFFUSE AND PAR-DIFFUSE; DIRECT AND PAR-DIRECT, IN BOTUCATU/SP/BRAZIL.

ABSTRACT. This paper shows the annual evolution of monthly mean energy of global, direct and diffuse radiations of the total spectrum as well as PAR-global, PAR-direct and PAR-diffuse radiations of the PAR spectrum. Using these data, annual evolution of diffuse fraction of global radiation and PAR-diffuse fraction of PAR-global radiation; annual evolution of PAR-global fraction of global radiation, PAR-diffuse fraction of diffuse radiation and PAR-direct fraction of direct radiation are calculated. Results are presented, discussed and compared to data of literature.

Key-words: solar radiation, photosynthetic radiation.

1. INTRODUÇÃO

O conhecimento da radiação PAR é de fundamental interesse para várias áreas de aplicação, dentre outras, a Agronomia a utiliza de forma direta. Na literatura encontramos uma quantidade consideravelmente pequena de trabalhos utilizando a radiação PAR e dentre as três componentes desta radiação, a H_{pG} (PAR-Global) é a mais conhecida, como mostrado nos trabalhos de Papaioannou *et al.* (1996), Alados & Alados-Arboledas (1999), entre muitos outros.

As radiações difusa (H_d), direta (H_D), PAR-difusa (H_{pd}) e PAR-direta (H_{pD}) ainda são pouco estudadas se comparadas às radiações H_G e H_{pG} . Isso se deve, muito provavelmente, às restrições instrumentais. A medida de H_D e H_{pD} exige um mecanismo de rastreamento solar de alto custo e manutenção permanente, enquanto que, a medida de H_d e H_{pd} é dependente do método de medida por sombreamento, o qual utiliza fatores de correção geométricos (largura e diâmetro) e geográficos (latitude) para o anel, e não leva em conta os efeitos da cobertura de céu como nuvens e a anisotropia da radiação difusa. Alguns trabalhos com essas componentes são mostrados por Weiss & Norman (1985), Alados-Arboledas *et al.* (2000), Escobedo *et al.* (2000), e Frisina *et al.* (2000). Dada a importância atual das radiações fotossintéticas na produção agrícola e florestal em Botucatu, região de extrativismo de cana-de-açúcar, eucaliptos e produtos florestais, esse trabalho teve por objetivo medir as radiações global e difusa do espectro total e as radiações PAR-global e PAR-difusa do espectro PAR para calcular as radiações direta e PAR-direta pelo método da diferença entre as radiações global e difusa dos espectros total e PAR determinando assim a evolução anual das médias mensais das três radiações e frações do espectro total e três radiações e frações do espectro PAR.

2 METODOLOGIA

2.1 Descrição do clima

O experimento foi realizado no período de Junho de 1999 a dezembro de 2000, na Estação de Radiometria Solar de Botucatu-SP, da UNESP (latitude de 22°54' S, longitude de 48°27' W e altitude de 786 m). O clima local é classificado como Cwa (critérios de KÖPPEN), temperado quente (mesotérmico), o verão é quente e úmido e o inverno é seco. O dia mais longo (solstício de verão) tem 13,4 horas em dezembro, e o mais curto (solstício de inverno) tem 10,6 horas em junho.

2.2 Instrumentação

A irradiância global I_G foi medida por meio de piranômetro Eppley PSP ($k_1 = 8,13\mu Vm^2/W$) e Kipp-Zonen CM 3 ($k_2 = 24,10\mu Vm^2/W$), enquanto que a irradiância PAR-global I_{Gp} por um detector quântico Li-Cor ($k_1 = 4,66\mu A/1000\mu mol.s^{-1}.m^{-2}W$ e $k_2 = 5,29\mu A/1000\mu mol.s^{-1}.m^{-2}W$). As irradiâncias difusas (I_d e I_{dp}) foram monitoradas por meio de anéis de sombreamento **MEO** nas seguintes especificações: 80cm de diâmetro e 10cm de largura, usando os piranômetro Kipp-Zonen ($k = 21,16\mu Vm^2/W$) e Eppley PSP ($k = 8,17\mu Vm^2/W$) para a medida da irradiância I_d e um sensor quântico Li-Cor ($k = 4,89\mu A/1000\mu mol.s^{-1}.m^{-2}W$ e $k = 5,04\mu A/1000\mu mol.s^{-1}.m^{-2}W$) para a medida de I_{dp} . Na aquisição dos dados, utilizou-se um Datalogger Campbell 23X, operando na frequência de 1Hz e armazenando médias de 5 minutos. As leituras dos detectores quânticos Li-Cor, em mV, foram convertidas para W/m^2 utilizando-se o valor de $4,6\mu mol s^{-1}W^{-1}$,

(McCree, 1972). O termo geral "radiação fotossinteticamente ativa" pode ser expresso em unidade de energia (MJ/m^2) e unidade fotobiológica como fóton ($\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$).

A base de dados para a obtenção dos valores médios das três radiações em (MJ/m^2) foram obtidas a partir da integração diária da irradiância (W/m^2), no período de 15 meses.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Radiações global, difusa, direta, PAR-global, PAR-difusa e PAR-direta na superfície horizontal em Botucatu.

A figura (1a, b) mostram os valores médios mensais da radiação total no topo da atmosfera (H_o), radiação PAR no topo da atmosfera, radiações global (H_G) e PAR-global (H_{pG}), difusa (H_d) e PAR-difusa (H_{pd}) e direta (H_D) e PAR-direta (H_{pD}) na superfície terrestre, em Botucatu. Para o cálculo da transmissividade atmosférica da radiação fotossinteticamente ativa no topo da atmosfera (H_{op}) foi utilizada a fração percentual de 38.8% da radiação total extraterrestre (H_o) (Iqbal, 1983).

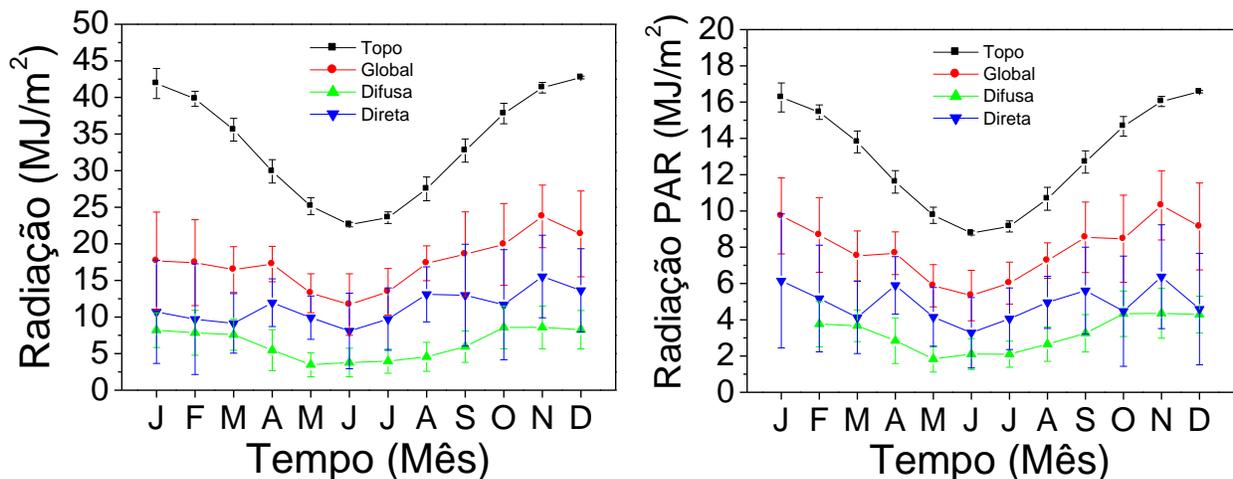


Figura 1. Radiações médias mensais: a) no topo da atmosfera (H_o) e (H_{op}), global (H_G) e PAR-global (H_{pG}); b) no topo da atmosfera (H_o) e (H_{op}), difusa (H_d) e PAR- difusa (H_{dp}).

A variação sazonal observada nos valores das radiações em MJ/m^2 na figura 1(a, b) é devido a variação astronômica solar (declinação solar) para a latitude local, e principalmente a variação do clima, ou devido as variações da cobertura do céu, como nuvens, vapor d'água e aerossóis, na atmosfera local. Esses parâmetros meteorológicos atenuam as radiações por meio da absorção e espalhamento na atmosfera, reduzindo as energias que atingem a superfície terrestre.

Os valores das radiações global, PAR-global, direta e PAR-direta são mais elevados nas estações da primavera (aproximadamente nos meses de outubro, novembro e dezembro), e no verão (aproximadamente nos meses de outubro, novembro e dezembro), nas quais as concentrações de nuvens e vapor d'água na atmosfera são mais elevadas no ano. Por outro lado, os valores das radiações difusa e PAR-difusa são menores nestas estações do ano. Já os valores das radiações global, PAR-global, direta e PAR-direta são menos elevados nas estações do inverno (aproximadamente nos meses de julho, agosto e setembro), e no outono (aproximadamente nos meses de março, abril e junho), nas quais as concentrações de nuvens e vapor d'água na atmosfera são menos elevadas e a concentração de aerossóis é mais elevada no ano. Por outro

lado, os valores das radiações difusa e PAR-difusa são maiores nestas estações do ano (figura 1). A radiação global variou de $24,0\text{MJ/m}^2$ (novembro) a $11,9\text{MJ/m}^2$ (junho); a PAR-global de $10,4\text{MJ/m}^2$ (novembro) a $5,4\text{MJ/m}^2$ (junho); a direta de $15,7\text{MJ/m}^2$ (novembro) a $8,2\text{MJ/m}^2$ (junho); a PAR-direta de $6,2\text{MJ/m}^2$ (novembro) a $3,25\text{MJ/m}^2$ (junho); a difusa de $8,31\text{MJ/m}^2$ (novembro) a $3,3\text{MJ/m}^2$ (abril) e a PAR-difusa de $4,5\text{MJ/m}^2$ (dezembro) a $1,8\text{MJ/m}^2$ (abril).

3.2 Frações PAR-global da global, PAR-difusa da difusa e PAR-direta da direta.

A figura 2 mostra a evolução anual das frações PAR-global da global ($K_p=H_{pG}/H_G$), PAR-difusa da difusa ($K_{pd}=H_{pd}/H_d$) e PAR-direta da direta ($K_{pD}=H_{pD}/H_D$). Os valores de K_p , K_{pd} e K_{pD} nas evoluções mostram uma evidente tendência sazonal que depende da condição da cobertura de céu, principalmente quanto à concentração de nuvens e vapor d'água e aerossóis de cada mês. As variações climáticas das nuvens e vapor d'água possui uma influência considerável nas evoluções das K_p e K_{pD} por meio das variações das radiações direta e global, enquanto que a fração K_{pd} mostra uma dependência das variações de concentrações de aerossóis.

Os valores das frações K_p e K_{pD} foram mais elevados no período úmido com muitas nuvens e vapor d'água na atmosfera, nos meses de outubro a março, e menos elevados no período seco, sem nuvens e com aerossóis, meses de abril a setembro, enquanto que a fração K_{pd} foi maior no período seco, sem nuvens e com aerossóis nos meses de abril a setembro, e menor no período úmido com muita nuvens e vapor d'água na atmosfera nos meses de outubro a março.

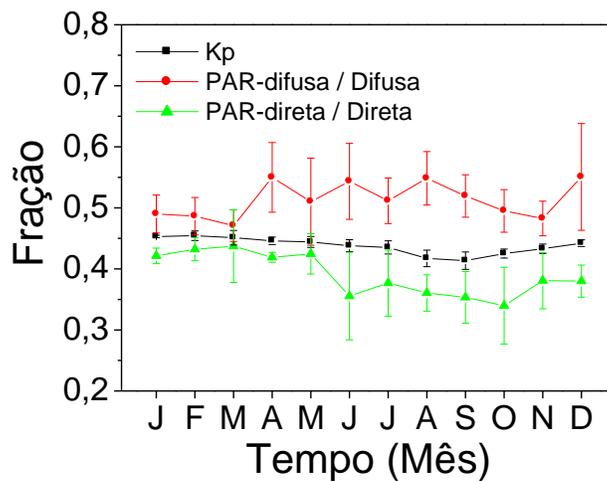


Figura 2. Evolução anual das frações PAR-Global da Global (K_p), PAR-Difusa da difusa (K_{pd}) e PAR-Direta da Direta (K_{pD})

No geral, K_p variou entre 41,3% em setembro, mês mais seco, a 45,30% em janeiro, mês mais úmido e nebuloso. A média anual obtida para K_p foi de 43,8%; A fração K_{pd} variou entre 49,0% em abril, mês mais claro, a 55,0% em dezembro, mês mais úmido e nebuloso. A média anual obtida para K_{pd} foi de 51,3%; K_{pD} variou entre 34,0% em outubro, mês úmido com aerossóis a 43,7% em março, mês úmido e nebuloso. A média anual obtida para K_{pD} foi de 39,0%.

4 CONCLUSÕES

O intervalo de variação encontrado para as energias médias mensais das radiações global, direta e difusa do espectro total e das radiações PAR-global, PAR-direta e PAR-difusa do espectro PAR foi: A global variou de 24,0 MJ/m² a 11,9 MJ/m² a PAR-global de 10,4 MJ/m² a 5,4 MJ/m², a direta de 15,7 MJ/m² a 8,2 MJ/m², a PAR-direta de 6,2 MJ/m² a 3,25 MJ/m², a difusa de 8,31 MJ/m² a 3,3MJ/m² e a PAR-difusa de 4,5MJ/m² a 1,8 MJ/m². A fração PAR-global da global (K_p) média anual obtida foi de 43,8%, enquanto que, a fração PAR-difusa da difusa foi de 51,3% e a fração PAR-direta da direta foi de 39,0%.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alados, I., Alados-Arboledas, L. Direct and diffuse photosynthetically active radiation: measurements and modelling. *Agric. and For. Meteorol.*, v.93, p.27-38, 1999.
- Alados-Arboledas, L., Olmo, F.J., Alados, I., Pérez, I. Parametric models to estimate photosynthetically active radiation in Spain *Agric. and For. Meteorol.*, v.101, p.187-201, 2000.
- Escobedo, J.F., Galvani, E., Oliveira, A.P., Chaves, M.A. Models to estimate daily diffuse irradiation inside polyethylene greenhouse lined east-west and north-south. *World Renewable Energy Congress VI*, v. IV, p. 2481-2484, 2000.
- Frisina, V.A., Escobedo, J.F., Gomes, E.N. Instantaneous estimates of global, diffuse and reflected photosynthetically active radiation (PAR) inside a polyethylene greenhouse. *World Renewable Energy Congress VI*, v. IV, p. 2394-2397, 2000.
- Iqbal, M. An introduction to solar radiation. London: Academic Press., 390p., 1983.
- McCree, K.J. Test of current definitions of photosynthetically active radiation against leaf photosynthesis data. *Agricultural Meteorology*, v.10, p.443-53, 1972.
- Papaioannou, G., Nikolidakis, G., Asimakopoulos, D., Retalis, D. Photosynthetically active radiation in Athens. *Agric. and For. Meteorol*, v.81, p. 287-98, 1996.
- Weiss, A., Norman, J.M. Partitioning solar radiation into direct and diffuse, visible and near-infrared components. *Agric. and For. Meteorol*, v.34, p.205-13, 1985.

Agradecemos à FAPESP e ao CNPq pela ajuda financeira.