

RADIAÇÕES DIFUSA E PAR-DIFUSA EM ESTUFAS DE POLIETILENO

J.F. Escobedo¹, E.N. Gomes², N.P. Gaiad³, D. Martins⁴

1. Físico, Prof. Dr, Depto. de Recursos Naturais, FCA, UNESP, Botucatu - SP, Fone: (0 xx 14) 3811 7162, escobedo@fca.unesp.br.

2. Engº Agrônomo, Pós-Doutorando, bolsista PDJ-CNPq, Depto. de Recursos Naturais, FCA/UNESP, Botucatu - SP.

3. Graduanda Engº Florestal, Depto. de Recursos Naturais, FCA, UNESP, Botucatu - SP

4. Engº Florestal, Professor Dr., Depto. de Recursos Naturais, FCA/UNESP, Botucatu - SP.

Apresentado no XVI Congresso Brasileiro de Agrometeorologia – 22 a 25 de setembro de 2009 – GranDarrell Minas Hotel, Eventos e Convenções - Belo Horizonte, MG.

Resumo: Objetivou-se no trabalho a obtenção das equações de estimativas para as radiações difusa e PAR-difusa em estufas de polietileno a partir das mesmas radiações medidas no meio externo. As medidas das radiações foram realizadas em uma estufa tipo arco, com filme de polietileno transparente de 100 µm de espessura, em Botucatu/SP/Brasil. As equações de estimativa obtidas por meio de regressão apresentaram correlação linear entre as radiações dentro e fora da estufa. Os coeficientes de correlação (R^2) foram superiores a 0,85. Na validação das equações, os indicadores estatísticos obtidos foram MBE inferior a 5,0%, RMSE inferior a 12,0%, e “d” superior a 0,72 e mostram que as equações podem ser utilizadas nas estimativas das radiações difusa e PAR-difusa dentro da estufa de polietileno.

PALAVRAS-CHAVE: radiação difusa, radiação fotossintética ativa, ambiente protegido.

DIFFUSE AND DIFFUSE-PAR IN POLYETHYLENE FILM GREENHOUSE

ABSTRACT: This paper presents estimative equations for diffuse and diffuse PAR radiations in a greenhouse as a function of diffuse and diffuse PAR radiations measured outside the greenhouse. Measures were carried out inside and outside a 100µm thick transparent Polyethylene film greenhouse. The estimate equations were obtained by linear regression and showed that both external and internal radiations present high correlation index. The determination coefficient (R^2) diffuse, diffuse PAR radiations was higher than 0.85 respectively. The statistical indicators MBE (less than 5,0%), RMSE (less than 12%) and d-Willmott (closed to 0,72) in the validation showed that the equations to estimate global and global PAR radiations presented better performance than the equations to estimate diffuse and diffuse PAR radiations inside the greenhouse.

KEYWORDS: diffuse solar radiation, photosynthetic radiation, and greenhouse.

INTRODUÇÃO: Os principais fatores que favorecem o melhor desenvolvimento da cultura em estufas de polietileno são: diminuição de efeitos adversos como fortes ventos que normalmente provocam danos às plantas, não só fisiológicos como mecânicos; diminuição de pragas; obtenção de temperaturas ideais que permitam maior velocidade de crescimento, e o aumento da fração da radiação difusa em relação à global ($K_d = H_d/H_G$), que é considerada a componente mais eficiente para a fotossíntese por atingir área foliar mais homogênea (Weiss & Norman, 1985).

As irradiações diárias (em MJ/m²) da PAR global podem ser representadas matematicamente pela equação: $H_{Gp} = H_{dp} + H_{Dp}$, onde: H_{Gp} = PAR global, H_{dp} = PAR difusa e H_{Dp} = PAR direta. Das três componentes, H_{Gp} é a mais conhecida, a PAR difusa (H_{dp}) e PAR direta (H_{Dp}) ainda são pouco estudadas, muito provavelmente devido a restrições instrumentais (Alados-Arboledas et al., 1999, Escobedo et al 2000, Frisina et al 2000). Dada a importância atual dos ambientes protegidos para agricultores e pesquisadores, no conhecimento da radiação solar difusa, este trabalho teve por obje-

tivo efetuar medidas das radiações difusa e PAR difusa, dentro e fora de estufa, e obter por meio de regressão linear as equações de estimativa das radiações interna a partir das radiações externa.

2. MATERIAS E METODOS: O experimento foi realizado 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 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. Os meses de fevereiro e julho são o mais quente e frio do ano, respectivamente, com temperaturas médias de 23,2C⁰ e 17,1C⁰, enquanto que fevereiro e agosto são os meses mais e o menos úmidos, com percentuais de 78,2% e 61,80% respectivamente. A nebulosidade é mais elevada nos meses de janeiro (f=0,61) e menor em agosto (f=0,27). Contrastando com a nebulosidade, os meses de maior e menor número de horas de brilho solar ocorrem em agosto e fevereiro com totais de 229h e 175,28h respectivamente. A maior precipitação ocorre no mês de janeiro com total de 260,7mm e a mínima em agosto com 38,2mm.

A estufa usada no trabalho tipo arco 7 x 40, coberta com filme de polietileno transparente (100 µm de espessura) e laterais de tela de nylon (sombreamento de 50%) com as seguintes dimensões: 7 m largura, 20 m comprimento e 3,5 m de altura.

As irradiâncias difusas (I_d^{in} , I_d^{ex} , I_{dp}^{in} e I_{dp}^{ex}) foram monitoradas por meio piranômetros em de anéis de sombreamento ME desenvolvido por Melo & Escobedo em 1994 nas seguintes especificações: 80cm de diâmetro, 10cm de largura e 1mm de espessura, usando piranômetro Kipp-Zonen (k=21,16 µV m²/W) e Eppley PSP (k=8,17 µV m²/W) para a medida das irradiâncias I_d^{in} e I_d^{ex} e sensores quânticos Li-Cor (k=4,89 µA/1000µmol.s⁻¹.m⁻²W e k=5,04 µA/1000µmol.s⁻¹.m⁻²W) para a medida de I_{dp}^{in} e I_{dp}^{ex} . O fator FC usado para compensar a irradiação difusa barrada pelo anel foi determinado pela expressão: $FC = [1 - (H'_d / H_d)]^{-1}$, onde H_d é a irradiação difusa e H'_d , a irradiação difusa interceptada durante o dia. A razão H'_d / H_d foi calculada pela equação:

$$H'_d / H_d = \left(\frac{2b}{\pi R} \right) \cos(\delta) \left[\frac{\cos(\phi + \delta)}{\cos(\phi)} \right]^2 \int_0^{\omega_p} \cos(z) d\omega$$

onde: b e R são a largura e raio do anel; δ é a declinação solar; ϕ é a latitude; z é o ângulo zenital e ω é o ângulo horário do sol, variando do nascer até o pôr do sol (Oliveira, 2002).

Para a aquisição dos dados, utilizou-se um Datalogger Campbell 23X, operando na frequência de 1 Hz e armazenando médias de 5 minutos. As leituras dos detectores quânticos Li-Cor, em mV, foram convertidas para W/m² utilizando-se o valor de 4,6 µmol s⁻¹W⁻¹ (McCree,1972).

A base de dados para a obtenção dos modelos de estimativa é constituída de irradiações (em MJ/m²) obtidas a partir da integração diária da irradiância (em W/m²), dentro e fora da estufa, no período de 12 meses e a validação, no período de 3 meses.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO: A figura 1 mostra a correlação entre as radiações PAR-difusa externa H_{dp}^{ex} e a radiação difusa externa H_d^{ex} . A curva de regressão linear entre H_{dp}^{ex} e H_d^{ex} passando pela origem e com coeficiente de determinação $R^2 = 0,9842$ expressa alta correlação entre as duas radiações.

$$H_{dp}^{ex} = 0,46 H_d^{ex} \quad \dots(1)$$

A fração PAR da radiação difusa na radiação difusa $H_{dp}^{ex}/H_d^{ex}=0,460$ mostra que 46,0% da radiação difusa que atingiu a superfície é do tipo fotossinteticamente ativa. O resultado da fração PAR da radiação difusa $H_{dp}^{ex}/H_d^{ex} = 46,0\%$ em Botucatu é inferior ao valor de $H_{dp}^{ex}/H_d^{ex} = 57,4\%$ encontrado por Jacovides (2007) em Atenas na Grecia.

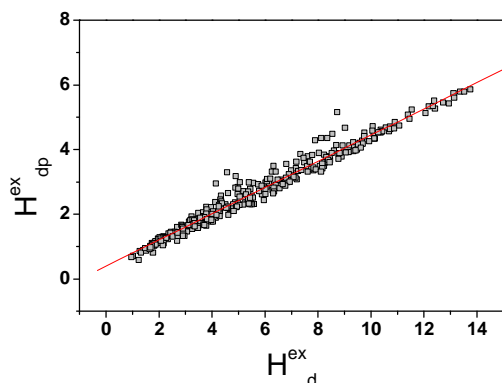


Figura 1 - Correlação da radiação H_{dp}^{ex} em função de H_d^{ex} .

Para a estimativa das radiações difusa (H_d^{in}) e PAR-difusa (H_{dp}^{in}) no interior da estufa foram ajustadas quatro equações em função das radiações difusa externa (H_d^{ex}), PAR-difusa externa (H_{dp}^{ex}), difusa interna (H_d^{in}), as quais são mostradas na Figura 2.

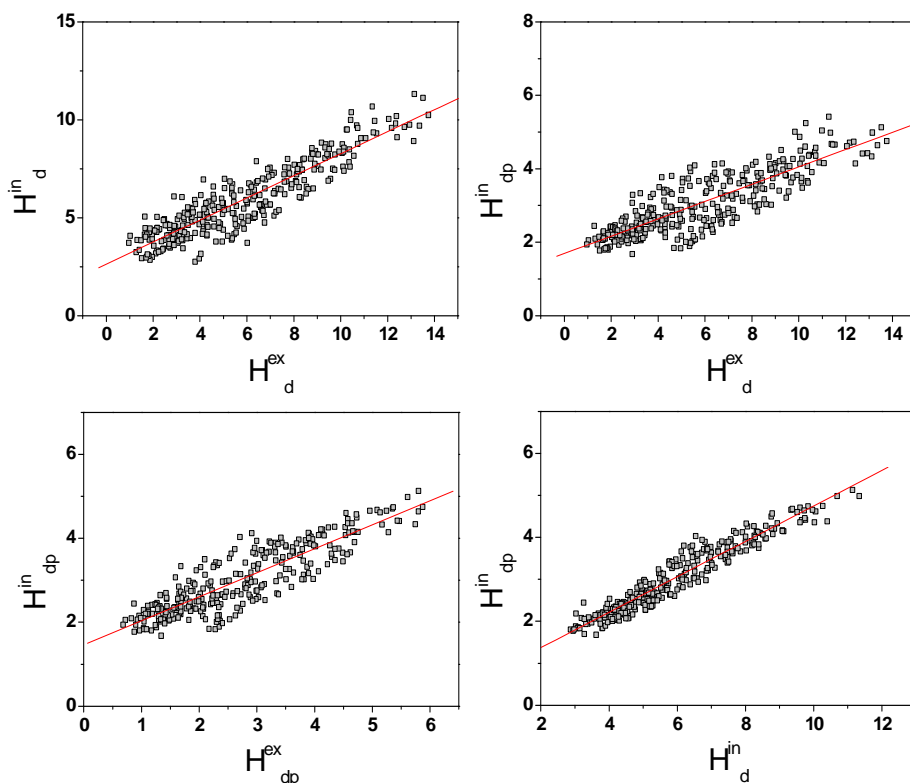


Figura 2 - Correlações das radiações H_d^{in} e H_{dp}^{in} em função de H_d^{ex} , H_{dp}^{ex} e H_d^{in} .

As correlações obtidas com as radiações difusa e PAR-difusa apresentam dispersões mais elevadas que as correlações com as radiações global. O ajuste é linear, porem não passando pela origem. A elevada dispersão é decorrente da transmissão na cobertura de polietileno, que transforma parte da radiação direta em difusa dentro da estufa.

Nas condições de céu totalmente nebuloso, a radiação global é totalmente difusa. Como a radiação difusa é isotrópica (a incidência não tem uma direção preferencial), a cobertura de polietileno não difunde a radiação solar difusa, apenas reduz a energia por absorção. Neste caso a radiação global e difusa diminui no interior da estufa, mas a fração da radiação difusa na radiação global no interior da estufa ($K_{dp}^{in} = H_d^{in} / H_G^{in}$) é a mesma que a fração da radiação difusa da radiação global do meio externo ($K_{dp}^{ex} = H_d^{ex} / H_G^{ex}$). Nas condições de cobertura de céu aberto, como a radiação global é constituída de uma maior parcela da radiação direta, entre 70,0% a 80,0%, e uma menor parcela, entre 20,0% a 30,0%, da radiação difusa. Como descrito anteriormente, na transmissão da radiação difusa ocorre uma diminuição de energia devido à absorção do polietileno, no enquanto, na transmissão da radiação direta ocorre uma diminuição de energia devido à absorção pelo polietileno e uma difusão da radiação direta em radiação difusa dentro da estufa. Assim, a radiação global diminui no interior da estufa em função do decréscimo da radiação direta já que a radiação difusa vindo da conversão da radiação direta em difusa aumenta dentro da estufa. Nesse caso, a fração da radiação difusa da radiação global no interior da estufa é maior que a fração da radiação difusa da radiação global fora da estufa.

Tabela 1 - Equações de estimativa de H_{dp}^{in} em função das radiações H_{dp}^{ex} , H_d^{ex} e H_d^{in}

Equação 2	$H_d^{in} = 2,6282 + 0,5640 H_d^{ex}$	$R^2 = 0,8276$
Equação 3	$H_{dp}^{in} = 1,6942 + 0,2357 H_{dp}^{ex}$	$R^2 = 0,7142$
Equação 4	$H_{dp}^{in} = 1,4618 + 0,5722 H_d^{ex}$	$R^2 = 0,7723$
Equação 5	$H_{dp}^{in} = 0,5286 + 0,4219 H_d^{in}$	$R^2 = 0,9197$

As equações de estimativas obtidas mostradas na tabela (1) apresentam coeficientes de determinação entre 0,71 e 0,92. Os melhores resultados ocorreram para a equação (5) cujas radiações são do mesmo meio, enquanto que, os resultados menos favoráveis das equações (2), (3) e (4), as radiações são de meios diferentes.

A tabela 2 mostra os indicativos estatísticos MBE, RMSE e “d” de Willmott, obtidos da comparação entre a estimativa e a medida (Willmott, 1981). O indicativo MBE variou de -1,4% a 5,0%, onde as estimativas das equações (3), (4) e (5) superestimam a medida. As equações (1) e (2) subestimam a medida.

Tabela 2 - Indicativos Estatísticos MBE, RMSE e d.

	Equação de Estimativa	MBE%	RMSE%	d
(1)	$H_{dp}^{ex} = 0,46 H_d^{ex}$	-1,39	6,87	0,9847
(2)	$H_d^{in} = 2,6282 + 0,5640 H_d^{ex}$	-0,41	8,09	0,8990
(3)	$H_{dp}^{in} = 1,6942 + 0,2357 H_{dp}^{ex}$	2,92	8,94	0,7968
(4)	$H_{dp}^{in} = 1,4618 + 0,5722 H_d^{ex}$	4,88	12,03	0,7202
(5)	$H_{dp}^{in} = 0,5286 + 0,4219 H_d^{in}$	5,02	8,91	0,9403

Para o indicativo MBE, o melhor desempenho foi obtido na ordem das equações (1), (2), (3), (4) e (5). O limite de 5,0% para MBE é considerado um bom resultado, pois se encontra dentro do erro experimental.

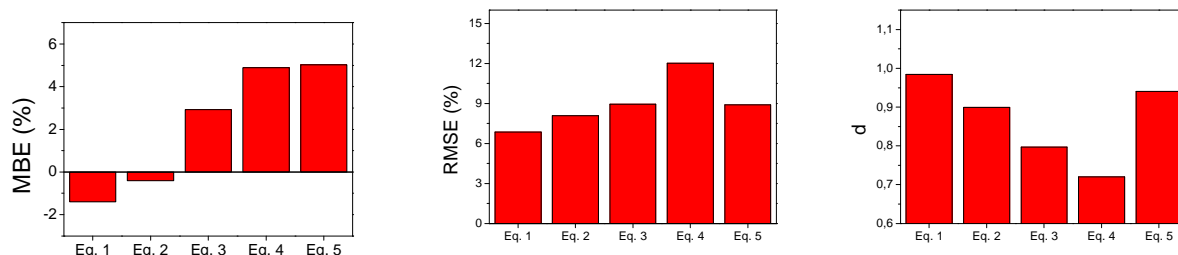


Figura 3 – Indicativos estatísticos MBE, RMSE e d de validação das equações (1) a (5).

O indicativo RMSE variou de 6,8% a 12% onde o melhor desempenho foi na ordem das equações (1), (2), (3), (5) e (4). O índice de ajustamento entre a estimativa e a medida para as equações da Tabela 2 variou de 0,72 a 0,99 e os resultados mostram que o ajuste para as correlações de pares de radiações no mesmo meio é consideravelmente superior às correlações de pares de radiações em meios diferentes.

4. CONCLUSÕES: As radiações difusa e PAR-difusa dentro da estufa estão bem correlacionadas com as radiações difusa e PAR difusa, externas à estufa. O coeficiente de determinação R^2 obtido entre 0,71 e 0,92 mostram que os melhores resultados ocorreram para correlações de radiações do mesmo meio e os menos favoráveis em meios diferentes. A validação das equações de estimativa por meio dos indicativos estatísticos: MBE inferior a 5,0%; RMSE inferiores a 12,0% e “d” de Willmott superiores a 0,72, mostram que as equações de estimativa podem ser utilizadas com precisão.

AGRADECIMENTO: À FAPESP, e ao CNPq pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS

- ALADOS, I., ALADOS-ARBOLEDAS, L. Direct and diffuse photosynthetically active radiation: measurements and modelling. *Agric. and For. Meteorol.*, v.93, p.27-38, 1999.
- 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.
- JACOVIDES, C.P.; TYMVIOS F.S., ASSIMAKOPOULOS, V.D.; KALTSOUNIDES N.A.; The dependence of global and diffuse PAR radiation components on sky conditions at Athens, Greece. *Agricultural and Forest Meteorology*, **87** pag. 143-277 2007.
- MELO, J.M.D.; ESCOBEDO, J.F. Medida da radiação solar difusa. In: *Energias Limpas em Progreso*, VII Congresso Ibérico de Energia Solar, Vigo, Espanha. *Anais do Internacional Solar Energy Society*, v.1, 1994.
- McCREE, K.J. Test of current definitions of photosynthetically active radiation against leaf photosynthesis data. *Agricultural Meteorology*, v.10, p.443-53, 1972.
- OLIVEIRA, A.P., ESCOBEDO, J.F., MACHADO, A.J. A new shadow-ring device for measuring diffuse solar radiation at surface. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, Boston. 2002.
- 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.
- WILLMOTT, C.J. On the validation of models. *Physic. Geogr.* v.2, p.184-94, 1981.