

RADIAÇÕES SOLARES HORARIA UV, PAR E IV EM FUNÇÃO DA GLOBAL.

João F. Escobedo¹, Eduardo N. Gomes², Amauri P. de Oliveira³, Jacyra Soares⁴

RESUMO. *No trabalho são apresentadas equações de estimativa, horária, para as radiações, ultravioleta (UV), fotossintética (PAR) e infravermelha (IV), em função global total (G), medida entre os anos de 2001 a 2005 em Botucatu, SP, Brasil. As radiações UV, PAR e IV, foram correlacionadas com a radiação global, com coeficientes de determinação (r^2) em torno de 0,99. As equações de estimativas quantificaram as frações das radiações UV, PAR e IV no espectro global como: $UV/G=4,2\%$; $PAR/G=49,0\%$ e $IV/G=46,8\%$. Na validação das equações obteve-se os indicativos estatísticos: MBE inferior, a 5,0% para UV; 2,0% para PAR e a 3,0% para IV; RMSE variou até um máximo de 10,63%, e o coeficiente “d” de Willmott, superior a 0,9879. O desempenho das equações entre as radiações foi melhor na seqüência: PAR, IV e UV.*

ABSTRACT. *This work presents equations to estimate the hourly solar radiation components ultraviolet (UV), photosynthetically active (PAR), and infrared (IV) from the total global (G) radiation measures carried out from 2001 to 2005, in Botucatu, SP, Brazil. The UV, PAR and IV radiations were correlated with the global radiation, with R^2 near 0.99. The equations showed the following results to UV, PAR and IV fractions of the global spectrum: $UV/G = 4.2\%$; $PAR/G = 49.0\%$ and $IV/G = 46.8\%$. The statistical indicators of validation were: MBE less than 5.0% for UV; less than 2.0% for PAR, and less than 3.0% for IV. RMSE varied until a maximum of 10.63%. The "d" of Willmott's coefficient, superior of 0.9879, showed good adjustment index between the estimate and the measure. The better results for the equations among the radiations followed the sequence: PAR, IV and UV.*

Palavras-chave: radiações solares UV, PAR e IV, Espectro solar, Radiações Solares.

¹ Físico, Dr. Departamento de Ciências Ambientais – Recursos Naturais, Faculdade de Ciências Agronômicas - UNESP, Caixa Postal 237, 18603-970, Botucatu, SP, e-mail: escobedo@fca.unesp.br

² Eng^o Agr^o, Dr. Departamento de Ciências Ambientais – Recursos Naturais, Faculdade de Ciências Agronômicas - UNESP, Caixa Postal 237, 18603-970, Botucatu, SP, e-mail: engomes@fca.unesp.br

³ Meteorologista, PHD., Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Departamento de Ciências Atmosféricas, USP, Rua do Matão, 1226, Butantã, 05508090 - São Paulo, SP, apdolive@usp.br

⁴ Meteorologista, PHD., Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Departamento de Ciências Atmosféricas, USP, Rua do Matão, 1226, Butantã, 05508090 - São Paulo, SP, jacyra@usp.br

INTRODUÇÃO

O conhecimento das radiações solares ultravioleta-UV (0,29 a 0,385 μ m), fotossintética-PAR (0,385-0,7 μ m) e infravermelha-IV (0,7 – 3,0 μ m) por meio de séries temporal e espacial ou modelos de estimativa, é importante em muitas áreas científicas e tecnológicas. As séries e o modelo de estimativas das radiações permitem conhecer a disponibilidade energética diurna e anual em função do tempo e da radiação global, que normalmente é medida de rotina em redes meteorológicas.

Para as radiações UV, PAR, IV e G, são raras as informações sobre as medidas simultâneas para um único local. A grande maioria das divulgações são relações entre as radiações G e PAR ou G e UV, como mostram os trabalhos Papaioannou et al., (1993), Matinez-Lozano et al., (1999) entre outros. Para as radiações G e IV, as informações são restritas a medidas temporárias, sem ser de rotina, ou em situações específicas, como mostram os trabalhos de Zhang et al., (2000).

Com esse propósito, a Estação de Radiometria Solar de Botucatu / SP / Brasil, monitora simultaneamente as radiações: global, ultravioleta, fotossintética e a infravermelha de ondas curta, desde o ano 2000. Assim, objetivou-se neste trabalho, o desenvolvimento e a validação de equações de estimativa horária, para as radiações UV, PAR e IV em função da radiação G.

MATERIAIS E MÉTODOS

A Estação de Radiometria Solar, mostrada na figura (1) está inserida em ambiente rural na Faculdade de Ciências Agrônomicas da UNESP de Botucatu (latitude 22,85°S, longitude 48,45°O e altitude 786m). A irradiância global (I_G) é monitorada por um piranômetro Eppley PSP, a irradiância ultravioleta (I_{UV}) por um radiômetro CUV-3 da Kipp-Zonen e a irradiância infravermelha (I_{IV}) por um piranômetro Eppley PSP com cúpula seletiva de transmissão na faixa espectral de 0,7 a 3,0 μ m. Por sugestão do fabricante, o fator de calibração do piranômetro IV é multiplicado por um fator de 0,92 para corrigir o efeito da transmissão da cúpula no elemento sensível do sensor. A irradiância PAR (I_{PAR}) utilizada neste trabalho é gerada pelo método indireto, ou seja, pela diferença entre a irradiância I_G e a soma das irradiâncias I_{UV} e I_{IV} medidas na mesma frequência, por meio da equação: $I_{PAR} = I_G - (I_{UV} + I_{IV})$. Na aquisição dos dados é utilizado um Datalogger da Campbell CR23X operando na frequência de 1 Hz e armazenando médias de 300 leituras ou 5 minutos.

RESULTADOS E DISCUSSÕES.

A base de dados das radiações utilizada na geração e validação das equações de estimativas das radiações UV, PAR e IV, compreende os anos de 2001 a 2005. Os anos (2001 a 2004) foram usados na modelagem e o ultimo (2005) na validação

Tabela 1. Estatística das radiações G, UV, PAR e IV horária no período de 2001 a 2005

ano	Radiação	Horária						
		Horas	Soma MJ/m ²	Media MJ/m ²	Desvio (%)	Mínimo MJ/m ²	Máximo MJ/m ²	Variação MJ/m ²
2001	G	3265	6263,8	1,92	51,32	0,02	4,13	4,12
	UV	3265	258,1	0,08	51,02	0,00	0,17	0,17
	PAR	3265	3081,5	0,94	50,95	0,00	2,05	2,05
	IV	3265	2924,1	0,90	51,94	0,00	1,97	1,97
2002	G	3153	5875,4	1,86	51,04	0,01	4,14	4,13
	UV	3153	244,8	0,08	50,74	0,00	0,18	0,18
	PAR	3153	2873,4	0,91	51,09	0,01	2,03	2,02
	IV	3153	2757,2	0,87	51,29	0,00	1,97	1,97
2003	G	3273	6107,9	1,87	51,27	0,02	4,05	4,03
	UV	3273	258,2	0,08	51,41	0,00	0,18	0,18
	PAR	3273	2993,2	0,91	51,57	0,01	2,04	2,02
	IV	3273	2856,5	0,87	51,32	0,00	1,88	1,88
2004	G	2878	5125,7	1,78	55,14	0,01	4,12	4,11
	UV	2878	216,3	0,08	54,64	0,00	0,17	0,17
	PAR	2878	2553,8	0,89	56,14	0,00	2,18	2,17
	IV	2878	2355,6	0,82	55,04	0,00	1,86	1,86
2005	G	3214	5785,2	1,80	51,83	0,02	4,00	3,98
	UV	3214	233,5	0,07	51,87	0,00	0,17	0,17
	PAR	3214	2894,9	0,90	53,31	0,01	2,27	2,26
	IV	3214	2656,9	0,83	50,93	0,00	1,79	1,79

Na tabela (1) é apresentada uma estatística para cada radiação horária por ano, quanto ao número de horas úteis, energia acumulada, energia média horária, com desvios percentuais. O número de horas refere-se às horas em que as quatro radiações foram medidas simultaneamente e sem problemas de visão dos radiômetros solares no campo experimental.

A energia acumulada horária em cada ano é proporcional ao número de horas e foram maiores na ordem dos anos 2001, 2003, 2002, 2005 e 2004, respectivamente. A energia média horária, relação entre a energia acumulada e número de horas, foi maior na seqüência da energia acumulada. A energia média horária da radiação global: 1,92MJ/m² em 2001; 1,86MJ/m² em 2002, 1,87 MJ/m² em 2003, 1,78MJ/m² em 2004 e 18,00 MJ/m² em 2005, foi igual a soma das radiações médias horárias UV +

PAR + IV. O desvio da média horária, em percentagem, difere entre os anos e entre as radiações. Os maiores desvios foram maiores na seqüência dos anos de 2004, 2005, 2003, 2001 e 2002. Entre as radiações, o maior desvio da média foi da radiação PAR que variou 5,2%, de 50,95%(2001) a 56,14%(2004), seguido das radiações G com 4,1%, entre 51,04%(2002) a 55,14%(2004); IV com 4,1%, entre 50,93%(2005) a 55,04%(2004), e UV com 3,9%, entre 50,74%(2002) a 54,64%(2004)

A figura (1) mostra as correlações das radiações horárias UV, PAR e IV função radiação horária G. O melhor ajuste é na ordem PAR, IV e UV, com coeficientes de determinação $R^2_{par}=0,9980$; $R^2_{iv}=0,9974$ e $R^2_{uv}=0,9825$, respectivamente. Os coeficientes de determinação próximos de 1 mostram ótima correlação entre as radiações UV, PAR e IV, com a G.

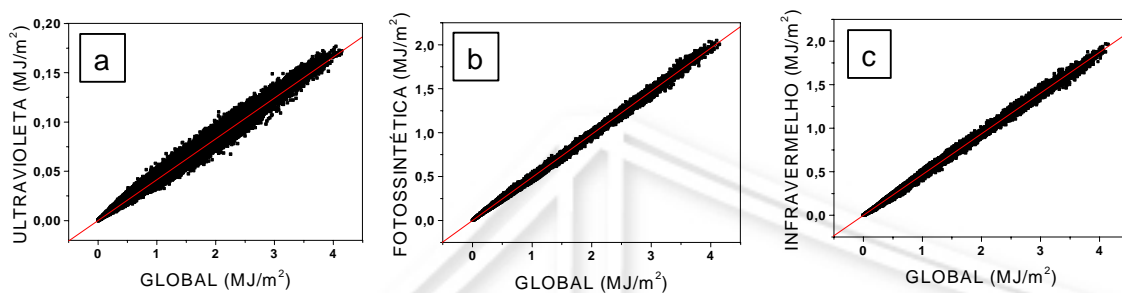


Figura 1. Correlações horárias das radiações: a) UV, b) PAR e c) IV em função de global.

As equações de estimativa linear e seus coeficientes de correlação estão na tabela (2). Os coeficientes angulares : $H_{UV}^h / H_G^h = 0,042$; $H_{PAR}^h / H_G^h = 0,490$ e $H_{IV}^h / H_G^h = 0,468$, quantificam as frações horárias das radiações solares UV, PAR e em relação a radiação global. Percentualmente, as frações UV em 4,2%, da PAR em 49,0% e IV em 46,8%, representam valores médios dos intervalos de variação das frações. Mais precisamente, a fração UV varia no intervalo de 3,0% a 6,9%, a PAR de 43,0% a 63,0%, e a IV de 23,0% a 53,0%.

Tabela 2. Equações horárias para as radiações UV, PAR e IV, em função da Global e coeficientes de determinação.

Intervalo	Equações de Estimativa	R^2
$0 \leq K_T^h \leq 1,0$	$H_{UV}^h = 0,04146 H_G^h$	0,9794
	$H_{IV}^h = 0,49057 H_G^h$	0,9968
	$H_{PAR}^h = 0,46797 H_G^h$	0,9978

Para a UV, a fração média de 4,2%, comparado com outros estudos que utilizaram a regressão linear passando pela origem, é maior que 3,1% para Valencia (Martinez-Lozano et al.,1999);

4,0% para Granada (Foyo-Moreno et al.,1999). É igual a 4,2% de Córdoba ambas na Espanha, e menor que os 5,0% de Valencia (Cañada.,2003) . Para a PAR, a fração média de 49,0% é superior as frações média de 43,2% para Atenas (Papoioannou et al.,1993), e de 43,9% para Tibet Plateau (Zhang et al.,2000).

Os indicativos estatísticos MBE , $RMSE$ e coeficiente “d” de ajustamento na validação estão apresentadas na tabela (3). O indicativo estatístico MBE , horário, variou no intervalo entre 1,15% a -4,8% para H_{UV} ; de 0,2 a -1,62% para H_{PAR} e de -0,2% a 2,45% para H_{IV} . No geral, o resultado foi considerado bom estatisticamente, pois mostra que as equações de estimativas sub/superestima na mesma ordem de grandeza do erro experimental da medida.

O indicativo MBE mostra que as estimativas de H_{UV} e H_{PAR} subestimam a medida, enquanto o indica que H_{IV} superestima a medida. Na estimativas, H_{UV}^h e H_{PAR}^h subestimam em -1,67% e -0,7% e H_{IV}^h superestima em 0,90%. No geral, o resultado para o indicativo estatístico MBE inferiores a $\pm 5,0\%$, é muito bom comparado aos MBE das validações com outras radiações.

Tabela 3. Indicativos estatísticos MBE (%), $RMSE$ (%), e d da validação das equações de estimativa das radiações horárias UV, PAR e IV, em função de G .

Intervalo	Radiação	$MBE(\%)$	$RMSE(\%)$	d
$0 \leq K_T^h \leq 1,0$	UV	-1,67	9,94	0,9933
	PAR	-0,70	4,46	0,9987
	IV	0,90	5,27	0,9983

O indicativo estatístico $RMSE$ nas validações das equações de estimativas variou até um máximo de 10,0%. Em função das radiações, o melhor desempenho foi da H_{PAR} com $RMSE$ de 2,94% para H_{PAR}^d e 4,46% para H_{PAR}^h . O resultado obtido para o indicativo $RMSE$, foi considerado positivo estatisticamente. Os coeficientes “d” de Willmott superior a 0,9879 são elevados e mostram bom nível de ajustamento da estimativa em relação à medida. Entre as radiações, o melhor desempenho foi na seqüência para PAR ,UV e IV, respectivamente.

CONCLUSÕES

As correlações horária, das radiações UV, PAR e IV e a radiação G, geraram equações de estimativa lineares simples, com coeficientes de determinação elevados próximo de 1. Entre as radiações, as correlações são mais precisas na ordem decrescente PAR, IV e UV. Os coeficientes angulares das equações de estimativa horária quantificam as frações percentuais das radiações UV, PAR e IV da radiação global, como 4,2%; 49,0% e 46,8%, respectivamente. A validação, por meio dos indicativos estatísticos *MBE*, *RMSE* e “d”, mostrou que o desempenho das equações de estimativa é positivo estatisticamente, tanto na precisão, (baixos valores dos indicativos *MBE* e *RMSE*), quanto na exatidão (elevados índice de ajustamento “d”). Entre as radiações, o resultado foi melhor na seqüência para as estimativas das radiações PAR, IV e UV.

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

REFERENCIAS

- CAÑADA, J. PEDROS, G. BOSCA, J.V. Relationships between UV (0.290-0.385 μ m) and broad band solar radiation hourly values in Valencia and Córdoba, Spain. *Energy*, v. 28, p.199-217, 2003.
- FOYO-MORENO, I., VIDA, J., ALADOS-ARBOLEDAS, L. A simple all weather model to estimate ultraviolet solar radiation (295-385nm). *J. Appl. Meteorol.* v. 38, P. 1020-1026, 1999.
- MARTINEZ-LOZANO, J.A. , TENA, F. and UTRILLAS, M.P. RATIO OF UV TO GLOBAL BROAD BAND IRRADIATION IN VALENCIA, *Int. J. Climatol.* V.19, p. 903–911, 1999.
- MARTÍNEZ-LOZANO, J.A., CASANOVAS, A.J. and UTRILLAS, M.P. Comparison of global UV (290 -385 nm) and global irradiation measured the warm season in Valencia, Spain. *International Journal of Climatology*, v.14, p.93-102, 1994.
- PAPAIOANNOU, G., PAPANIKOLAOU, N., RETALIS, D. Relationships of photosynthetically active radiation and shortwave irradiance. *Theor. Appl. Clim.*, v.48, p.23-7, 1993.
- 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