

RADIAÇÕES HORÁRIA UV, PAR E IV EM FUNÇÃO DA GLOBAL PARA CONDIÇÕES DE CÉU NUBLADO, PARCIALMENTE NUBLADO E SEM NUVENS.

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

RESUMO. No trabalho é proposto equações de estimativa horária para as radiações UV, PAR e IV, em função global total (G), em quatro tipos de cobertura de céu, com coeficientes de determinação r^2 em torno de 0,99. Os coeficientes angulares das equações de estimativas, horária caracterizaram as frações das radiações UV, PAR e IV no espectro da radiação global, para cada cobertura de céu. Para $K_T \leq 0,35$: $b_{UV}^h = 4,9\%$; $b_{PAR}^h = 51,0\%$ e $b_{IV}^h = 44,0\%$; para $0,35 < K_T \leq 0,55$: $b_{UV}^h = 4,4\%$; $b_{PAR}^h = 49,4\%$ e $b_{IV}^h = 46,0\%$; para $(0,55 < K_T \leq 0,65)$: $b_{UV}^h = 4,2\%$; $b_{PAR}^h = 49,0\%$ e $b_{IV}^h = 46,8\%$ e para $K_T > 0,65$: $b_{UV}^h = 4,0\%$; $b_{PAR}^h = 48,9\%$ e $b_{IV}^h = 47,0\%$. As equações de estimativas, foram validadas obtendo-se os indicativos estatísticos: MBE inferior a 5,0%; o indicativo estatístico RMSE até 10,6% e “d” de Willmott superior a 0,9879 quais mostram bom nível de ajustamento entre estimativa e a medida.

ABSTRACT. This work presents equations to estimate the hourly solar radiation ultraviolet (UV), photosynthetically active (PAR), and infrared (IV) from the total global (G), in four types of sky coverty, with R^2 near 0.99. The angular coefficient of the hourly equations characterized the UV, PAR and IV fractions of G for each sky coverty. For $K_T \leq 0.35$: $b_{UV}^h = 4.9\%$; $b_{PAR}^h = 51.0\%$ and $b_{IV}^h = 44.0\%$; for $0.35 < K_T \leq 0.55$: $b_{UV}^h = 4.4\%$; $b_{PAR}^h = 49.4\%$ and $b_{IV}^h = 46.0\%$; for $(0.55 < K_T \leq 0.65)$: $b_{UV}^h = 4.2\%$; $b_{PAR}^h = 49.0\%$ e $b_{IV}^h = 46.8\%$ and for $K_T > 0.65$: $b_{UV}^h = 4.0\%$; $b_{PAR}^h = 48.9\%$ e $b_{IV}^h = 47.0\%$. The equations were validated using the statistical indicators: MBE less than 5%, RMSE less than 10,6% and “d” of Willmott’s coefficient superior of 0,9879, which showed good adjustment index between the estimate and the measure.

Palavras-chave: radiação solar, ultravioleta, fotossintética, infravermelho.

INTRODUÇÃO

As equações de estimativa desenvolvidas para todas coberturas de céu juntas, apresentadas neste evento por Escobedo, et al 2006, pode não ter o mesmo desempenho nas estimativas das

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

² Eng^oAgr^o, Dr. Departamento de Ciências Ambientais – Recursos Naturais, Faculdade de Ciências Agrônomicas - 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

radiações UV, PAR e UV, para horas e dias, com tipos de cobertura de céu específica como nublada, sem nuvens, etc.

É conhecido da literatura que as frações das radiações UV, PAR e IV da radiação global na superfície terrestre dependem do tipo de cobertura do céu e de parâmetros atmosféricos como ângulo de elevação, perfil vertical de ozônio, concentração de aerossóis e vapor d'água (Foyo-Moreno et al., 2003, Papaioannou et al. 1993). 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, em quatro condições de cobertura de céu ou em quatro intervalos discretos de variação K_T : 1^o- cobertura de céu nebuloso ($K_T \leq 0,35$); 2^o- cobertura de céu parcialmente nublado com dominância para o difuso ($0,35 < K_T \leq 0,55$); 3^o- cobertura de céu parcialmente nublado com dominância para o claro ($0,55 < K_T \leq 0,65$) e 4^o- cobertura de céu sem nuvens ou aberto ($K_T > 0,65$).

RADIAÇÕES HORÁRIA EM FUNÇÃO DOS INTERVALOS DISCRETOS DE K_T^h .

A base de dados constituída das 12569 radiações foram separadas em função da cobertura de céu nos quatro intervalos de K_T^h : 2566 para a cobertura nebulosa; 2525 na cobertura parcialmente nublado com dominância para a cobertura difusa; 2128 cobertura parcialmente nublado com dominância para a cobertura de céu claro e 5350 cobertura de céu aberto. Na tabela (1) é apresentada uma estatística para cada intervalo de K_T^h , A energia acumulada é proporcional a energia de cada radiação e ao número de radiações horárias, em cada intervalo de K_T^h . A energia acumulada é maior na cobertura de céu aberto e menor na cobertura de céu nublado. A energia média, é maior na seqüência para as radiações G, PAR, IV e UV. e em função dos intervalos de K_T^h , é maior na cobertura de céu aberto, e menor na cobertura de céu nublado. O desvio da média é maior na seqüência para as radiações G, UV, PAR e IV. e é maior na cobertura de céu nublado e menor na cobertura de céu aberto. O intervalo de variação em todos intervalos de K_T^h é maior na seqüência para as radiações G, PAR, IV e UV, e em função da cobertura de céu, é maior na cobertura de céu aberto e menor na cobertura de céu nublado.

Tabela 1. Estatística das radiações G, UV, PAR e IV horária no período de 2001 a 2005 para os quatro intervalos discretos de K_t .

Fração	Intervalo	Média (MJ/m ²)	Desvio(%)	Mínimo (MJ/m ²)	Máximo (MJ/m ²)	Varição (MJ/m ²)	Acumulado (MJ/m ²)	Horas
Global		0,65	60,00	0,01	1,92	1,90	1675,6	2566
UV	0<Kt<0,35	0,03	57,90	0,00	0,09	0,09	84,3	2566
PAR		0,34	58,18	0,00	1,03	1,02	867,0	2566
IV		0,28	63,20	0,00	0,81	0,81	724,4	2566
Global		1,44	42,62	0,21	2,76	2,55	3642,6	2525
UV	0,35<Kt<0,55	0,06	46,59	0,01	0,13	0,12	161,3	2525
PAR		0,71	44,48	0,04	1,57	1,53	1795,6	2525
IV		0,67	40,68	0,07	1,29	1,21	1685,8	2525
Global		1,87	36,37	0,47	3,27	2,80	3989,8	2128
UV	0,55<Kt<0,65	0,08	43,44	0,02	0,15	0,13	163,9	2128
PAR		0,92	38,81	0,19	1,78	1,58	1947,8	2128
IV		0,88	33,64	0,22	1,53	1,31	1878,0	2128
Global		2,63	24,04	0,78	4,14	3,37	14064,7	5350
UV	Kt>0,65	0,11	28,65	0,03	0,18	0,15	567,8	5350
PAR		1,29	25,12	0,35	2,18	1,82	6891,5	5350
IV		1,23	23,07	0,40	1,97	1,57	6605,3	5350

RESULTADOS E DISCUSÕES.

A figura (1) mostra as correlações das H_{UV}^h , H_{PAR}^h e H_{IV}^h em função de H_G^h nos quatro intervalos de K_T^h . A variação de energia das radiações H_{UV}^h , H_{PAR}^h e H_{IV}^h em função da H_G^h , é diferente nos quatro intervalos discretos de K_T^h .

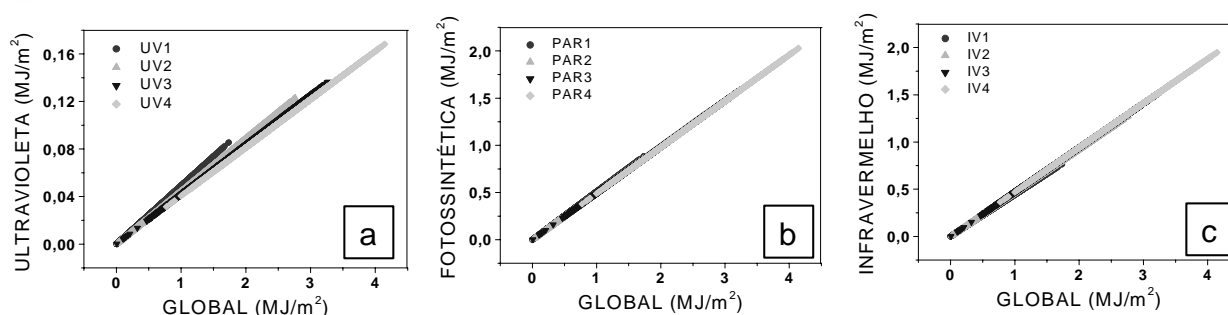


Figura 1- Correlações horárias das radiações: a) H_{UV}^h , b) H_{PAR}^h e c) H_{IV}^h em função de H_G^h para K_T^h total e nos quatro intervalos discretos de K_T^h

Na tabela (2), é apresentada às equações de estimativa com os coeficientes de determinação R^2 do modelo. Os coeficientes angulares das equações b_{UV}^h , b_{PAR}^h e b_{IV}^h , variaram em cada intervalo de

K_T^h . Para as equações H_{UV}^h e H_{PAR}^h , os coeficientes angulares ou frações médias percentuais decresceram e H_{IV}^h aumentou no sentido crescente de K_T^h do primeiro (céu nebuloso) ao quarto intervalo (céu aberto). Sob as condições de céu nebuloso e céu aberto, as frações médias de 4,93% e 4,0%, respectivamente, para H_{UV}^h estão em concordância com os intervalos percentuais encontrados em Córdoba e Valencia de 4,0% a 8,0% para céu nebuloso e 3,7% a 5,5% para céu aberto (Pedrós et al., 2000). O decréscimo dos coeficientes angulares para H_{PAR}^h é similar das H_{UV}^h . Sob as condições de céu nebuloso e aberto, o resultado obtido de 51% e 48,9%, respectivamente, para H_{PAR}^h é maior que os 49,0% e maior 48,0% em Athens (Papoioannou et al., 1993); e é maior que 47,8% e maior 40,8% para Cyprus – Greece (Jacovides et al., 1997).

Os coeficientes de determinação R^2 das equações de estimativas na tabela(2) acima de 0,9790 mostram que H_{UV}^h , H_{PAR}^h e H_{IV}^h estão bem relacionadas com H_G^h em todos intervalos de K_T^h . Entre os quatro intervalos de K_T^h , R^2 foram mais elevados para a cobertura de céu aberto ($K_T^h > 0,65$) e o menos elevados na cobertura nebulosa ($K_T^h \leq 0,35$). Nos dois intervalos de cobertura de céu parcialmente nublada difusa e claro, os coeficientes de determinação R^2 situaram-se entre os valores obtido nos intervalos das coberturas de céu nebuloso e aberto.

Tabela2. Equações de estimativa horária para as radiações UV, PAR e IV, em função de G, para os quatro intervalos discretos de K_T^h , e coeficientes de determinação.

Intervalo	Equações de Estimativa	R^2
$K_T^h \leq 0,35$	$H_{UV}^h = 0,04927H_G^h$	0,9855
	$H_{PAR}^h = 0,51008H_G^h$	0,9947
	$H_{IV}^h = 0,44065H_G^h$	0,9967
$0,35 < K_T^h \leq 0,55$	$H_{UV}^h = 0,04451H_G^h$	0,9622
	$H_{PAR}^h = 0,49452H_G^h$	0,9978
	$H_{IV}^h = 0,46097H_G^h$	0,9965
$0,55 < K_T^h \leq 0,65$	$H_{UV}^h = 0,0417H_G^h$	0,9839
	$H_{PAR}^h = 0,48957H_G^h$	0,9966
	$H_{IV}^h = 0,46873H_G^h$	0,9945
$K_T^h > 0,65$	$H_{UV}^h = 0,04058H_G^h$	0,9792
	$H_{PAR}^h = 0,48942H_G^h$	0,9922
	$H_{IV}^h = 0,47H_G^h$	0,9894

. Os indicativos estatísticos *MBE*, *RMSE* e coeficiente “d” de ajustamento obtidos na validação das equações horária estão apresentado nas tabelas (3) Para *MBE* o resultado foi considerado positivo estatisticamente, pois mostrou que as equações de estimativas sub-ou-superestima na mesma ordem de grandeza do erro experimental da medida. No geral, o resultado para o indicativo estatístico *MBE* inferiores a $\pm 5,0\%$, é muito bom comparado aos *MBE* das validações de modelos estatísticos com outras radiações. O indicativo estatístico *RMSE* nas validações das equações de estimativas horária variou até um máximo de $10,0\%$. O resultado obtido para o indicativo *RMSE*, horário é positivo estatisticamente, tendo em vista que são comparáveis aos citados na literatura para diferentes validações de modelos de estimativas em diferentes locais e com outras radiações.

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

Intervalo	Radiação	<i>MBE</i> (%)	<i>RMSE</i> (%)	d
$K_T^h \leq 0,35$	UV	-3,18	10,36	0,9942
	PAR	-1,72	5,21	0,9986
	IV	2,45	7,15	0,9975
$0,35 < K_T^h \leq 0,55$	UV	0,15	8,22	0,9916
	PAR	-0,36	3,30	0,9986
	IV	0,38	4,09	0,9977
$0,55 < K_T^h \leq 0,65$	UV	1,15	8,74	0,9848
	PAR	-0,23	3,35	0,9974
	IV	0,14	4,02	0,9958
$K_T^h > 0,65$	UV	0,95	6,27	0,9878
	PAR	-0,08	3,97	0,9944
	IV	0,00	4,38	0,9925

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 para as estimativas H_{PAR}^h que apresentou os coeficientes “d” pouco mais elevado que os “d” de ajuste das estimativas H_{IV}^h e H_{UV}^h , nos quatro intervalos de K_T .

CONCLUSÕES:

As equações de estimativas horária para as radiações em função da global nas quatro coberturas de céu, são simples, com coeficientes de determinação próximos de 1. As frações horária UV, PAR e IV dependem da cobertura de céu :o para ($K_T \leq 0,35$), $b_{UV}^h = 4,9\%$; $b_{PAR}^h = 51,0\%$ e $b_{IV}^h = 44,0\%$; para ($0,35 < K_T \leq 0,55$), $b_{UV}^h = 4,4\%$; $b_{PAR}^h = 49,4\%$ e $b_{IV}^h = 46,0\%$; para ($0,55 < K_T \leq 0,65$), $b_{UV}^h = 4,2\%$; $b_{PAR}^h = 49,0\%$ e $b_{IV}^h = 46,8\%$ e ($K_T > 0,65$), $b_{UV}^h = 4,0\%$; $b_{PAR}^h =$

48,9% e $b_{IV}^h = 47,0\%$. Na validação, os indicativos estatísticos *MBE*, *RMSE* e “d” mostraram que a equações de estimativas horária são precisa e entre as radiações o desempenho é melhor na para as radiações PAR, IV e UV.

BIBLIOGRAFIA

- FOYO-MORENO, I. ALADOS, I. OLMO, F.J. ALADOS-ARBOLEDAS, L. The influence of cloudiness on UV global irradiance (295-385nm). *Agricultural and Forest Meteorology*. V. 120, P. 101-111, 2003.
- JACOVINDES, C.P., TIMBIOS, F., ASIMAKOPOULOS, D.N., STEVEN, M.D. Urban aerosol and clear skies spectra for global and diffuse photosynthetically active radiation. *Agricultural and Forest Meteorology*, v.87, p. 91-104, 1997.
- PAPAIOANNOU, G., NIKOLIDAKIS, G., ASIMAKOPOULUS, D.N., RETALIS, D. Photosynthetically active radiation in Athens. *Agric. For. Meteorol.*, v.81, p.287-98, 1996.
- PEDRÓS, G., MARTINEZ, M. P., LOPEZ, A. Modelización de la dependência entre la radiation ultravioleta horária y la radiación total horária para Córdoba. Espanha. Congresso Ibérico de Energia Solar, 9. Córdoba, 27 a 29 de março de 2000.
- 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

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