

# EQUAÇÕES DE ESTIMATIVA SAZONAL DAS RADIAÇÕES UV, PAR E IV EM FUNÇÃO DA RADIAÇÃO GLOBAL

FÁBIO HENRIQUE PIRES CORRÊA<sup>1</sup>; JOÃO FRANCISCO ESCOBEDO<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Tecnólogo em Informática para Gestão de Negócios, Mestrando em Agronomia no Departamento de Recursos Naturais/FCA/UNESP/Botucatu: pirescorrea@fca.unesp.br

<sup>2</sup> Dr. em Física, Prof. Associado, Depto. de Recursos Naturais, Faculdade de Ciências Agronômicas, UNESP, Botucatu - SP, Fone: (14) 38117162, escobedo@fca.unesp.br

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

**RESUMO:** Objetivou-se no trabalho a obtenção das correlações das radiações UV, PAR e IV em função da radiação global horária e diária, por estação do ano. As equações de estimativa obtidas por regressão linear tipo  $Y=aX$  apresentam elevados coeficientes de determinação e expressam a ótima correlação linear entre as radiações UV, PAR, IV e G nas quatro estações do ano. Os indicativos estatísticos obtidos da validação das equações foram: MBE inferiores a 7,0%; RMSE inferiores a 12,0% e “d” superior a 0,96.

**Palavras-chave:** radiação solar global, radiação ultravioleta, PAR e radiação infravermelha.

## UV, PAR AND IR SEASONAL ESTIMATING EQUATIONS BASED ON THE GLOBAL SOLAR RADIATION

**ABSTRACT:** The objective of this work was to develop equations to estimate seasonal solar UV, PAR and IR radiations based on the global solar radiation. The seasonal estimating equations obtained by linear regression  $Y = aX$  have high coefficients of determination and showed good linear correlation between UV, PAR, IR and G. The validations were performed by the MBE, RMSE and “d” statistical indicators and showed MBE less than 7,0%, RMSE less than 12,0% and “d” greater than 0,96.

**Key-words:** Global Radiation, UV Radiation, Photosynthetically Active Radiation, IR Radiation.

**INTRODUÇÃO:** A fração UV da radiação solar global G, tem sido investigada por meio de observações experimentais em muitos países e os resultados mostram que a correlação entre as radiações UV e G é altamente dependente das condições do clima por meio das variações da concentração de nuvens, vapor d’água e aerossóis na atmosfera do local: a radiação UV total constitui uma fração média aproximada entre 2.0 % a 9.5% da radiação solar global G, onde os menores valores da fração UV/G são obtidos nas condições de cobertura de céu claro, com ar seco e aerossóis na atmosfera, enquanto que os maiores valores das frações UV/G são obtidos em atmosfera nebulosa e úmida. Cañada *et al.* (2003) Jacovides *et al.* (2006) Ogunjobi e Kim (2004) e Escobedo *et al.* (2009 e 2011). O efeito da cobertura de céu na relação entre as radiações PAR e G, também já foi estudado em muitos locais e os resultados mostram que a correlação entre as radiações PAR e G, também depende das condições do clima local e mostram que a fração PAR representa um percentual entre 40.8% a 63.1% da radiação solar global G. Similarmente a variação UV/G na atmosfera, os menores valores da fração PAR/G são obtidos em atmosfera clara, seca com presença de aerossóis, enquanto os maiores valores, em atmosfera nebulosa e úmida, Papaioannou *et al.* (1996). Com as radiações G e IV, existem poucas informações sobre observações experimentais simultâneas das duas radiações na superfície terrestre. Resultados recentes mostram que a

radiação IV depende das condições de cobertura de céu, principalmente da presença de vapor d'água na atmosfera, e constitui uma fração média da radiação global G entre 44.0% na cobertura de céu nublado a 51.5% na cobertura de céu aberto. Para valores médios sobre todas as coberturas de céu, a fração IV constitui o percentual entre 46.9% a 51.0% da radiação global Bolsenga (1997) e Zhang (2000).

Dada a importância dos efeitos da cobertura de céu nos valores das frações solares UV/G, PAR/G e IV/G, não só para as áreas Agrônômica e Florestal, como também para a área ambiental e de saúde, este trabalho descreve a obtenção das equações de estimativas das radiações UV, PAR e IV em função de G ou frações solares UV/G, PAR/G e IV/G, horária e diária, em função dos efeitos sazonais para uma base de dados das radiações G, UV, PAR e IV medida no período de 2001 a 2005 em Botucatu.

**MATERIAL E MÉTODOS:** O experimento foi realizado na Estação de Radiometria Solar de Botucatu, FCA, UNESP, Botucatu-SP, com coordenadas geográficas: latitude de 22°54' S, longitude de 48°27' W e altitude de 786 m. O clima é temperado quente (mesotérmico) com chuvas no verão e seca no inverno. 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 23,2C<sup>0</sup> e 17,1C<sup>0</sup>, 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 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 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 $\mu$ m. 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 DISCUSSÃO:** Os valores dos coeficientes angulares das equações lineares sazonais UV/G, PAR/G e IV/G variaram em cada estação do ano em função da nebulosidade ou da frequência do número de horas e dias com  $Kt < 0.55$  (cobertura de céu nebuloso (CN) + coberturas de céu parcialmente nublado com dominância para difuso (CPN1)) e da umidade relativa. Quanto maior o número de horas e dias com  $Kt < 0.55$  e valores elevados da umidade relativa nas estações do ano, maiores foram os valores dos coeficientes angulares ou frações médias UV/G, PAR/G, e menor o valor do coeficiente angular ou fração média IV/G. A Figura 1, apresenta as curvas de regressão linear, horária e diária, das radiações UV, PAR e IV em função de G para cada estação do ano.

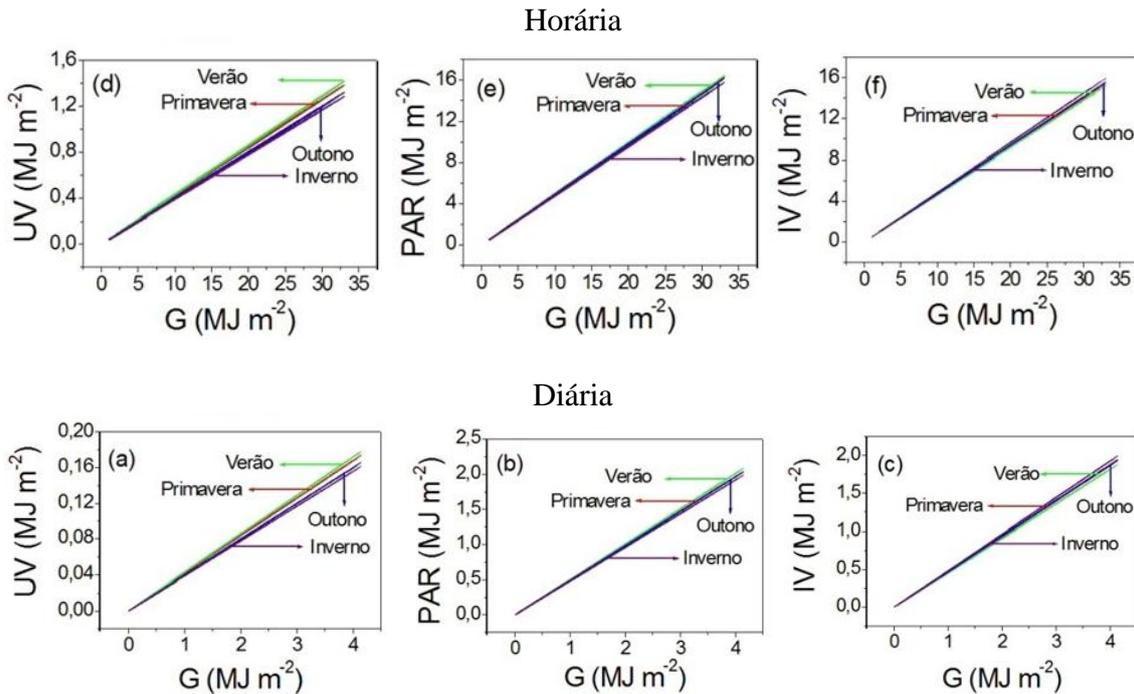


Figura 1. Curvas de regressão linear para as radiações UV, PAR e IV em função de Global G para as quatro estações do ano.

O coeficiente angular, horário e diário, UV/G e PAR/G decresceram e a fração IV/G cresceu em seqüência para as estações Verão, Primavera, Outono e Inverno. No verão, os valores das frações foram:  $H_{UV}^h/H_G^h = 0.043$ ;  $H_{PAR}^h/H_G^h = 0.503$  e  $H_{NIR}^h/H_G^h = 0.454$ ; Primavera  $H_{UV}^h/H_G^h = 0.042$ ;  $H_{PAR}^h/H_G^h = 0.492$  e  $H_{NIR}^h/H_G^h = 0.466$ ; Outono  $H_{UV}^h/H_G^h = 0.040$ ;  $H_{PAR}^h/H_G^h = 0.491$  e  $H_{NIR}^h/H_G^h = 0.469$ ; Inverno  $H_{UV}^h/H_G^h = 0.039$ ;  $H_{PAR}^h/H_G^h = 0.480$  e  $H_{NIR}^h/H_G^h = 0.481$ . Similarmente, o coeficiente angular das equações diárias ou frações são aproximadamente iguais aos das equações horárias, ou seja,  $H_{UV}^d/H_G^d = 0.043$ ;  $H_{PAR}^d/H_G^d = 0.497$ ;  $H_{NIR}^d/H_G^d = 0.460$ ; Primavera  $H_{UV}^d/H_G^d = 0.042$ ;  $H_{PAR}^d/H_G^d = 0.491$ ;  $H_{NIR}^d/H_G^d = 0.467$ ; Outono  $H_{UV}^d/H_G^d = 0.040$ ;  $H_{PAR}^d/H_G^d = 0.489$ ;  $H_{NIR}^d/H_G^d = 0.471$ ; Inverno  $H_{UV}^d/H_G^d = 0.039$ ;  $H_{PAR}^d/H_G^d = 0.478$ ;  $H_{NIR}^d/H_G^d = 0.483$ .

Os coeficientes de determinação na grande maioria das equações horária e diária foram superiores a 0,9700 e expressam a ótima correlação linear entre as radiações UV, PAR, IV e G nas quatro estações do ano. No geral, o coeficiente de determinação  $R^2$  foi mais elevado nas correlações diárias que nas horárias, para as três componentes. Entre as radiações, foram melhores na seqüência para UV, PAR e IV, e para as estações, foram melhores na seqüência: Verão, Primavera, Outono e Inverno.

A comparação entre os coeficientes angulares das equações sazonais e das equações anuais pode ser observada na Figura 2, onde os desvios percentuais calculados pela equação expressam a capacidade das equações anuais em superestimar ou subestimar as equações sazonais nas estimativas das radiações UV, PAR e IV a partir da radiação G.

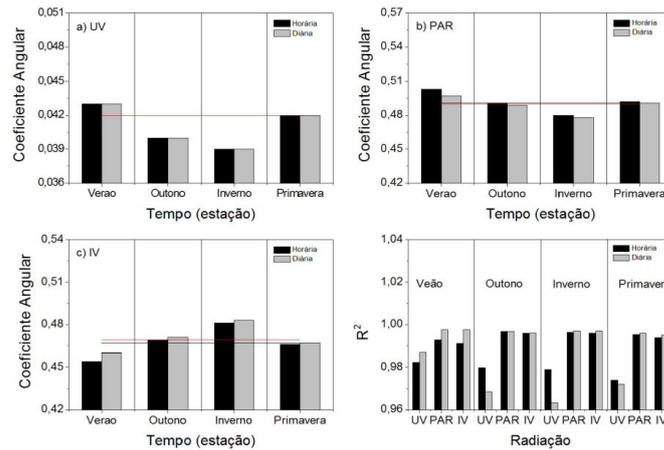


Figura 2. Comparação dos coeficientes angulares das equações de estimativas sazonal e total e coeficiente de determinação das equações sazonais.

Para a radiação UV, horária e diária, as equações anuais superestimam as equações sazonais no outono e inverno em 4,8% e 7,1%, respectivamente, e subestima a equação sazonal do verão em -2,4%. Na primavera, a estimativa da equação anual (horária e diária) é igual a da equação sazonal. Para a radiação PAR, a equação anual subestima a equação sazonal no verão em -2,5% na horária, e -1,4% na diária, e subestima a equação sazonal na primavera em -0,2% na horária e diária. A equação anual superestima a equação sazonal do inverno em 2,2% na horária e 2,5% na diária. No outono, a estimativa da equação anual (horária e diária) é igual a equação sazonal. Para a radiação IV, a equação anual superestima a equação sazonal no verão em 2,8% na horária e 2,0 na diária, e superestima a equação sazonal na primavera em 2,1% na horária e 4,3% na diária. Nas outras estações, outono e inverno, as equações anuais (horária e diária), subestimam as equações sazonais em -4,3% e -3,0% respectivamente.

Os indicativos estatísticos *MBE*, *RMSE* e coeficiente “d” de ajustamento obtidos na validação das equações horárias e diárias para o modelo sazonal estão apresentados na Figura 3. Os indicativos *MBE*, *RMSE* e “d” variaram a cada estação do ano, e no geral, foram melhores em seqüência para as radiações PAR, IV e UV. Os valores horários de *MBE* foram superiores aos valores diários das quatro estações. Para a radiação UV, o modelo horário superestimou a medida em todas as estações do ano, num intervalo de variação entre 1,0 % no verão a 7,3% no inverno, enquanto que, o modelo diário superestimou a medida em 1,3% na primavera a 6,4% no inverno, e subestimou a medida em -0,5% no verão. O modelo horário da radiação PAR subestimou a medida em todas as estações do ano, num intervalo de variação entre -1,1% no inverno a -4,2% na primavera. Similarmente, o modelo diário da PAR subestimou a medida em todas as estações do ano, num intervalo de variação entre -1,1% no inverno a -3,3% na primavera. Para a radiação IV, o modelo horário superestimou a medida em todas as estações do ano, num intervalo de variação entre 0,5% no inverno e 4,7% na primavera, enquanto que o modelo diário superestimou a medida numa variação entre 0,6 % no inverno a 3,5% na primavera.

Os valores horários de *RMSE* para a radiação PAR variaram de 3,0 % no outono a 7,2 % na primavera; enquanto que os valores diários, de 1,9% no inverno a 3,8% na primavera; para a IV, os valores horários de *RMSE* variaram de 3,2% no inverno a 8,3% na primavera, enquanto que os valores diários, de 1,9% no inverno a 4,3% na primavera; para a UV, os valores horários de *RMSE* variaram de 8,3 % no verão a 11,0 % no inverno; enquanto que, os

valores diários, de 6,7% na primavera a 8,6% no inverno. Os valores horários de RMSE foram superiores aos valores diários para as radiações UV, PAR e IV em todas as estações.

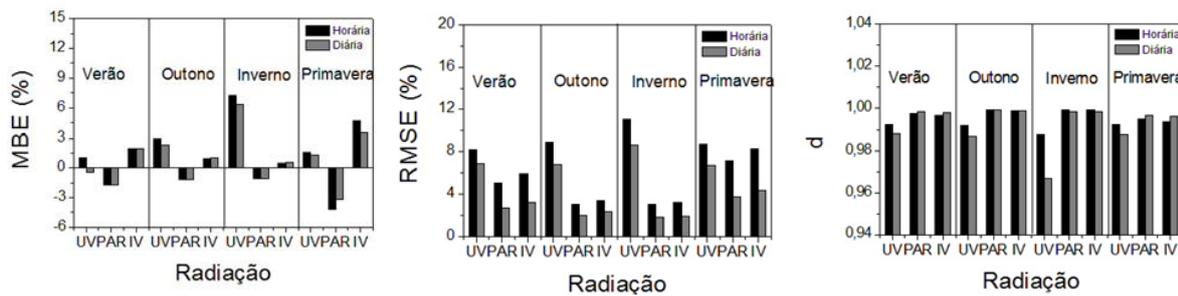


Figura 3. Indicativos estatísticos MBE, RMSE e “d” obtidos na validação do modelo sazonal.

O índice de ajustamento próximo de um ( $d \approx 1$ ) em todas as estações do ano para valores horários e diários das radiações UV, PAR e IV indica que as estimativas do modelo sazonal estão em concordância com as medidas. O índice de ajustamento “d” dos valores horários foram superiores aos diários para a radiação UV e aproximadamente iguais para as radiações PAR e IV, em todas as estações do ano.

**CONCLUSÕES:** As equações de estimativa lineares sazonais estão bem correlacionadas com a radiação G, com coeficientes de determinação próximo de 1(um). Os coeficientes angulares ou frações médias mensais UV/G e PAR/G variaram proporcionalmente e IV/G inversamente à umidade relativa e à nebulosidade, em cada estação do ano. Os indicativos estatísticos MBE e RMSE inferiores a 7,0% e 12,0% respectivamente e “d” superior a 0,96 obtidos na validação das equações de estimativas mostram que o modelo linear se ajustou às medidas, superestimando ou subestimando, com baixo nível de espalhamento.

**Agradecimento:** Agradeço ao CNPq pelo apoio financeiro.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bolsenga SJ, Near Infrared Radiation in Northern Greenland. *Journal Applied Meteorology*, 1997, 6, 449-451.
- Cañada J, Pedros G, Bosca JV. Relationships between UV (0.290-0.385 $\mu$ m) and broad band solar radiation hourly values in Valência and Córdoba, Spain. *Energy* 2003; 28:199-217.
- Escobedo, J ; Gomes, E. N.; Oliveira, A. P.; Soares, J. R. . Modeling hourly and daily fractions of UV, PAR and NIR to global solar radiation under various sky conditions at Botucatu, Brazil. *Applied Energy*, v. 86, p. 299-309, 2009.
- Escobedo, João F.; Gomes, E. N.; Oliveira, A. P. ; Soares, J. R. . Ratios of UV, PAR and NIR components to global solar radiation measured at Botucatu site in Brazil. *Renewable Energy*, v. 36, p. 169-178, 2011.
- Jacovides CP, Assimakopoulos VD, Tymvios FS, Theophilou K, Asimakopoulos DN. Solar global UV (280-380nm) radiation and its relationship with solar global radiation measured on the island of Cyprus. *Energy* 2006;31:2728-38.
- Ogunjobi KO, Kim YJ. Ultraviolet (0.280-0.400  $\mu$ m) and broadband solar hourly radiation at Kwangju, South Korea: analysis of their correlation with aerosol optical depth and clearness index. *Atmospheric Research* 2004;71:193-214.
- Papaioannou G, Nikolidakis G, Asimakopoulos D, Retalis D. Photosynthetically active radiation in Zhang X, Zhang Y, Zhou Y. Masuring and modelling photosynthetically active radiation in Tibet Plateau during April-October. *Agricultural Meteorology* 2000;102:207-12.