

ESTIMATIVA DA RADIAÇÃO SOLAR GLOBAL BASEADA EM MEDIDAS DE TEMPERATURA DO AR

Alessandro FERRONATO¹, José Holanda CAMPELO JÚNIOR.², Elke Leite BEZERRA³, Marlene Milharezi Del Duccas MENDONÇA¹

Introdução

Algumas informações meteorológicas são geralmente utilizadas em estudos sobre rendimento das culturas, modelagem de sistemas agrícolas, análises agroambientais, estudos hidrológicos, etc.

Entre estas informações a radiação solar é uma das mais importantes. A radiação solar constitui-se um fator determinante para o crescimento das plantas, sobretudo através de seus efeitos sobre a fotossíntese e a transpiração (RAVEN, 1969).

A quantidade de energia luminosa disponível para as espécies pode variar de diferentes maneiras, pois a radiação que chega a superfície da terra não é constante e depende da latitude, período do ano e das condições atmosféricas.

Apesar da importância da medida da radiação solar, o número de estações que procedem o seu registro diário na superfície terrestre é muito restrito, quando comparado com o número daquelas que registram a temperatura e a precipitação (THORNTON e RUNNING, 1999). Esta escassez impõe a necessidade de se buscar alternativas para a estimativa da radiação solar através de dados climáticos facilmente medidos.

BRISTOW e CAMPBELL (1984) demonstraram a relação entre a temperatura diária do ar com a radiação solar incidente na superfície. Eles elaboraram um modelo que vem sendo empregado em diversos estudos e já sofreu algumas modificações, tal como a introdução de correção do efeito estacional tipicamente registrado em latitudes temperadas, e também um outro fator de correção geral para efeitos estacionais típicos de latitudes tropicais.

O objetivo deste trabalho foi avaliar quatro modelos de estimativa da radiação solar global, em Mato Grosso, utilizando medidas de temperatura do ar.

Material e métodos

A estimativa da radiação incidente foi obtida multiplicando-se a transmitância atmosférica pela radiação potencial, conforme a equação:

$$Rad = tti \cdot Rpot$$

onde Rad é a radiação solar global estimada, tti é a transmitância diária da atmosfera, e Rpot é a radiação solar potencial.

A radiação potencial foi calculada usando-se uma rotina geral descrita por BRISTOW e CAMPBELL (1984).

Para a estimativa da transmitância atmosférica foram utilizados quatro modelos

1. Modelo de Bristow e Campbell (BC):

$$tti = \tau \cdot \left[1 - \exp\left(\frac{-b \cdot \Delta Ti^c}{\Delta Tm}\right) \right]$$

2. Modelo de Campbell e Donatelli (CD):

$$tti = \tau \cdot [1 - \exp(-b \cdot f(Tavg) \cdot \Delta Ti^2 \cdot f1(Tmin))]$$

3. Modelo de Donatelli e Bellocchi (DB):

$$tti = \tau \cdot [1 + f(doy)] \cdot \left[1 - \exp\left(\frac{-b \cdot \Delta Ti^2}{\Delta Tw}\right) \right]$$

4. Modelo Modular DCBB:

$$tti = \tau \cdot [1 + f(doy)] \cdot \left[1 - \exp\left(\frac{-b \cdot \Delta Ti^2 \cdot f2(Tmin)}{\Delta Tavg}\right) \right]$$

onde τ é o Coeficiente de Transmitância em dia de céu claro; i é o dia juliano; $\Delta T = T_{maxi} - (T_{mini} + T_{mini+1})/2$; $\Delta Tm = \Delta T$ média mensal; $\Delta Tw = \Delta T$ média semanal; $\Delta Tavg = \Delta Tm$; $f(Tavg) = 0,017 \cdot \exp[\exp(-0,053 \cdot Tavg)]$; $Tavg = (T_{maxi} + T_{mini})/2$; $f1(Tmin) = \exp(Tmin/Tnc)$; $f2(Tmin) = 1$ ou $\exp(Tmin/Tnc)$; $f(doy) = c1 \cdot [\sin(ir \cdot \pi/180 \cdot c2) + \cos(ir \cdot \pi/180 \cdot f(c2))]$; $ir = i$ ou $(361-i)$; $f(c2) = 1 - 1,90 \cdot c3 + 3,83 \cdot c3^2$; b , c , $c1$, $c2$, Tnc são parâmetros empíricos.

Os valores dos parâmetros empíricos referentes a cada um dos modelos avaliados, bem como a respectiva validação, foram obtidos através do software RadEst3.0, utilizando-se os dados medidos de temperatura máxima, mínima e de radiação incidente no período de 01/01/1996 a 31/12/1997.

As medidas foram realizadas na Estação Agroclimatológica Padre Ricardo Remetter, situada na Fazenda Experimental da Universidade Federal de Mato Grosso – UFMT, em Santo Antônio do Leverger, MT (latitude: 15°47'11''S; longitude: 56°04'17''W; altitude: 140m).

A radiação solar global foi registrada com um piranógrafo Belfort, instalado a 1,50m de altura da superfície do solo, no interior do cercado da Estação Agroclimatológica. A determinação do valor total diário da radiação solar incidente foi realizada mediante a integração numérica da curva de registro contínuo do piranógrafo, procedendo-se a leitura dos registros, a cada 15 minutos, ao longo do dia. As temperaturas mínimas e máximas diárias foram medidas diariamente com termômetros FUESS, de álcool e de mercúrio, respectivamente, efetuando-se o registro manual.

Os registros de 1996 foram utilizados para obter os valores dos parâmetros, e a validação dos modelos foi efetuada com dados de 1997.

Para a análise da exatidão e precisão dos modelos, foram calculados alguns índices estatísticos (WILLMOTT, 1981; CAMARGO e SENTELHAS, 1997; DONATELLI e CAMPBELL, 1998), como: o coeficiente

¹ Prof. M.Sc. do Curso de Agronomia do UNIVAG – Centro Universitário, Várzea Grande - MT. E-mail: aleferro@terra.com.br; marlenem@terra.com.br.

² Dr. Prof. Tit. Departamento de Solos e Eng. Rural, DSER, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá-MT. E-mail: fcampelo@terra.com.br.

³ Aluno de Mestrado do Programa de Agricultura Tropical da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária – FAMEV/UFMT. E-mail: elbezerra@brturbo.com

de determinação (r^2) entre os dados estimados e medidos; o erro médio (RMSE); o componente sistemático da variância (MSEsist) e o não sistemático (MSEnsist); o coeficiente de variação (CV); a eficiência do modelo (ME); o coeficiente de resíduo de massa (CRM); o índice de concordância de Willmott (d); e o índice de confiança ou desempenho (c).

Resultados e discussão

Os resultados obtidos para os coeficientes empíricos de cada modelo avaliado, para dados diários, estão expressos na Tabela 01.

TABELA 01. Valores dos coeficientes empíricos dos modelos de estimativa da transmitância atmosférica diária, obtidos para Santo Antônio do Leverger, MT, em 1996.

Coeficientes	BC	CD	DB	DCBB
b	0,138	0,251	0,125	0,085
C	2	-	-	-
Tnc	-	22,1	22,1	67,6
C1	-	-	0,087	0,186
C2	-	-	1,358	0,155

Os índices estatísticos usados para verificar a exatidão e precisão dos modelos nas estimativas diárias para 1996 podem ser observados na Tabela 2.

TABELA 02. Índices estatísticos referentes aos resultados de estimativa diária da radiação solar global para Santo Antônio do Leverger, MT, no ano de 1997.

Índice Estatístico	BC	CD	DB	DCBB
RMSE	3,50	4,08	3,04	3,17
CV (%)	24,12	28,08	20,90	21,83
r^2	0,50	0,51	0,61	0,61
ME	0,41	0,20	0,56	0,52
CRM	-0,07	-0,16	-0,04	-0,06
D	0,83	0,79	0,99	0,99
C	0,59	0,57	0,77	0,77
MSEsist	0,27	0,48	0,16	0,14
MSEnsist	0,73	0,52	0,84	0,86

Analisando-se os valores da Tabela 2, verifica-se que os modelos utilizados possuem uma exatidão e precisão relativamente baixas quando se pretende fazer estimativas diárias da radiação solar incidente.

De uma forma geral os modelos empregados subestimaram a radiação incidente (valores de CRM < 0). O índice de concordância entre os pares de dados foi de bom a ótimo. No entanto o índice de confiança ou desempenho variou de sofrível a muito bom para todos os modelos, sendo que os modelos DB e DCBB sobressaíram-se em relação aos outros. A análise do erro sistemático e não sistemático mostrou que o baixo desempenho dos modelos, na estimativa diária da irradiância, não é inerente apenas à natureza dos modelos de transmitância. Entretanto, como MSEsist/MSEnsist foi inferior a 50%, não se deve esperar melhores estimativas com uma nova parametrização dos modelos, sem alterar a sua própria estrutura (WILLMOTT, 1982).

Em função das dificuldades de estimativa de valores diários, procedeu-se ao ajuste dos modelos para estimar valores médios para intervalos de dez dias (Tabela 03).

Comparando-se os resultados de análise

de exatidão e precisão obtidos para intervalos de dez dias (Tabela 4), com aqueles obtidos com valores diários, observa-se que os erros, de uma forma geral, reduziram-se sensivelmente, destacando-se os modelos DB e DCBB, que apresentaram precisão e exatidão superiores aos outros dois modelos. Desse modo, as modificações aplicadas aos modelos de Donatelli & Bellocchi e ao Modular, contabilizando o efeito sazonal da variação da transmitância em dia de céu claro e da variação de temperatura, e utilizando uma função trigonométrica específica para regiões tropicais, contribuíram para alcançar os resultados encontrados.

TABELA 03. Valores dos coeficientes empíricos dos modelos de estimativa da transmitância atmosférica decenal, obtidos para Santo Antônio do Leverger, MT, em 1996.

Coeficientes	BC	CD	DB	DCBB
b	0,139	0,245	0,128	0,085
C	2	-	-	-
Tnc	-	19,0	19,0	67,8
C1	-	-	0,084	0,186
C2	-	-	1,336	0,150

TABELA 04. Índices estatísticos referentes aos resultados da validação dos modelos para a estimativa da radiação solar global a intervalos de dez dias para Santo Antônio do Leverger, MT, no ano de 1997.

Índice Estatístico	BC	CD	DB	DCBB
RMSE	2,16	3,09	1,21	1,38
CV (%)	14,94	21,39	8,41	9,55
r^2	0,62	0,62	0,89	0,87
ME	0,52	0,01	0,85	0,80
CRM	-0,07	-0,17	-0,04	-0,06
d	0,84	0,77	0,96	0,94
c	0,66	0,61	0,91	0,88
MSEsist	0,42	0,57	0,31	0,46
MSEnsist	0,59	0,43	0,69	0,53

Conclusão

Os modelos avaliados apresentaram desempenho satisfatório para intervalos de dez dias e inadequado para estimativas da irradiância diária.

Os modelos que apresentaram maior exatidão e precisão foram os de Donatelli & Bellocchi e o Modular.

Referências bibliográficas

- BRISTOW, K.L.; CAMPBELL, G.S. On the relationship between incoming solar radiation and daily maximum and minimum temperature. *Agric. Forest. Meteorol.*, v. 31, p.159-166, 1984.
- CAMARGO, A.P.de; SENTELHAS, P.C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo, Brasil. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v.5, n.1, p.89-97, 1997.
- DONATELLI, M.; CAMPBELL, G.S. A simple model to estimate global solar radiation. 6Proc. 5 th Congress of the European Society for Agronomy, Nitra Slovakia, II, p. 133-134, 1998.
- RAVEN, J.A. Action spectra for photosynthesis and light simulated ion transport processes in *Hydrodictyon africanum*. *New Phytol.*, v.68, n.1, p.45-62, 1969.
- THORNTON, P.E.; RUNNING, S.W. An improved algorithm for estimating incident daily solar radiation from measurements of temperature, humidity and precipitation. *Agric. Forest. Meteorol.*, v. 93, p. 211-228, 1999.
- WILLMOTT, C.J. On the validation of models. *Phys. Geogr.*, v.2, p.184-194, 1981.
- WILLMOTT, C.J. Some comments on the evaluation of model performance. *Bulletin American Meteorological Society*, v.63, n. 11, p.1309-1313, 1982.