

ESTIMATIVA DA RADIAÇÃO SOLAR PARA A REGIÃO DO TRIÂNGULO MINEIRO E CENTRAL MINEIRA COM BASE NA TEMPERATURA DO AR

HEYDER F. NASCIMENTO¹, CLÁUDIO R. SILVA², LUCAS A. BARBOSA³, MARCO TÚLIO G. PAULA³, VALDINEY J. SILVA⁵, RAFAEL R. FINZI⁴, FÁBIO J. CARVALHO³

¹ Graduando em Agronomia, Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia-MG, Fone: (34) 8408 1608, heydern@hotmail.com.

² Eng. Agrônomo, Prof.Doutor, Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia-MG

³ Graduandos em Agronomia, Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia-MG.

⁴ Graduando em Agronomia, Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia-MG, Bolsista PET/MEC.

⁵ Mestrando em Agronomia, Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia-MG.

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

RESUMO: A radiação solar sem duvidas é uma das principais variáveis meteorológicas na qual é responsável pelo acontecimento de inúmeras reações. Na ausência de sensores próprios para a quantificação da radiação solar é possível utilizar modelos empíricos que utilizam apenas a temperatura do ar como variável para estimar seus valores. Portanto, este trabalho objetivou calibrar seis destes modelos e avaliar a performance dos mesmos para a região do Triângulo Mineiro e Central Mineira. Utilizaram-se dados da temperatura máxima, mínima e total da radiação solar diária incidente na superfície do solo nos período de 2008 a 2010, medida pelas estações meteorológicas do INMET, instaladas em nove cidades que englobam a região. Os parâmetros utilizados para avaliar o desempenho de cada um dos modelos foram o coeficiente de determinação (R^2) e a RQME. Os resultados obtidos recomendam os modelos de Donatelli e Campbell (1998) e o de Bristow e Campbell (1984) como sendo os mais precisos para a região estudada com R^2 iguais a 68 e 67% e RQME iguais a 2,99 e 2,96 $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, respectivamente.

PALAVRA CHAVE: modelos empíricos; Donatelli e Campbell; coeficientes.

ESTIMATION OF SOLAR RADIATION IN THE REGION OF THE TRIÂNGULO MINEIRO AND CENTRAL MINEIRA BASED ON AIR TEMPERATURE

ABSTRACT: The solar radiation is without a doubt one of the main meteorological variables on which it is responsible for the occurrence of several reactions. In the absence of its own sensors for measuring solar radiation is possible to use empirical models that use only air temperature as a variable to estimate their values. Therefore, this study aimed to calibrate these six models and assess the performance of the same for the Triangulo Mineiro region and Central Mineira. We used data of maximum temperature, minimum and total daily solar radiation incident on the soil surface in the period 2008 to 2010, as measured by weather stations INMET, installed in nine cities that comprise the region. The parameters used to evaluate the performance of each model were the coefficient of determination (R^2) and RMSE. The results obtained recommend the model of Donatelli and Campbell (1998) and

Bristow and Campbell (1984) as the most accurate for this region with R^2 equal to 68 and 67% and RMSE equal to 2.99 and 2.96 MJ m⁻² day⁻¹, respectively.

KEYWORDS: empirical models; Donatelli and Campbell; coefficients.

INTRODUÇÃO: A radiação solar é a principal fonte primária de energia na Terra, responsável pelo acontecimento de inúmeras reações, sejam elas físicas, químicas e/ou biológicas. O conhecimento dessa variável meteorológica é de suma importância para o estudo de vários ramos da ciência. Como por exemplo, na geografia, biologia, agronomia, engenharia, medicina, entre outros. Na maioria dos casos a quantificação da radiação solar se torna restrita, vista à escassez de sensores (piranômetro ou actinômetros) nas estações meteorológicas. Isto ocorre porque atualmente estes aparelhos são de elevado custo de aquisição e de difícil manutenção. Para minimizar esta carência vários modelos empíricos foram elaborados com o intuito de estimar a radiação solar com apenas outras variáveis meteorológicas, como, por exemplo, a temperatura do ar. Porém, estes modelos devem ser calibrados, visto que na maioria das vezes seus resultados não representam com precisão o valor real da radiação solar para aquele dia ou local. Tendo em vista às dificuldades de medição da radiação solar, este trabalho objetivou calibrar e analisar a performance de seis modelos empíricos que levam em consideração apenas a temperatura do ar como variável meteorológica para a região do Triângulo Mineiro e Central Mineira.

MATERIAL E MÉTODOS: O experimento foi realizado a partir dos dados coletados nas estações meteorológicas automáticas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) no período de 2008 a 2010, no qual são armazenados e disponíveis no endereço eletrônico <http://www.inmet.gov.br> de responsabilidade da própria instituição federal. A região no qual foram submetidos os estudos de calibração e performances dos modelos foi o Triângulo Mineiro e Central Mineira que engloba as cidades listadas na Tabela 1.

Tabela 1. Localização geográfica das estações meteorológicas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) a serem utilizadas no estudo e porcentagem de dias omitidos.

Ordem	Cidade	Latitude (Graus)	Longitude (Graus)	Altitude (m)	Período	Omissões (%)
1	Araxá	-19,600	-46,9333	999,99	2009-2010	0,958
2	Conceição das Alagoas	-19,9858	-48,1525	568,00	2008-2010	0,136
3	Curvelo	-18,7478	-44,4536	670,00	2008-2010	0,547
4	Dores do Indaiá	-19,4817	-45,5939	722,00	2008-2010	1,231
5	Ituiutaba	-18,9528	-49,5253	560,00	2009-2010	0,821
6	Patrocínio	-18,9967	-46,9856	963,00	2009-2010	0,958
7	Sacramento	-19,8753	-47,4342	912,00	2009-2010	0,684
8	Três Marias	-18,2001	-45,4600	921,00	2009-2010	0,821
9	Uberlândia	-18,9166	-48,2500	869,00	2009-2010	1,506

Os dados inicialmente reportados em intervalos horários foram contabilizados para valores diários, obtendo-se os valores de temperatura máxima, mínima e total diário de radiação solar incidente na superfície do solo. Logo em seguida os mesmos foram submetidos a uma triagem para verificar a integridade e coerência dos dados. Para tanto foi utilizado o critério

de eliminação feito por Liu et al. (2009), em que, a) dados ausentes para qualquer um dos elementos $T_{\text{máx}}$, $T_{\text{mín}}$ ou Q_g ; b) $T_{\text{máx}} < T_{\text{mín}}$; c) $Q_g/Q_o > 1$. A porcentagem de omissões foi calculada dividindo os dados diários perdidos pelo total de dias do período considerado e estão apresentados na Tabela 1. Dentro do período analisado, um ano foi usado na calibração dos coeficientes e o outro na avaliação do desempenho dos modelos. O critério de escolha foi os anos que apresentaram as menores porcentagens de omissões. Os modelos empíricos utilizados estão listados na Tabela 2.

Tabela 2. Resumo dos modelos estudados.

Modelo n°.	Equação	Coefficientes	Fonte
1	$Q_g = a \times (1 + 2,7 \times 10^{-5} \times Alt) \times \sqrt{\Delta T_1} \times Q_o$	a	Annandale et al. (2002)
2	$Q_g = a \times (1 - \exp(-b \times \Delta T_2^c)) \times Q_o$	a, b, c	Bristow e Campbell (1984)
3	$Q_g = (a \times \sqrt{\Delta T_1} + b) \times Q_o$	a, b	Chen et al. (2004)
4	$Q_g = a \times \left(1 - \exp\left(-b \times \frac{\Delta T_2^c}{\Delta T_m}\right)\right) \times Q_o$	a, b, c	Donatelli e Campbell (1998)
5	$Q_g = a \times \sqrt{\Delta T_1} \times Q_o$	a	Hargreaves (1981)
6	$Q_g = a \times \sqrt{\Delta T_1} \times Q_o + b$	a, b	Hunt et al. (1998)

Em que: Q_g – Irradiância terrestre global ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$); Q_o – Irradiância solar extraterrestre ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$); Alt – Altitude do local (m); ΔT_1 – Diferença entre a temperatura máxima e a mínima do dia ($^{\circ}\text{C}$); ΔT_2 – Diferença entre a temperatura máxima e a média da temperatura mínima dos dois dias consecutivos ($^{\circ}\text{C}$); ΔT_m – Média mensal de ΔT_2 .

O ajuste dos coeficientes dos modelos foi realizado a partir do método dos mínimos quadrados da diferença entre os valores observados e estimados. Também foram utilizadas outras ferramentas estatísticas como: regressão linear, coeficiente de determinação (R^2) e raiz quadrada média do erro (RQME). Para que os modelos estudados apresentem bons desempenhos, espera-se que os valores do coeficiente de determinação (R^2) fique em torno de 1 e os valores da RQME tenda a zero.

RESULTADOS E DISCUSSÃO: Inicialmente, determinou-se o coeficiente de ajuste dos modelos, no qual estão presentes na Tabela 3. A Figura 2 ilustra os gráficos da regressão linear entre a radiação solar incidente estimada e observada. A dispersão dos pontos em torno da reta de regressão e da reta 1:1 indicam o parâmetro de desempenho dos modelos. A partir do R^2 pode-se deduzir que os modelos de Donatelli e Campbell (1998) e o de Bristow e Campbell (1984) foram os que apresentaram melhores performance, no qual ficaram com 68 e 67%, respectivamente. Os modelos que apresentaram piores desempenhos foram Hargreaves (1981) e Annandale et al. (2002) ficando ambos com 54%. De maneira geral, os modelos tendem a superestimar valores baixos de radiação solar incidente e subestimar valores altos, acima de $20 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, aproximadamente.

Tabela 3. Coeficientes calibrados para seus respectivos modelos avaliados.

Modelo n ^o *	1	2			3		4			5	6	
Coeficiente	a	a	b	c	a	b	a	b	c	a	a	b
Araxá	0,182	0,916	0,015	1,851	0,361	-0,548	0,760	0,043	2,565	0,187	0,176	1,289
Conceição das Alagoas	0,144	0,727	0,020	1,650	0,227	-0,286	0,661	0,068	2,261	0,146	0,152	-0,701
Curvelo	0,167	0,732	0,007	2,251	0,248	-0,272	0,733	0,031	2,640	0,170	0,194	-3,007
Dores do Indaiá	0,159	0,723	0,009	2,075	0,277	-0,387	0,702	0,043	2,490	0,162	0,179	-1,965
Ituiutaba	0,150	0,683	0,010	2,038	0,237	-0,297	0,712	0,070	2,205	0,152	0,204	-6,433
Patrocínio	0,152	1,071	0,027	1,298	0,249	-0,323	0,728	0,095	2,080	0,156	0,166	-1,180
Sacramento	0,154	0,812	0,012	1,850	0,303	-0,473	0,660	0,028	2,708	0,158	0,158	0,032
Três Marias	0,177	0,686	0,008	2,385	0,308	-0,388	0,672	0,041	2,710	0,182	0,169	1,355
Uberlândia	0,164	0,685	0,008	2,385	0,312	-0,451	0,635	0,022	2,961	0,168	0,148	2,193

*Modelos n^o - 1- Annandale et al. (2002); 2- Bristow and Campbell (1984); 3- Chen et al. (2004); 4- Donatelli and Campbell (1998); 5- Hargreaves (1981); 6- Hunt et al. (1998).

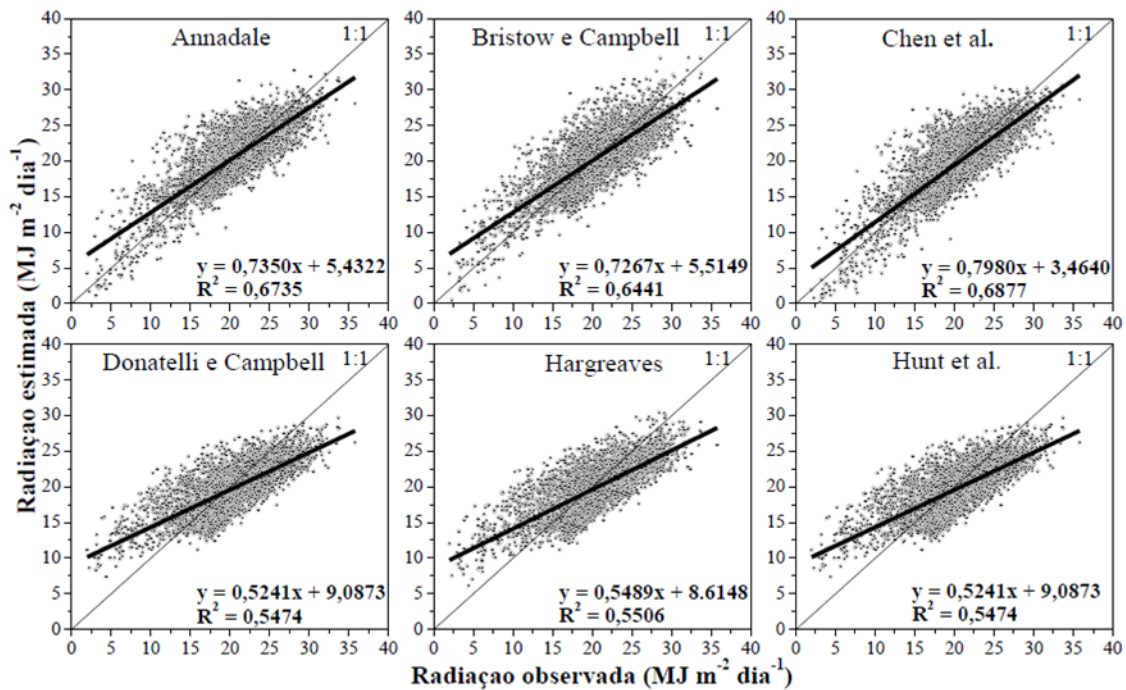


Figura 2. Comparação entre a radiação solar observada e a radiação solar estimada

Observando os valores da RQME, os modelos que apresentaram melhor performance foram os de Donatelli e Campbell (1998) e o de Bristow e Campbell (1984) onde ficaram com valores iguais a 2,99 e 2,96 MJ m⁻² dia⁻¹, respectivamente.

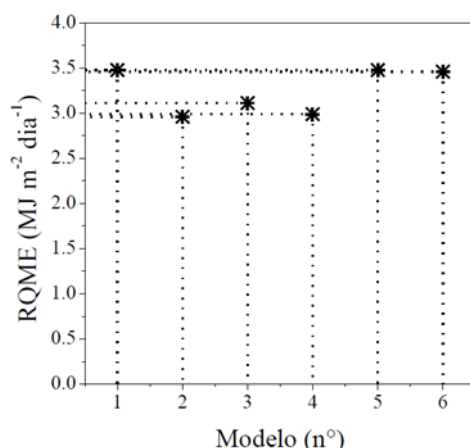


Figura 3. Demonstração da RQME em relação aos modelos estudados para a região do Triângulo Mineiro e Central Mineira. Modelo n° - 1- Annandale et al. (2002); 2- Bristow and Campbell (1984); 3- Chen et al. (2004); 4- Donatelli and Campbell (1998); 5- Hargreaves (1981); 6- Hunt et al. (1998).

CONCLUSÃO: Entre os modelos estudados os que apresentaram melhores desempenhos para a região do Triângulo Mineiro e Central Mineira foram os modelos de Donatelli e Campbell (1998) e o de Bristow e Campbell (1984), com R² de 68 e 67% e a RQME 2,99 e 2,96 MJ m⁻² dia⁻¹, respectivamente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANNANDALE, J.G.; JOVANIC, N.Z.; BENADE, N.; ALLEN, R.G. Software for missing data error analysis of Penman–Monteith reference evapotranspiration. **Irrigation Science**, v.21,p57–67, 2002.
- BRISTOW, K.L., CAMPBELL, G.S. On the relationship between incoming solar radiation and daily maximum and minimum temperature. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.31, p.159-166, 1984.
- CHEN, R.S.; ERSI, K.; YANG, J.P.; LU, S.H.; ZHAO, W.Z. Validation of five global radiation models with measured daily data in China. *Energy Conversion and Management*,v.45, n.1759–1769, 2004.
- DONATELLI, M.; CAMPBELL, G.S. **A simple model to estimate global solar radiation**. In: *Proceedings of 5th Congress of the European Society for Agronomy*, 1998, Nitra, Slovakia Republic, 28 June–2 July 1998.
- HARGREAVES, G.H. **Responding to tropical climates**. In: *The 1980–81 Food and Climate Review*, The Food and Climate Forum, Aspen Institute for Humanistic Studies, Boulder, Colo, pp. 29–32. 1981.
- HUNT, L.A.; KUCHAR, L. SWANTON, C. J. Estimation of solar radiation for use in crop modeling. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.91, n.3-4, 1 p. 293-300, 1998.
- LIU,X.;MEI,X.;LI,Y.; ZHANG;Y.; WANG,Q.; JENSEN,R.J.; PORTER,J.R. Calibration of the Angstrom-PreScott coefficients (a, b) under different timescales and their impacts in estimating global solar radiation in the Yellow River basin. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.149, p.697–710, 2009a.