

ESTIMATIVA DA RADIAÇÃO SOLAR ATRAVÉS DOS VALORES DE TEMPERATURA REGISTRADOS NA REGIÃO NORDESTE DE MINAS GERAIS

MARCO TÚLIO G. PAULA¹, CLÁUDIO R. SILVA², VALDINEY J. SILVA³, RAFAEL R. FINZI⁴, FABIO J. CARVALHO⁵, HEYDER F. NASCIMENTO⁵, LUCAS A. BARBOBA⁵.

¹Graduando em Agronomia, Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia-MG, FONE (34) 9997 – 7007, mtulio_gp@yahoo.com.br.

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

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

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

⁵Graduando 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: O trabalho consiste em determinar, dentre os seis modelos empíricos utilizados para estimar a radiação solar global, qual delas se enquadra melhor para a mesorregião nordeste de Minas Gerais e quais os coeficientes se aplicam em cada modelo. O desenvolvimento do trabalho se deu no laboratório de irrigação da Universidade Federal de Uberlândia, e foi baseado nos dados das seis estações meteorológicas da rede do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) presentes na região, nas cidades de Almenara, Capelinha, Diamantina, Itaobim, Serra dos Aimorés e Teófilo Otoni, no período de 2008 a 2010. Os resultados mostraram eficiência maior para alguns modelos, porém com uma pequena margem de erro da radiação estimada com a radiação medida.

PALAVRAS CHAVE: modelos empíricos; coeficientes; calibração.

ESTIMATION OF SOLAR RADIATION TEMPERATURE THROUGH THE VALUES REPORTED IN NORTHEAST REGION OF MINAS GERAIS

ABSTRACT: The work is to determine, among the six empirical models used to estimate the global solar radiation, which one fits best for region northeastern Minas Gerais and the coefficients which apply in each model. The development work took place in the laboratory of irrigation, Federal University of Uberlandia, and was based on data from six meteorological stations of the network of the National Institute of Meteorology (INMET) in the region, the cities of Almenara, Capelinha, Diamantina, Itaobim, Serra dos Aimorés and Teófilo Otoni, in the period 2008 to 2010. The results showed higher efficiency for some models, but with a small margin of error of the estimated radiation with the radiation measurement.

KEY WORDS: empirical models; coefficients; calibration.

INTRODUÇÃO: Radiação solar é a designação da energia que atinge a Terra fornecida pelos raios solares. Parte dessa radiação fica retida na camada atmosférica e outra parte chega até a superfície terrestre. A importância da radiação recebida pela terra se dá pela sua relação com fatores biológicos, químicos e físicos necessários para que haja a sobrevivência humana. No setor agrícola, práticas como a irrigação são fortemente influenciadas pela radiação solar, além de ser uma característica meteorológica intimamente ligada com a fisiologia das plantas. As medidas de radiação solar em cada local são captadas nas estações meteorológicas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) através de aparelhos denominados piranômetro e heliógrafo, porém esses aparelhos não estão presentes em todas as estações, por isso surge o interesse em obter essa medida através de outros elementos meteorológicos. O objetivo do presente trabalho é obter valores de radiação solar através de valores máximos e mínimos de temperatura diária e da radiação que chega até a atmosfera, utilizando seis modelos de equações (Bristow e Campbell, Donatelli e Campbell, Hargreaves, Annandale, Chen et al., Hunt et al.) e verificar qual dos modelos se aplica melhor para a região nordeste do estado de Minas Gerais.

MATERIAIS 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. As regiões nas quais foram submetidos os estudos de calibração e performances dos modelos foram Jequitinhonha e Vale do Mucuri, englobando assim uma mesorregião mineira nordeste, cujas cidades estão listadas na Tabela 1 e ilustradas na Figura 1.

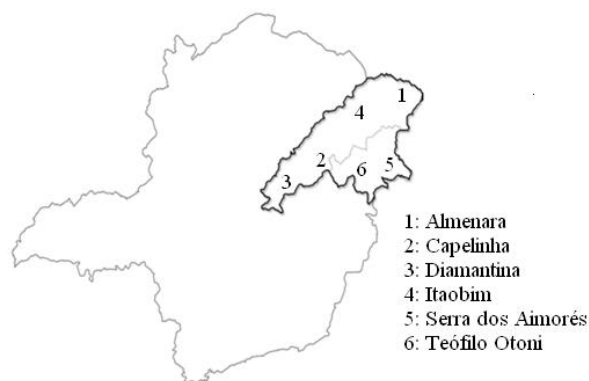


Figura 1. Localização das cidades da região nordeste de Minas Gerais. Desenho sem escala.

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

Cidade	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Anos Utilizados	Nº Omissões (%)
Almenara	-16,16°	-40,68°	208,00	2009 - 2010	2,21
Capelinha	-17,70°	-42,38°	932,00	2009 - 2010	0,72
Diamantina	-18,23°	-43,64°	999,99	2008 - 2009	0,68
Itaobim	-16,34°	-41,29°	266,00	2008 - 2010	1,09
Serra dos Aimorés	-17,79°	-40,25°	208,00	2008 - 2009	3,55
Teófilo Otoni	-17,89°	-41,51°	475,00	2009 - 2010	0,96

Os dados inicialmente reportados em intervalos horários foram contabilizados para valores diários, obtendo-se os valores de temperatura máxima e 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) $Q_g / Q_o > 1$. 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 foram 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.º	Equação	Coefficientes	Fonte
1	$Q_g = a \times (1 - \exp(-b \times \Delta T_2^c)) \times Q_o$	a, b, c	Bristow e Campbell (1984)
2	$Q_g = a \times \left(1 - \exp\left(-b \times \frac{\Delta T_2^c}{\Delta T_m}\right)\right) \times Q_o$	a, b, c	Donatelli e Campbell (1998)
3	$Q_g = a \times \sqrt{\Delta T_1} \times Q_o$	a	Hargreaves (1981)
4	$Q_g = a \times (1 + 2,7 \times 10^{-5} \times Alt) \times \sqrt{\Delta T_1} \times Q_o$	a	Annandale et al. (2002)
5	$Q_g = (a \times \sqrt{\Delta T_1} + b) \times Q_o$	a, b	Chen et al. (2004)
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 (MJ m⁻² dia⁻¹); Q_o – Irradiância solar extraterrestre (MJ m⁻² dia⁻¹); Alt. – Altitude do local (m); ΔT_1 – Diferença entre a temperatura máxima e a mínima do dia (°C); ΔT_2 – Diferença entre a temperatura máxima e a média da temperatura mínima dos dois dias consecutivos (°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 e raiz quadrada média do erro (RQME).

RESULTADOS E DISCUSSÃO: A partir dos dados coletados no primeiro ano para cada cidade, fez-se a calibração dos coeficientes, que apresentaram os valores conforme a Tabela 3. Após calcular os coeficientes para cada modelo, aplicam-se os mesmos nas equações para obter os valores de radiação solar estimada para o segundo ano de cada cidade, comparando esse valor estimado com o valor real que foi medido através da estação. Para representar toda a região, os dados de cada cidade compõem um só gráfico, que ao passar por regressão linear, nos dá um coeficiente de variação (R^2) dos dados em relação à linearidade existente, sendo este valor em porcentagem, e que, quanto mais próximo de 100%, melhor a eficiência do modelo. Os modelos de ‘Bristow e Campbell’ e ‘Donatelli e Campbell’ foram os que apresentaram melhores resultados, tendo o coeficiente de variação igual a 72,72% e 72,38% respectivamente. O modelo de ‘Hunt’ apresentou o resultado com maior variabilidade entre os dados, sendo o seu coeficiente de variação igual a 65,44%, conforme ilustrado na Figura 2. Outro fator a ser observado, é o RQME (raiz quadrada média do erro) para cada modelo, que apresentou valores menores para os modelos de Bristow e Campbell, Donatelli e CampbellChen et al., valor este que também representa a variabilidade dos erros para os valores comparados. Os modelos de Annandale e Hargreaves apresentaram os maiores valores de RQME. Todos os modelos tenderam a superestimar os valores de baixa radiação, até valores médios de 20 MJ m⁻² dia⁻¹, e subestimar para os valores acima.

Tabela 3. Valores dos coeficientes para cada cidade.

Cidades	Bristow e Campbell			Donatelli e Campbell			Hargreaves	Annandale	Chen et al.		Hunt et al.	
	a	b	c	a	b	c	a	a	a	b	a	b
Almenara	0,7852	0,0239	1,6700	0,7472	0,1165	2,0581	0,1706	0,1697	0,2608	-0,3014	0,2092	-4,6086
Capelinha	1,0013	0,0357	1,2551	0,7701	0,2324	1,6557	0,1556	0,1518	0,2381	-0,2753	0,1850	-3,4751
Diamantina	0,7717	0,0164	1,9892	0,6987	0,0424	2,6547	0,1800	0,1753	0,3346	-0,4573	0,1752	0,5128
Itaobim	0,7044	0,0099	2,1050	0,6981	0,0626	2,3644	0,1635	0,1623	0,2427	-0,2750	0,2200	-6,9704
S. dos Aimorés	0,6894	0,0199	1,8651	0,6731	0,1295	2,0934	0,1647	0,1637	0,2613	-0,3139	0,1948	-3,4701
Teófilo Otoni	0,7262	0,0222	1,8351	0,6968	0,1377	2,0621	0,1721	0,1699	0,2655	-0,2877	0,2113	-4,3058

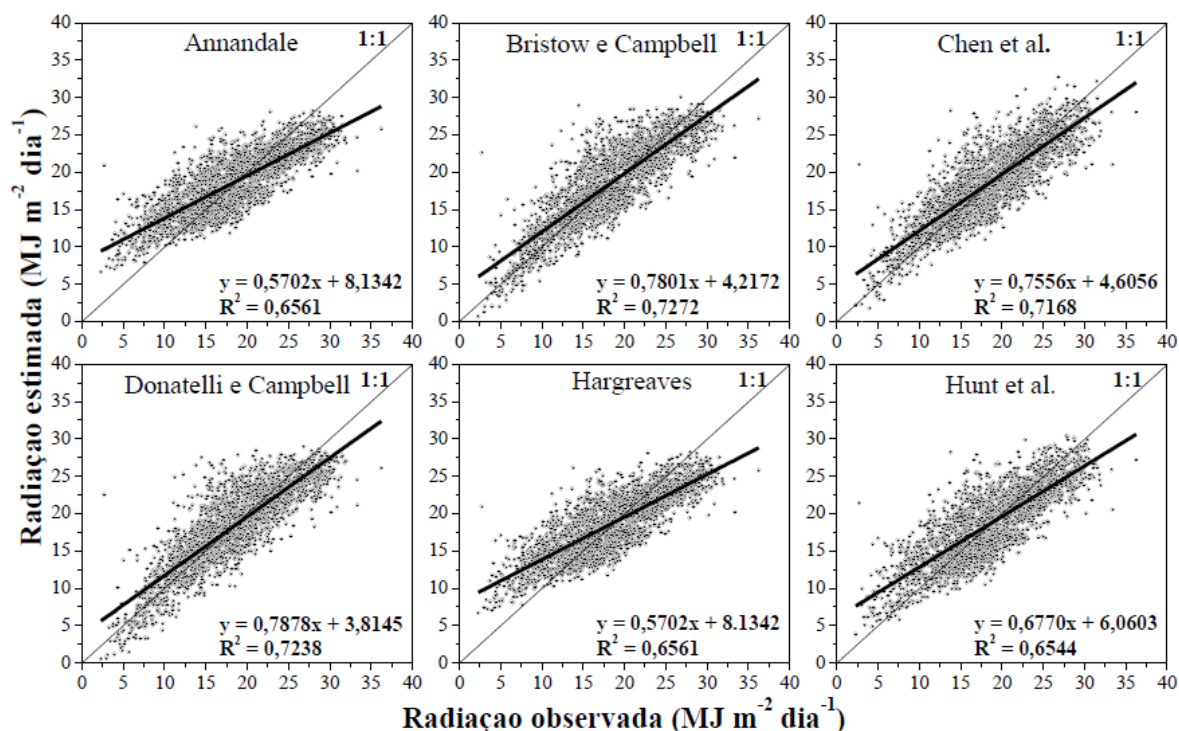


Figura 2. Radiação solar global medida em função da radiação solar estimada na região Nordeste de Minas Gerais, e o respectivo modelo de regressão linear.

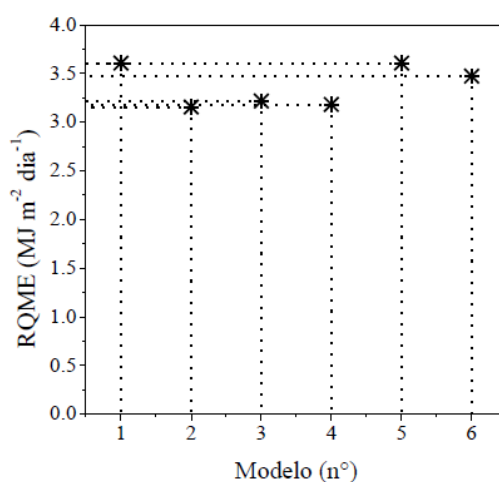


Figura 3. Raiz Quadrada do Erro Médio (RMQE) em função dos modelos empíricos na região Nordeste de Minas Gerais: Annandale (1); Bristow e Campbell (2); Chen et al. (3); Donatelli e Campbell (4); Hargreaves (5); e Hunt et al. (6).

CONCLUSÃO: Para a região Nordeste de Minas Gerais, os modelos de Bristow e Campbell, Donatelli e Campbell e Chen et al. se mostraram mais eficientes na estimativa da radiação global com os maiores R^2 e os menores erros quando comparados aos outros modelos.

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, p. 57-67, 2002.
- BORGES, V. P.; OLIVEIRA, A. S.; COELHO FILHO, M. A.; SILVA, T. S. M.; PAMPONET, B. M. Avaliação de modelos de estimativa da radiação solar incidente em Cruz das Almas, Bahia. **Revista Brasileira de Engenharia Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 1, p. 74-80, 2010.
- 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, p. 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, v. 28 Jun-2 Jul, 1998.
- FORTIN, J. G.; ANCTIL, F.; PARENT, L.; BOLINDER, M. A. Comparison of empirical daily surface incoming solar radiation models. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 48, p. 332-340, 2008.
- 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, p. 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, 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.