



XIX Congresso Brasileiro de Agrometeorologia

23 a 28 de agosto de 2015

Lavras – MG – Brasil

Agrometeorologia no século 21:

O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros

Avaliação de diferentes métodos de estimativa da radiação solar com base na temperatura do ar para o município de Serra Talhada-PE



Wellington Jairo da Silva Diniz²; Thieres George Freire da Silva³; Marcela Lúcia Barbosa⁴, José Edson Florentino de Moraes²; Magna Soelma Beserra de Moura⁵, Jadna Mylena da Silva Ferreira⁶

¹ Trabalho de pesquisa desenvolvido pelo Grupo de Agrometeorologia no Semiárido

² Mestrandos do PPGPV, UFRPE/UAST, e-mail: wellingtonjairo@hotmail.com, joseedson50@hotmail.com

³ Professor Adjunto III, UFRPE/UAST, e-mail: thieres_freire@yahoo.com.br

⁴ Pós-graduanda do PPGMA, UFV/DEA, e-mail: marcelalucia.ufrpe@hotmail.com

⁵ Pesquisadora de Agrometeorologia, Embrapa Semiárido, e-mail: magna.moura@embrapa.br

⁶ Graduanda, Agronomia, UFRPE/UAST, e-mail: jadnamylena@hotmail.com

RESUMO: Objetivou-se avaliar três modelos empíricos de estimativa da radiação solar (R_s), a partir de dados de temperatura do ar para o município de Serra Talhada, região semiárida do Vale do Pajeú, Pernambuco. Dados diários de R_s e temperatura máxima, mínima e média do período de 13/09/2008 a 08/07/2010 ($n=672$) foram obtidos por meio de uma estação meteorológica automática pertencentes ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Foram avaliados os seguintes modelos de estimativa da R_s : Hargreaves (1981), Bristow & Campbell (1984) e Angstrom. O desempenho dos modelos foi realizado pelos indicadores estatísticos: coeficiente de correlação (r); índice de concordância (d); coeficiente de desempenho (c); erro médio de estimativa (MBE); e, raiz quadrada do quadrado do erro médio de estimativa (RMSE). Verificou-se que os métodos de Hargreaves e Bristow & Campbell apresentaram um péssimo desempenho com valores baixos de r e d (0,684, 0,430 e 0,344; 0,499, respectivamente), e altos valores de MBE e RMSE ($-14,063 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$; $-5,638 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ e $14,592 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, $6,985 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, nessa ordem). O melhor desempenho foi obtido pelo modelo de Angstrom, com valores de r , d , MBE, RMSE iguais a 0,967, 0,856, $-1,922 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, $2,825 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, respectivamente. Concluiu-se que, o uso dos modelos de Hargreaves e Bristow & Campbell em Serra Talhada, PE, fica condicionada às suas calibrações locais, e o método de Angstrom pode ser usado no preenchimento de falhas de dados de radiação solar para o município.

PALAVRAS-CHAVE: método de Hargreaves, método de Angstrom, método de Bristow e Campbell

Evaluation of different methods for estimating solar radiation based on the air temperature for the municipality of Serra Talhada-PE

ABSTRACT: The objective was to evaluate three empirical models to estimate solar radiation (R_s), from data of air temperature to the municipality of Serra Talhada, in the semi-arid region Vale do Pajeú, State of Pernambuco. Daily data of R_s and maximum temperature, minimum and average for the period of 9/13/2008 to 7/8/2010 ($n = 672$) were obtained by means of an automatic weather station belonging to the Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). The following models were evaluated to estimate of R_s : Hargreaves (1981), Bristow & Campbell (1984) and Angstrom. The performance of the models was done by statistical indicators: correlation coefficient (r); concordance index (d); performance coefficient (c); average error estimate (MBE); and, square root of the square of the average estimation error (RMSE). It was found that the methods of Hargreaves and Bristow & Campbell presented a terrible performance with low values of r and d (0.684, 0.430 and 0.344; 0.499, respectively), and high values of MBE and RMSE ($-14.063 \text{ MJ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$; $-5.638 \text{ MJ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ and $14.592 \text{ MJ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$, $6.985 \text{ MJ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$, in that order). The better performance was obtained by the model of Angstrom, with values of r , d , MBE, RMSE equal to 0.967, 0.856, $-1.922 \text{ MJ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$, $2.825 \text{ MJ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$, respectively. It is concluded



XIX Congresso Brasileiro de Agrometeorologia

23 a 28 de agosto de 2015

Lavras – MG – Brasil

Agrometeorologia no século 21:



O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros

that the use of the models of Hargreaves and Bristow & Campbell in Serra Talhada, PE, is conditional on their local calibrations, and the method of Angstrom can be used in filling of solar radiation data failures for the municipality.

KEY WORDS: Hargreaves method, Angstrom method, Bristow e Campbell method

INTRODUÇÃO

A radiação solar é o principal fator meteorológico, de tal modo que o conhecimento da sua incidência diária torna-se grande relevância em estudos ecológicos e ambientais. É uma variável que condiciona os demais elementos meteorológicos e é bastante usado em modelos de simulação do crescimento e produtividade de plantas (TRNKA et al., 2007; ABRAHA & SAVAGE, 2008).

A falta de observações da radiação solar (R_s) tem sido um problema persistente em estudos de processos biofísicos em agroecossistemas. O número de estações meteorológicas que registram a irradiância diária ainda é muito pequeno quando confrontado ao número de estações que monitoram os dados de temperatura e a precipitação.

No entanto, o registro de suas observações nem sempre é realizada por medida direta de instrumentos (piranômetros ou actinômetros), logo que possui alto custo de aquisição, manutenção e calibração (LIU et al., 2009; ROBAA, 2009; WEISS & HAYS, 2004). Em muitos países a medida direta da radiação solar ainda é escassa quando comparada com as medições de temperatura e precipitação (LIU et al., 2009; ROBAA, 2009).

Mesmo em estações meteorológicas que possuem equipamentos para a medição da radiação solar, existem dias nos quais os valores são perdidos ou apresentam inconsistência em função de falhas operacionais (HUNT et al., 1998). Com isto, muitas vezes seus valores são estimados por meio de métodos matemáticos, que diferem entre si pelo seu grau de complexidade e variáveis de entrada.

Os modelos de Hargreaves (1981), Bristow & Campbell (1984) que utilizam dados de temperatura do ar e radiação solar incidente no topo da atmosfera vem sendo amplamente utilizados na estimativa da radiação solar (CONCEIÇÃO, 2010; BORGES et al., 2009; FERNEDA et al., 2014). É importante ressaltar que a grande maioria desses modelos são restritos às condições geográficas e climáticas para as quais foram desenvolvidos, apresentando problemas de transferência, quando não devidamente calibrados, visto que a maioria desses modelos empregam coeficientes empíricos que podem variar com o tempo, o local e o clima, alterando assim os resultados obtidos.

Na tentativa de suprir a lacuna de medidas da radiação solar em série de dados, objetivou-se testar modelos empíricos, baseados na temperatura do ar, para Serra Talhada, PE.

MATERIAL E MÉTODOS

Dados de temperatura máxima, mínima e média, e radiação solar global foram coletados em uma Estação Meteorológica Automática, pertencente ao Instituto Nacional de Meteorologia - INMET, localizado no município de Serra Talhada (latitude: $-9,95^\circ$; longitude: $-38,29^\circ$; altitude: 461 m). O período compreendeu os dias de 13/09/2008 a 08/07/2010 ($n=672$).

Os dados foram registrados em escala horária e, posteriormente, convertidos diariamente, obtendo-se os valores máximos ($T_{máx}$, $^\circ\text{C}$) e mínimos ($T_{mín}$, $^\circ\text{C}$) da temperatura do ar de cada dia, a média aritmética ($T_{méd}$, $^\circ\text{C}$), e o total diário de radiação solar global (R_s , $\text{MJ m}^{-2}\text{d}^{-1}$). Em seguida os dados foram submetidos a uma análise de qualidade, sendo utilizado os critérios de eliminação feito por Liu et al.

O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros

(2009):a) dados ausentes para qualquer um dos elementos T_{\max} , T_{\min} ou R_s ; b) $T_{\max} \leq T_{\min}$; c) $R_s/R_a > 1$, em que R_a é a radiação solar global extraterrestre.

A partir dos dados remanescentes foram avaliados os seguintes modelos de estimativa da radiação solar: Hargreaves (1981) (eq.1), Bristow & Campbell (1984) (eq.2) e Angstrom (eq.3).

$$R_{sHa} = \sqrt{T_{\max} - T_{\min}} R_a \quad (1)$$

em que, R_{sHa} - representa a radiação solar obtida pela equação de Hargreaves ($\text{MJ m}^{-2}\text{d}^{-1}$);
e, R_a - radiação solar no topo da atmosfera ($\text{MJ m}^{-2}\text{d}^{-1}$).

$$R_{sB} = 0,7[1 - \exp(-0,005(T_{\max} - T_{\min})^{2,4})]R_a \quad (2)$$

em que, R_{sB} - representa a radiação solar obtida pela equação de Bristow & Campbell ($\text{MJ m}^{-2}\text{d}^{-1}$)

$$R_{sA} = \left(a + b \left(\frac{R_s}{R_{so}} \right) \right) R_a \quad (3)$$

em que, a, b- coeficientes empíricos (0,25 e 0,50);
 R_s - representa a radiação solar ($\text{MJ m}^{-2}\text{d}^{-1}$);
 R_{so} -radiação solar para o céu claro ($\text{MJ m}^{-2}\text{d}^{-1}$).

A avaliação do desempenho dos modelos foi feita usada os indicadores estatísticos coeficiente de correlação (r); índice de concordância (d); coeficiente de desempenho (c); erro médio de estimativa (MBE); e, raiz quadrada do quadrado do erro médio de estimativa (RMSE), comparando os valores estimados em relação aos observados de radiação solar global.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Dentre os métodos avaliados (Figura 1), os de Bristow & Campbell e Hargreaves apresentaram valores muito afastado dos medidos pelo piranômetro (R_s observada). Comparando os coeficientes de correlação de Pearson (r) e coeficiente de determinação (r^2), constatou-se que apenas o método de Angstrom apresentou elevada precisão na estimativa da R_s , com valor elevado de r^2 (0,9216), demonstrando que 92,16% dos valores estimados estão correlacionados com os valores medidos de R_s . Ferneda et al. (2014), avaliando diferentes modelos de estimativa da radiação solar para a região do Sinop no Mato Grosso, encontraram para os modelos de Hargreaves e Bristow & Campbell, valores do coeficiente de correlação de 0,84 e 0,51, respectivamente. Esses resultados são superiores ao encontrados no presente trabalho, sendo evidente a necessidade da calibração dos coeficientes das equações localmente.

Tanto o coeficiente de determinação quanto o de correlação trazem apenas informações sobre a precisão dos modelos matemáticos empregados, no entanto não revela a exatidão dos mesmos (PEREIRA et al., 2003; PEREIRA & VILLA NOVA, 2008). Desse modo, por meio da determinação do índice de concordância (d), verificou-se que o modelo de Bristow & Campbell e de Hargreaves apresentaram valores de d da ordem de 0,49 e 0,34, respectivamente, indicando que os valores de R_s estimados foram muito afastados da R_s observada.

O coeficiente de desempenho (c) dos modelos matemáticos foi de 0,21 para o modelo de Bristow & Campbell, 0,23 para Hargreaves e 0,82 para o modelo de Angstrom. Considerando-se o critério de proposto por Camargo & Sentelhas (1997), o desempenho foi péssimo para os métodos de Bristow &

Campbelle Hargreaves, e muito bom para o modelo de Angstrom.

De maneira geral, todos os modelos empregados na estimativa de R_s para condições de Serra Talhada, PE apresentaram tendência à subestimativa. Erros dos métodos variaram de $-1,92 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ a $-14,06 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, quanto ao MBE. Borges et al. (2009), avaliando diferentes modelos de estimativa da radiação solar em Cruz das Almas, BA, também constataram uma tendência de subestimativa da radiação solar quando empregado o modelo de Hargreaves. Por sua vez, o erro para um curto intervalo de tempo foi bem inferior para o método de Angstrom ($\text{RMSE} = 2,82 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$).

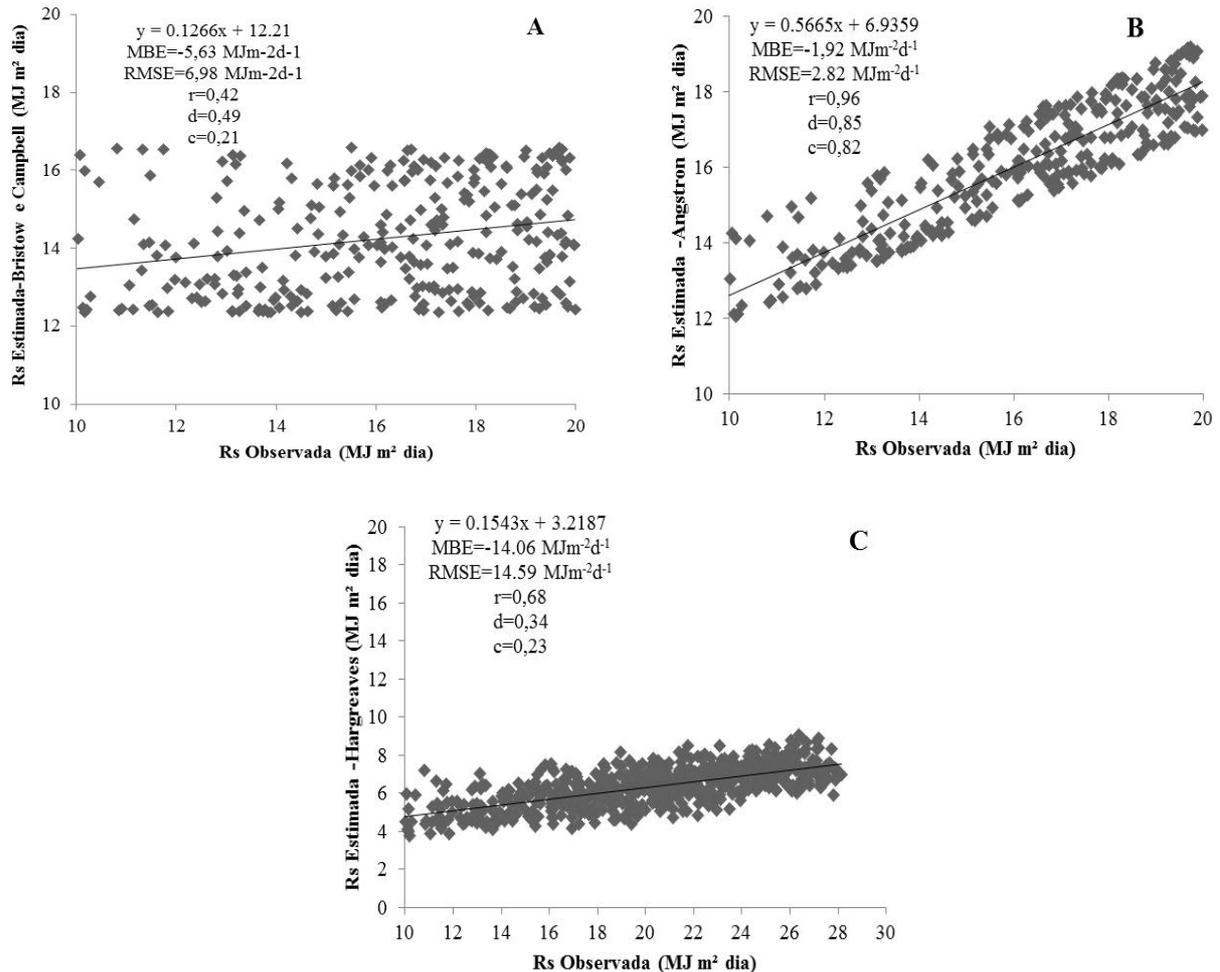


Figura1. Comparação entre a radiação solar global diária observada e a estimada pelos modelos de Bristow & Campbell (A), Angstrom (B) e Hargreaves (C), no município de Serra Talhada, PE.

CONCLUSÕES

O uso dos modelos de Hargreaves e de Bristow & Campbell para Serra Talhada, PE, fica condicionada a calibrações locais dos seus coeficientes. Enquanto, o método de Angstrom pode ser usado no preenchimento de falhas de séries de dados faltosos no município.



XIX Congresso Brasileiro de Agrometeorologia

23 a 28 de agosto de 2015

Lavras – MG – Brasil

Agrometeorologia no século 21:

O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRAHA, M. G., SAVAGE, M. J. Comparison of estimates of dailysolar radiation from air temperature range for application incrop simulations. **Agriculturaland Forest Meteorology**, v.148, p.401-416, 2008.
- BORGES JÚNIOR, J.C.F.; ANJOS, R.J.; SILVA, T.J.A.; LIMA, J.R.S.; ANDRADE, C.L.T. Métodos de estimativa da evapotranspiração de referência diária para a microrregião de Garanhuns, PE. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.16, n.4, p.380–390, 2012.
- CONCEIÇÃO, M.A.F. Evapotranspiração de referência com base na radiação solarglobal estimada pelo método de Bristow-Campbell. **Eng. Agríc., Jaboticabal**, v.30, n.4, p.619-626, 2010.
- FERNEDA, B.G.; OLIVEIRA, A.; SCHIMITT, J.S.; KOELLN, M.F.B.; SOUZA, A.P.. Avaliação de quatro modelos simplificados de estimativa da radiação global horária para a região de Sinop, MT, In: XLIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 2014, Campo Grande-MS. *Anais...* Campo Grande-MS, 2014.
- HARGREAVES, G.H. Responding to tropical climates. In: FOOD AND CLIMATE REVIEW, THE FOOD AND CLIMATE FORUM, Aspen Institute for Humanistic Studies, 1980-1981, Boulder, Colo. Proceedings... Boulder: Aspen Institute for Humanistic Studies, p. 29-32, 1981.
- HUNT, L. A.; KUCHAR, L.; SWANTON, C. J. Estimation of solarradiation for use in crop modeling. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.91, p.293-300, 1998.
- LIU, X. et al. Calibration of the Angstrom-Prescott coefficients(a, b) under different time scales and their impacts in estimatingglobal solar radiation in the Yellow River basin. **Agriculturaland Forest Meteorology**, v.149, p.697-710, 2009.
- MEZA, F., VARAS, E. Estimation of mean monthly solar global radiation as a function of temperature. **Agricultural and Forest Meteorology**, n.100, p.231-241, 2000.
- PEREIRA, A. B.; VILLA NOVA, N. A.; GALVANI, E. Estimation of global solar radiation flux density in Brazil as a function of a single measurement at solar noon. **Biosystems Engineering**, v. 86, n. 1, p. 27-34, 2003.
- PEREIRA, A. B.; VILLA NOVA, N. A. Potato maximum yield as affected by crop parameters and climatic factors in Brazil. **HortScience**, v. 43, n. 5, p. 1611-1614, 2008.
- ROBAA, S.M. Validation of the existing models for estimatingglobal solar radiation over Egypt. **Energy Conversion andManagement**, v.50, p.184-193, 2009.
- TRNKA, M.; EITZINGER, J.; KAPLER, P.; DUBROVSHÝ, M.; SEMERÁDOVÁ, D.; ZALUD, Z.; FORMAYER, H. Effect of estimated daily globalsolar radiation data on the results of crop growth models. **Sensor**, v.7, p.2330-2362, 2007.
- WEISS, A. HAYS, C.J. Simulation of daily solar irradiance. **Agricultural and Forest meteorology**, v.123, p.187-199, 2004.