

Preenchimento de falhas de radiação solar global diária por diferentes métodos – estudo de caso para Piracicaba, SP¹

Fabiani Denise Bender²; Paulo Cesar Sentelhas³

¹ Parte do projeto de tese da primeira autora

² Bacharel em Meteorologia, Doutoranda do PPG em Engenharia de Sistemas Agrícolas, ESALQ-USP, Piracicaba - SP, fabianidenise@gmail.com

³ Eng. Agrônomo, Prof. Associado 3, Departamento de Engenharia de Biosistemas, ESALQ-USP, Piracicaba - SP, pcsentel.esalq@usp.br

RESUMO: O Presente estudo teve como objetivo avaliar diferentes métodos de preenchimento de falhas de radiação solar global diária, tomando-se como estudo de caso a região de Piracicaba, SP. A base de dados meteorológicos (temperatura máxima, temperatura mínima e insolação) observados foi obtida da estação pertencente à ESALQ/USP, em que a radiação solar global observada foi estimada a partir do método proposto por Angström-Prescott. Em decorrência de falhas na base de dados observados procedeu-se a avaliação de diferentes métodos de preenchimento, para o qual foram utilizados: 1) dados diários baseados na estimativa da radiação solar global pelo modelo proposto por Bristow-Campbell (1984) - calibrado para as condições locais; 2) estimativas a partir de satélite, com base em duas fontes: NASA-POWER e AGMERRA, ambos dispostos em ponto de grade, com 1,0 x 1,0° e 0,25 x 0,25° de resolução espacial, respectivamente. A comparação dos dados observados e estimados se deu por meio da análise de regressão e dos seguintes indicadores estatísticos: coeficiente de correlação (r), índice de Willmott (d) e índice de desempenho (c). A regressão linear estabelecida entre as observações e as estimativas do modelo Bristow-Campbell e AGMERRA indicaram um ajuste melhor do que o obtido com as estimativas do NASAPOWER. Segundo os critérios de avaliação do índice “c”, o método de Bristow-Campbell, NASA-POWER e AGMERRA apresentaram índices de 0,79 (muito bom), 0,30 (péssimo) e 0,57 (sofrível). Esses resultados sugerem que as estimativas de radiação pelo modelo Bristow-Campbell são os mais indicados para o preenchimento de falhas em séries de radiação solar global diária. Caso os dados de temperatura também não estejam disponíveis, a opção é empregar os dados de grade provenientes do AGMERRA.

PALAVRAS-CHAVE: Radiação Solar Global, Bristow-Campbell, Dados de Satélite

Filling gaps in daily global solar radiation with different methods – a case study for Piracicaba, SP, Brazil

ABSTRACT: This study aimed to evaluate different methods for filling daily global solar radiation gaps. The observed meteorological database (maximum temperature, minimum temperature and effective sunshine hours) were obtained from the station of ESALQ/USP, located at Piracicaba, SP, Brazil, where the observed global solar radiation was estimated using the method proposed by Angström-Prescott. Due gaps in the observed database a evaluation of different methods was performed for filling these gaps, considering the following methods: 1) daily data based on global solar radiation estimated by the model proposed by Bristow-Campbell (1984) - calibrated for local conditions; 2) estimates from satellite based data of two sources: NASA-POWER and AGMERRA, both grid spaced, with 1.0 x 1.0° and 0.25 x 0.25° of spatial resolution, respectively. The performance of the models was evaluated by regression analysis and the following statistical indices: coefficient of correlation (r);

O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros

Willmott index (d); and performance index (c). Linear regression between observed and estimated data showed that Bristow-Campbell and AGMERRA models performed better to estimated global solar radiation than NASA-POWER. The “c” index for Bristow-Campbell, NASA-POWER and AGMERRA were respectively 0.79 (very good), 0.30 (bad) and 0.57 (poorly). Based on these results, the Bristow-Campbell model is the most recommended for filling gaps of daily solar radiation. However, if the temperature data are also missing, the use of data from AGMERRA can be considered.

KEY WORDS: Global Solar Radiation, Bristow-Campbell, Satellite data

INTRODUÇÃO

A radiação solar apresenta importância vital às plantas, sendo utilizada em inúmeros processos fisiológicos, como no caso da fotossíntese. Além disso, é uma das variáveis meteorológicas de entrada em modelos de simulação de crescimento, desenvolvimento e rendimento de diferentes culturas como é o caso do sistema APSIM (*Agricultural Production Systems Simulator*, MCCOWN et al., 1996), DSSAT (*Decision Support System for Agrotechnology Transfer*, DSSAT, JONES et al., 2003) e MONICA (*Model for Nitrogen and Carbon in Agro-ecosystems*, NENDEL et al., 2011).

Porém, no Brasil as medidas de radiação solar em estações meteorológicas ainda são bastante escassas, em decorrência aos custos de aquisição, manutenção e calibração de equipamentos de medida. Uma alternativa na ausência de medidas de radiação solar é o emprego de relações empíricas por meio de estimativas que utilizem outros elementos meteorológicos presentes nas estações e que sejam de fácil aquisição, ou a utilização de dados estimados por satélite, procedimento que vem sendo recomendado por diversos autores (RUANE et al., 2015). Nesse sentido, o presente estudo objetiva avaliar diferentes métodos como alternativa ao preenchimento de falhas de radiação solar global diária.

MATERIAIS E MÉTODOS

Este estudo foi realizado para Piracicaba-SP, a partir da base de dados meteorológicos de temperatura máxima, temperatura mínima e insolação diária pertencentes a ESALQ/USP, localizada a latitude de 22° 42' sul e longitude de 47° 38' oeste, e a 546 m de altitude.

Os dados de radiação solar global observada foram estimados a partir do método proposto por Angström-Prescott (1924, 1940) (AP), um dos primeiros métodos de estimativa de radiação solar baseado em medidas de insolação.

Como alternativa às falhas na base de dados observados, propôs-se a avaliação de diferentes métodos de preenchimento, para o qual foram utilizados: 1) dados diários de temperatura para a estimativa da radiação solar global pelo modelo proposto por Bristow-Campbell (1984) (BC) - calibrado para as condições locais; 2) estimativas a partir de satélite, com base em duas fontes: NASA-POWER (PINKER e LASZLO, 1992) e AGMERRA (RUANE et al., 2015), ambos dispostos em ponto de grade, com 1,0 x 1,0° e 0,25 x 0,25° de resolução espacial, respectivamente.

Na Tabela 1 estão sumarizados os modelos de estimativa aplicados. Sendo que para o modelo de AP foram utilizados os coeficientes “a” e “b” determinados por Glover e McCulloch (1958).

Tabela 1: Equações dos modelos de estimativa da radiação solar global empregados na estimativa para as condições locais.

Modelo	Equação	Coefficientes	Fontes
AP	$Q_g = Q_0 \cdot \left(a + b \cdot \left(\frac{n}{N} \right) \right)$	a, b	Angstron (1924); Prescott (1940)
BC	$Q_g = a \cdot (1 - \exp(-b \cdot \Delta T)^c) \cdot Q_0$	a, b, c	Bristow e Campbell (1984)

em que, Q_g - irradiância terrestre global (MJ/m².dia); Q_0 - irradiância solar extraterrestre (MJ/m².dia); n é a medida de insolação (horas); N é o fotoperíodo (horas); ΔT - Diferença entre a temperatura máxima e mínima do dia (°C); a, b e c são os coeficientes de ajuste; sendo o coeficiente “a” do modelo BC determinado de acordo com a equação $a = 0,75 + 2 \times 10^{-5} \cdot Alt$ - Allen et al.(1997).

Os valores de Q_0 , foram determinados de acordo com as equações 1 a 4 (PEREIRA et al., 2010):

$$Q_0 = 37,6 \cdot \left(\frac{d}{D} \right)^2 \cdot \left[\left(\frac{\pi}{180} \right) \cdot h_n \cdot \sin \phi \cdot \sin \delta + \cos \phi \cdot \cos \delta \cdot \sin h_n \right] \quad (1)$$

em que, $(d/D)^2$ é a distância relativa entre a Terra e o Sol; h_n é o ângulo horário do nascer do Sol; ϕ a latitude do local e δ a declinação solar, em graus.

$$\left(\frac{d}{D} \right)^2 = 1 + 0,033 \cdot \cos \left(\frac{NDA \cdot 360}{365} \right) \quad (2)$$

em que, NDA é o número do dia do ano (dia juliano) – variando de 1 a 365.

$$h_n = \arccos \left[-\tan \phi \cdot \tan \delta \right] \quad (3)$$

$$\delta = 23,45 \cdot \sin \left[\frac{360(NDA - 80)}{365} \right] \quad (4)$$

Os coeficientes do modelo de BC foram ajustados para as condições locais, sendo utilizados dois anos de dados para a calibração (2007 e 2008) e outro período também de dois anos (2009 e 2010) para a validação dos coeficientes de ajuste, obtidos a partir do método dos mínimos quadrados da diferença entre os valores observados e estimados, o qual minimiza a soma do erro quadrático.

Uma vez obtidos os coeficientes de ajustes, estes foram utilizados para gerar a série de radiação solar estimada. As estimativas obtidas tanto pelo método de BC quanto as estimativas baseadas em dados de satélite, foram comparadas aos valores medidos utilizando-se os parâmetros da equação de regressão (a e b), os coeficientes de determinação (r^2) e de correlação (r), o índice de concordância de Willmott (d) (WILLMOTT, 1982), o coeficiente de confiança ou desempenho (c) desenvolvido por Camargo e Sentelhas (1997) e ainda o erro médio (EM) e erro médio absoluto (EMA).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 1, é apresentada a relação entre radiação solar global observada e estimada pelo método de Bristow-Campbell e disponibilizada pelos sistemas NASA-POWER e AGMERRA.

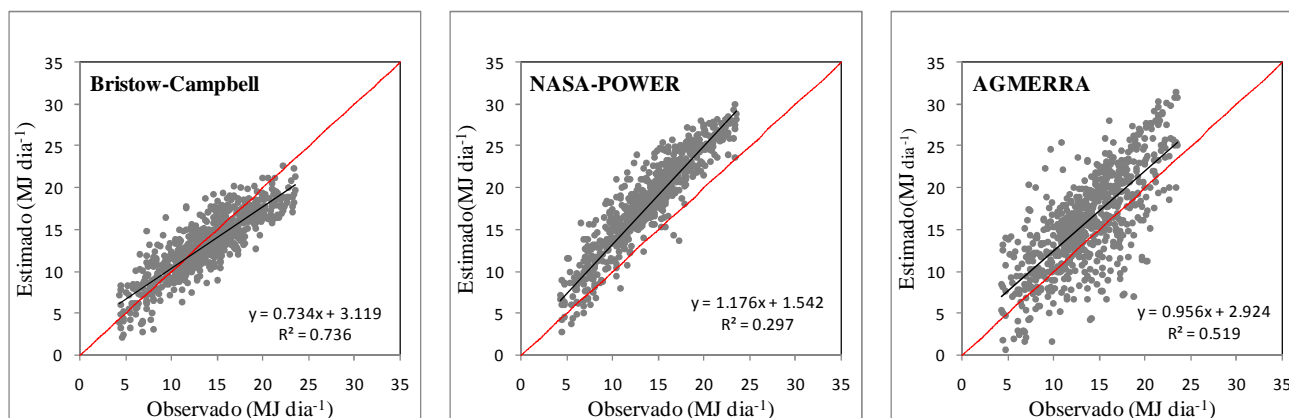


Figura 1. Relação entre a radiação solar global observada e estimada pelo modelo de Bristow-Campbell e disponibilizadas pelos sistemas NASA-POWER e AGMERRA para Piracicaba, SP, nos anos de 2009 e 2010.

A regressão linear estabelecida entre as observações e as estimativas do modelo Bristow-Campbell e AGMERRA indicaram um ajuste melhor do que o obtido com as estimativas do NASA-POWER. De acordo com a Tabela 2, segundo os critérios de avaliação do índice “c”, o método de Bristow-Campbell, NASA-POWER e AGMERRA apresentaram os seguintes valores: 0,79 (muito bom); 0,30 (péssimo); e 0,57 (sofrível). As estimativas com relação aos dados do NASA-POWER apresentaram valores mais distantes aos observados de modo a apresentar os maiores valores de EAM, associados a uma superestimativa de 3,93 e, portanto menor índice de concordância (0,54).

Tabela 2. Índices estatísticos de avaliação das estimativas de radiação solar global para Piracicaba-SP.

Modelo	a	b	r ²	r	d	c	EM	EAM
Bristow-Campbell	3,12	0,73	0,74	0,85	0,91	0,78	-0,49	1,75
NASA-POWER	1,54	1,18	0,30	0,54	0,54	0,29	3,93	4,92
AGMERRA	2,92	0,96	0,52	0,72	0,78	0,56	2,32	3,77

CONCLUSÕES

Os resultados obtidos sugerem que as estimativas de radiação pelo modelo Bristow-Campbell são os mais indicados para o preenchimento de falhas em séries de radiação solar global diária. Caso os dados de temperatura também não estejam disponíveis, a opção é empregar os dados de grade provenientes do AGMERRA.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN R. Self-calibrating method for estimating solar radiation from air temperature. **Journal of Hydrologic Engineering**; 2:56–67, 1997.

ANGSTRON, A. Solar and terrestrial radiation. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, Oxford, v. 50, n. 4, p. 121-6, 1924.

BRISTOW, K. L.; CAMPBELL, G. S. On the relationship between incoming solar radiation and daily maximum and minimum temperature. **Agricultural and Forest Meteorology**, Philadelphia, v. 31, p. 159 – 166, 1984.

CAMARGO, A.P.; SENTELHAS, P.C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.5, n.1, p.89-97, 1997.

GLOVER, J.; McCULLOCH, J. S. G. The empirical relation between solar radiation and hours of sunshine. *The Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, v.84, p.172- 175, 1958.

JONES, J., HOOGENBOOM, G., PORTER, C., BOOTE, K., BATCHELOR, W., HUNT, L., WILKENS, P., SINGH, U., GIJSMAN, A. and RITCHIE, J. 2003. The DSSAT cropping system model. **European Journal of Agronomy**. 18, 235-265.

MCCOWN, R. L.; HAMMER, G. L.; HARGREAVES, J. N. G.; HOLZWORTH, D. P. and FREEBAIRN, D. M. APSIM: a novel software system for model development, model testing and simulation in agricultural systems research. **Agricultural Systems**, v. 50, p. 255-271, 1996.

NENDEL, C., BERG, M., KERSEBAUM, K.C., MIRSCHEL, W., SPECKA, X., WEGEHENKEL, M., WENKEL, K.O., WIELAND, R., 2011. The MONICA model: testing predictability for crop growth, soil moisture and nitrogen dynamics. *Ecological Modelling* 222, 1614–1625.

PEREIRA, A. M. A. R.; PINHO, R. G. V.; PAGLIS, C. M.; PEREIRA, J. L. A.R; FALQUETO, T. Eficiência do modelo DSSAT/CSM-CERES-Maize na simulação do desempenho de híbridos de milho. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 57, n. 4, p. 486-493, jul./ago. 2010.

PINKER, R.; T. I. LASZLO. Modeling surface solar irradiance for satellite applications on a global escale. **Journal of Applied Meteorology**. v. 31, p. 194-211, 1992. Doi: 10.1175/1520-0450(1992)0312.0.CO;2.

PRESCOTT, J.A. Evaporation from a water surface in relation to solar radiation. **Transactions of the Royal Society of South Australia**, 64:114-118, 1940.

RUANE, A.C.; GOLDBERG, R.; CHRYSSANTHACOPOULOS, J. AgMIP climate forcing datasets for agricultural modeling: Merged products for gap-filling and historical climate series estimation, **Agricultural and Forest Meteorology**, 200, 233-248, 2015. Doi:10.1016/j.agrformet.2014.09.016.

WILLMOTT, C. J. Some comments on the evaluation of model performance. **Bulletin of the American Meteorological Society**, Lancaster, v.63, n.11, p.1309-1313, 1982.