

# AVALIAÇÃO DO MODELO DE BRISTOW & CAMPBELL NA ESTIMATIVA, MÉDIA MENSAL, DOS TOTAIS DIÁRIOS DA IRRADIAÇÃO SOLAR GLOBAL PARA O VALE DO RIO DOCE, MINAS GERAIS<sup>1</sup>

Maria José Hatem de Souza<sup>2</sup>, Aristides Ribeiro<sup>3</sup>, Fernando Palha Leite<sup>3</sup>  
Givanildo de Gois<sup>4</sup>

**ABSTRACT** - The performance of the Bristow & Campbell model in estimating the monthly average daily totals of the global solar irradiation ( $R_g$ ) was evaluated. The used data are concerning to the period from June 2000 to September 2004, and proceeded from five meteorological stations in the Rio Doce valley - MG: Belo Oriente, Coqueiro, Lagoa Grande, Barão de Cocais and Cataquinho, that belong to the Empresa Florestal Celulose Nipo-Brasileira (CENIBRA). The model performance was evaluated, by using the coefficients originally proposed by Bristow & Campbell, the annual adjusted B coefficient and the monthly adjusted B coefficient. The best results were obtained for Belo Oriente, whereas the worst ones for Coqueiro. For Belo Oriente, Lagoa Grande, and Barão de Cocais,  $R^2$  was above 0.80 and RMSE (root mean square error) below  $2 \text{ MJ m}^{-2}\text{day}^{-1}$ .

## INTRODUÇÃO

Estudos com relação à disponibilidade de totais diários médios mensais da irradiação solar global são importantes no planejamento agrícola, uma vez que esta variável é fundamental para a determinação do saldo de radiação, e para a estimativa da evapotranspiração de uma determinada cultura.

Para vários locais dados de irradiação solar global ( $R_g$ ) obtidos por instrumentos, como os piranômetros ou actinógrafos, são inexistentes, entretanto, existem muitas estações meteorológicas, que não medem esta variável, mas que possuem registros de outras medições - como as de insolação, precipitação, umidade relativa, temperatura as quais podem estimar indiretamente este elemento meteorológico.

Várias localidades não possuem registros históricos de insolação diária, na tentativa de sanar esta limitação alguns pesquisadores correlacionaram a  $R_g$  com outras variáveis meteorológicas, ou seja: com a precipitação, com a cobertura do céu, com a temperatura, dentre outras variáveis meteorológicas mais comumente mensuráveis.

Bristow & Campbell (1984) desenvolveram um modelo empírico que estima a irradiação solar global ( $R_g$ ) a partir da temperatura máxima ( $T_x$ ) e mínima ( $T_n$ ) do ar e da irradiação solar no topo da atmosfera ( $R_0$ ).

Alguns autores testaram o modelo Bristow & Campbell, como: Meza & Varas (2000) para várias localidades do Chile; Liu & Scott (2001) para 39 locais na Austrália; Thornton & Running (1999) em 40 estações nos Estados Unidos; Ferronato et al. (2003) em Santo Antonio de Leverger, no estado do Mato Grosso; Queiroz et al. (2000) para Pelotas, no estado do Rio Grande do Sul.

Tais métodos tem sido de grande valia em vários estudos quando não se dispõem de dados

medidos de irradiação solar global, nem de insolação, nas estações meteorológicas.

Por esta razão este trabalho teve como objetivo avaliar a desempenho do modelo de Bristow & Campbell em cinco localidades do Vale do Rio Doce - MG.

## MATERIAL E MÉTODOS

Utilizaram-se dados de irradiação solar global, de temperatura do ar de cinco localidades situadas na região do Vale do Rio Doce, Minas Gerais. Estes dados foram obtidos em cinco estações meteorológicas automáticas, sendo estas pertencentes à Empresa Florestal Celulose Nipo-Brasileira - CENIBRA. Na Tabela 1 são apresentadas essas estações, bem como sua localização geográfica.

Empregaram-se, nesse estudo, dados referentes ao período de junho de 2000 a setembro de 2004 para as estações de Lagoa Grande, Cataquinho, Barão de Cocais, e de junho de 2001 a setembro de 2004 para as estações de Coqueiro e de Belo Oriente.

Tabela 1. Localização geográfica das estações meteorológicas utilizadas no estudo

Local	Latitude	Longitude	Altitude m
	Sul	Oeste	
Lagoa Grande	18°40'	42°55'	1012
Cataquinho	18°42'	42°29'	1015
Barão de Cocais	19°29'	42°52'	1273
Belo Oriente	19°17'	42°23'	233
Coqueiro	18°33'	43°10'	993

Adotou-se a metodologia proposta por Bristow & Campbell (1984) para estimativa da irradiação solar global ( $R_g$ ) incidente na superfície terrestre em função da irradiação no topo da atmosfera ( $R_0$ ) e da variação de temperatura máxima e mínima do ar ( $\Delta T$ ), conforme a equação:

$$R_g = R_0 A \left[ 1 - \text{EXP} \left( B \Delta T^C \right) \right] \quad (1)$$

em que, as constantes empíricas são:  $A = 0,7$ ,  $B = 0,007$  (valor médio entre 0,004 e 0,010) e  $C = 2,4$ , sendo estes os coeficientes citados na literatura. O parâmetro "A" representa a irradiação máxima em um dia de céu claro e os parâmetros "B" e "C" são os controladores da variação de "A", caso ocorra aumento na diferença de temperatura. A variação da temperatura foi calculada pela equação:

$$\Delta T = T_x - \frac{(T_n + T_{n+1})}{2} \quad (2)$$

em que,  $T_x$  é a temperatura máxima do dia ( $^{\circ}\text{C}$ ),  $T_n$  é a temperatura mínima do dia ( $^{\circ}\text{C}$ ) e  $T_{n+1}$  é a temperatura mínima do dia posterior ( $^{\circ}\text{C}$ ).

<sup>1</sup> Trabalho parcialmente financiado pela Coodenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES)

<sup>2</sup> Doutora, Bolsista ProDoc, CAPES, Departamento de Engenharia Agrícola, DEA, Universidade Federal de Viçosa, UFV, Viçosa - MG, 31 3899 2729, cep: 36571-000, [mjhatem@ufv.br](mailto:mjhatem@ufv.br)

<sup>3</sup> Doutor, Professor, DEA, UFV, Viçosa - MG, 31 3899 1906, CEP: 36571-000, [ribeiro@ufv.br](mailto:ribeiro@ufv.br)

<sup>3</sup> Doutor, Pesquisador, Empresa Celulose Nipo Brasileira S. A. - CENIBRA, 31 3829 5017, [fernando.palha@cenibra.com.br](mailto:fernando.palha@cenibra.com.br)

<sup>4</sup> Meteorologista, mestrando em Meteorologia Agrícola, DEA, UFV. , [givanildogois@hotmail.com](mailto:givanildogois@hotmail.com)

A irradiação solar no topo da atmosfera ( $R_o$ ) foi obtida conforme a metodologia apresentada por Iqbal (1983).

Estimou-se primeiro a  $R_g$ , para as cinco localidades, empregando os valores dos coeficientes A, B e C sugeridos originalmente por Bristow & Campbell.

Posteriormente ajustou-se o modelo de Bristow & Campbell fixando os valores dos coeficientes A e C e calculando-se o valor do B médio. Para tal utilizou-se da seguinte metodologia com o intuito de minimizar o erro:

- Calculou-se a transmitância atmosférica diária ( $\tau$ ), ou seja, a razão entre  $R_g$  e  $R_o$  e a variação da temperatura diária ( $\Delta T$ ), equação 2.
- De posse dos valores diários de  $\tau$  e de  $\Delta T$  calcularam-se os valores médios mensais, sendo assim possível estimar o valor médio de B, para cada mês em estudo. Finalmente calculou-se o valor médio anual de B para cada localidade. O cálculo de B foi efetuado de acordo com a seguinte equação:

$$B = \frac{\ln\left(1 - \frac{\tau}{A}\right)}{\Delta T^c} \quad (3)$$

sendo o  $\tau$  e  $\Delta T$  valores médios para cada mês envolvido neste estudo. Utilizando o valor médio de B para cada localidade estimou-se a  $R_g$ .

Na tentativa de melhorar ainda mais a performance deste modelo estimou-se a  $R_g$  utilizando o coeficiente B médio mensal.

Para avaliar o desempenho da estimativa da  $R_g$  calculou-se o  $R^2$ , o erro percentual (E%), em %, o erro médio (EM) e o erro padrão de estimativa (EPE), em  $\text{MJ.m}^2.\text{dia}^{-1}$ .

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Verifica-se na Tabela 1 que, na estimatização média mensal da irradiação solar global diária, para a localidade Belo Oriente e Lagoa Grande obteve-se boa correlação, entre os valores estimados e observados de  $R_g$ . Para as outras três localidades não se verificou uma boa correlação. Para Belo Oriente o coeficiente de correlação,  $R^2$ , foi de 0,85, e o coeficiente  $a_1$  foi 0,84; enquanto para Lagoa Grande o  $R^2$  foi 0,61 e  $a_1$  1,06. Para estas duas localidades o EPE foi de 3,40 e 2,07  $\text{MJ.m}^2.\text{dia}^{-1}$ , respectivamente. Ainda nesta tabela verifica-se que o modelo de B&C superestimou a  $R_g$  em Belo Oriente e subestimou nas outras localidades.

Tabela 1. Coeficiente de determinação,  $R^2$ , coeficientes de inclinação da reta obtida entre os dados estimados e observados,  $a_1$ , erro percentual médio, E%, erro médio, EM, e erro padrão de estimativa, EPE, obtidos utilizando os coeficientes propostos originalmente por Bristow & Campbell, na estimatização da  $R_g$  diária, média mensal, para as localidades em estudo

local	$R^2$	$a_1$	E% %	EM $\text{MJ.m}^2.\text{dia}^{-1}$	EPE $\text{MJ.m}^2.\text{dia}^{-1}$
Belo Oriente	0,85	0,84	19,63	3,17	3,40
Coqueiro	0,00	1,09	-13,98	-2,29	4,31
Lagoa Grande	0,61	1,06	-8,77	-1,23	2,07
Barão de Cocais	0,00	1,19	-22,57	-2,99	3,84
Cataquinho	0,15	1,09	-11,91	-1,74	3,00

Ao utilizar o coeficiente B anual ajustado à estimativa da  $R_g$  observam-se uma diminuição nos erros e que a inclinação da reta ficou mais próxima da unidade, apesar do  $R^2$  ter diminuído (Tabela 2). Mas

para a estimatização da  $R_g$  empregando os valores médios mensais ajustados do coeficiente B (Tabela 3) verifica-se uma melhora na correlação dos dados estimados com os observados para Belo Oriente ( $R^2 = 0,92$ ), Lagoa Grande ( $R^2$  de 0,85), Barão de Cocais ( $R^2 = 0,81$ ) e para Cataquinho ( $R^2$  de 0,56). Para estas mesmas localidades os valores obtidos de  $a_1$  variaram de 0,99 a 1,03 e o EPE foi inferior a  $2 \text{ MJ.m}^2.\text{dia}^{-1}$ . Já para a localidade de Coqueiro não verificou-se correlação entre os dados observados e estimados da  $R_g$ . Provavelmente os resultados não muito satisfatórios obtidos para algumas localidades tenham sido devido à limitação do período restrito da série histórica dos dados disponível para este estudo.

Tabela 2.  $R^2$ ,  $a_1$ , E%, EM, e EPE, obtidos utilizando o coeficiente B anual ajustado, na estimatização da  $R_g$  para as localidades em estudo

local	$R^2$	$a_1$	E% %	EM $\text{MJ.m}^2.\text{dia}^{-1}$	EPE $\text{MJ.m}^2.\text{dia}^{-1}$
Belo Oriente	0,60	1,03	-2,55	-0,55	1,95
Coqueiro	0,00	0,93	2,385	0,42	3,64
Lagoa Grande	0,67	0,99	-1,94	-0,18	1,72
Barão de Cocais	0,00	0,91	3,67	0,71	3,08
Cataquinho	0,33	0,96	0,94	0,24	2,53

Tabela 3.  $R^2$ ,  $a_1$ , E%, EM, e EPE, obtidos utilizando os coeficientes B médios mensais ajustados, na estimatização da  $R_g$  para as localidades em estudo

local	$R^2$	$a_1$	E% %	EM $\text{MJ.m}^2.\text{dia}^{-1}$	EPE $\text{MJ.m}^2.\text{dia}^{-1}$
Belo Oriente	0,93	1,03	-3,38	-0,52	0,94
Coqueiro	0,00	1,02	-3,43	-0,56	2,03
Lagoa Grande	0,86	1,04	-3,39	-0,58	1,27
Barão de Cocais	0,82	1,02	-1,59	-0,26	1,04
Cataquinho	0,56	0,99	-0,53	-0,14	1,97

## REFERÊNCIAS

- Bristow, K. L., Campbell, G. S. On the relationship between incoming solar radiation and daily maximum and minimum temperature. *Agricultural and Forest meteorology*. 31, p.159-166, 1984.
- Ferronato, A., Campelo Júnior, J. H., Bezerra, E. L., Mendonça. Estimativa da radiação solar global baseada em medidas de temperatura do ar. In XIII CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, Anais..., Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2003. CD-ROOM.
- Iqbal, M. An introduction to solar radiation. New York: Academic Press, 1983. 390p.
- Liu, D.L., Scott, B.J. Estimation of solar radiation in Australia from rainfall and temperature observations. *Agricultural and Forest meteorology*. 106, p.41-59, 2001.
- Meza, F., Varas, E. Estimation of monthly solar global radiation as a function of temperature. *Agricultural and Forest meteorology*. 100, p.231-241, 2000.
- Queiroz, M.R., Nogueira, C.B.R., Assis, S. V. Avaliação de um método empírico para estimativa da radiação solar global – Modelo de BRISTOW – CAMPBELL. In: XI CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, Anais..., Rio de Janeiro –RJ, 2000. 1 CD-ROOM.
- Thornton, P.E., Running, S.W. An improved algorithm for estimating daily solar radiation from measurements of temperature, humidity, and precipitation. *Agricultural and Forest meteorology*. 93, p.211-228, 1999.