

ESTIMATIVA DA IRRADIAÇÃO SOLAR GLOBAL COM BASE NA TEMPERATURA DO AR PARA REGIÃO DE PÃO DE AÇÚCAR – AL

CÍCERO M. DOS SANTOS¹, JOSÉ LEONALDO DE SOUZA¹, CHIGUERU TIBA², RICARDO A. FERREIRA JUNIOR¹, GUSTAVO BASTOS LYRA³, KETSON R. M. DOS SANTOS⁴, FRANKLIN ALVES DOS ANJOS¹, KLEBSON S. BRITO¹

1- Laboratório de Agrometeorologia e Radiometria Solar, Inst. de Ciências Atmosféricas, UFAL, Maceió – AL, Fone: (0xx82) 3214-1368, ciceromanoel2007@gmail.com.

2- Universidade Federal de Pernambuco, Grupo FAE/UFPE.

3- Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

4- Laboratório de Computação Científica e Visualização, UFAL, Maceió – AL.

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

RESUMO: Neste estudo, o modelo empírico proposto por Bristow e Campbell (1984), tendo como parâmetro de entrada a temperatura máxima e mínima do ar, é calibrado para estimar a irradiação solar global diária e mensal para a região de Pão de Açúcar (9°44'48,1"S, 37°26'15,1"W e 46m). Para calibrar e validar o modelo, foram utilizados dados entre os anos de 2007 e 2009. Dois regimes de ΔT são considerados. O desempenho do modelo calibrado é analisado por meio de testes de erros estatísticos, como erro absoluto médio de previsão 'MABE', raiz quadrada do erro quadrático médio 'RMSE', coeficiente de correlação 'r' e o índice de Willmont 'd'. Os resultados mostram que o modelo pode estimar a irradiância solar global diária e mensal, para a região de Pão de Açúcar, com uma boa precisão. Os melhores resultados foram encontrados para a média mensal, com o coeficiente de correlação ($r = 0,978$), índice de Willmont ($d = 0,975$), apresentando $RMSE = 1,231 \text{ MJ/m}^2/\text{dia}$ e $MABE = 0,994 \text{ MJ/m}^2/\text{dia}$.

PALAVRAS-CHAVE: irradiação solar global, energia renovável, Bristow e Campbell.

ESTIMATION OF GLOBAL SOLAR IRRADIATION BASED ON THE TEMPERATURE OF AIR TO THE REGION OF PÃO DE AÇÚCAR - AL

ABSTRACT: In this study, the empirical model proposed by Bristow and Campbell (1984), taking as input parameter the maximum temperature and minimum of air, is calibrated to estimate the daily and monthly global solar irradiation for the region of Pão de Açúcar (9° 44'48,1"S, 37° 26'15, 1" W, 46m). To calibrate and validate the model, we used data from the years 2007 and 2009. Two regimes of ΔT are considered. The performance of the calibrated model is analyzed using tests of statistical errors, such as mean absolute error of prediction 'MABE', root mean squared error 'RMSE', correlation coefficient 'r' and the index of Willmont 'd'. The results show that the model can estimate the daily and monthly global solar irradiation, for the region of Pão de Açúcar, with good accuracy. The best results were found for the monthly average, with the correlation coefficient ($r = 0,978$), index of Willmont ($d = 0,975$), with $RMSE = 1,231$ and $\text{MJ/m}^2/\text{dia}$ $MABE = 0,994 \text{ MJ/m}^2/\text{dia}$.

KEYWORDS: global solar irradiation, renewable energy, Bristow e Campbell

INTRODUÇÃO: A componente global da irradiância solar que chega a superfície da terra é de suma importância para diversas aplicações (infraestrutura e indústria da construção, estimativa de produtividade agrícola, ambiente e investigações agrometeorológicas e processos meteorológicos e climáticos), além sua utilização como recurso em energia renovável (Tymvios, 2005). Apesar de sua importância, a radiação solar é pouca medida em comparação com a variável meteorológica temperatura do ar, precipitação, umidade relativa do ar e velocidade do vento. A necessidade do conhecimento da irradiância solar incidente em uma superfície induziu a criação de modelos empíricos que estimam essa energia com base em variáveis medidas nas estações meteorológicas de diversas zonas climáticas. As variáveis meteorológicas mais comumente utilizadas como entradas desses modelos são: temperatura do ar (Bristow e Campbell, 1984; Hargreaves e Samani, 1982), pressão de vapor d'água do ar (Trabeaa, 2000), duração do brilho solar (Prescott, 1940). Há ainda modelos que simplesmente utilizam como variáveis de entrada o dia do ano. Casos típicos são os modelos de Bulut (2003) e Al-Salaymeh (2006). Tendo em vista ser a temperatura do ar a variável mais facilmente medida em comparação com a irradiância solar, o presente trabalho objetiva estimar a irradiância solar global diária e mensal para a região de Pão de Açúcar - AL, utilizando um modelo matemática que tem como dados de entrada a temperatura do ar.

MATERIAL E MÉTODOS: Para o desenvolvimento deste trabalho utilizou-se dados meteorológicos de temperatura do ar e irradiância solar global diária e média mensal, obtidos de uma estação meteorológica automática localizada na região de Pão de Açúcar - AL (9°44'48,1"S, 37°26'15,1"W e 46m), no período de 2007 a 2009. Esta fica localizada no Sertão do Baixo São Francisco, sendo caracterizada por um clima árido, megatérmico com déficit hídrico no verão e nenhum excesso de água no inverno, com temperatura média anual do ar variando a uma mínima de 22°C e uma máxima de 33°C. O calor sensível é responsável pela variação da temperatura, assim, é possível obter uma relação matemática entre as diferenças de temperatura e a radiação solar, pois a temperatura é um reflexo do balanço de radiação. Essa ideia baseou-se na possibilidade de se encontrar uma relação entre o calor sensível, calor latente e a razão de Bowen. Usando este argumento, Bristow e Campbell (1984), sugeriram uma relação para a irradiância solar global diária (R_g), como função da radiação solar no topo da atmosfera (R_a) e a diferença entre as temperaturas máximas e mínimas do ar (ΔT (°C)),

$$R_g = R_a \times A \times [1 - \exp(-B \times \Delta T^C)] \quad (1)$$

em que A, B e C são coeficientes que possuem algum significado físico. A, representa a máxima transmitância (característica da área de estudo) para céu claro. B e C determinam como o A ocorre como aumento do ΔT , variando entre ambientes úmidos e áridos. Para obter os coeficientes empíricos da equação 1, foi desenvolvido um programa na linguagem de programação MatLab. Dados dos anos entre 2007-2009 foram utilizados para calibrar e validar o modelo. Na validação foi escolhido um período diferente daquele utilizado na calibração. Para os valores de ΔT , utilizou-se duas metodologias distintas, a proposta por Bristow e Campbell (1984) e a tradicional, respectivamente, equações 2 e 3,

$$\Delta T_1 = T_{max}(i) - \frac{[T_{min}(i) + T_{min}(i+1)]}{2} \quad (2)$$

$$\Delta T_2 = T_{max}(i) - T_{min}(i) \quad (3)$$

em que, $T_{\max}(i)$, $T_{\min}(i)$ e $T_{\min}(i+1)$, representam a temperatura do ar do dia atual e do dia posterior, respectivamente. Na estimativa mensal, utilizaram-se as temperaturas do ar máxima e mínima mensal e a média diária mensal da irradiância solar global. Na avaliação do desempenho do modelo, utilizou-se o erro absoluto médio de previsão ‘MABE’, a raiz quadrada do erro quadrático médio ‘RMSE’ (indica o erro da estimativa), o coeficiente de correlação ‘r’ (concordância) e o índice de Willmont ‘d’ (indica a precisão da estimativa),

$$MABE = \frac{\sum_{i=1}^n |R_e - R_m|}{n} \quad (4)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (R_e - R_m)^2}{n}} \quad (5)$$

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (R_e - R_E) \times (R_m - R_M)}{\sqrt{[\sum_{i=1}^n (R_e - R_E)^2] \times [\sum_{i=1}^n (R_m - R_M)^2]}} \quad (2)$$

$$d = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^n (R_m - R_e)^2}{\sum_{i=1}^n (|R_e - R_M| + |R_m - R_M|)^2} \right] \quad (4)$$

em que, R_e , R_m , R_E e R_M são os valores da irradiação solar global estimada, medida, média estimada e média medida, respectivamente e n é o número de observações.

RESULTADOS E DISCUSSÕES: Os coeficientes determinados para o modelo 1, utilizando dados diários e mensais para a região de Pão de Açúcar, com o uso de ΔT_1 e ΔT_2 , são os que constam na Tabela 1. O coeficiente A, que representa transmitância máxima de irradiância, apresentou maiores valores diário. Isto é explicado, devido a ocorrência de céu claro com maior frequência. De modo geral, os valores para o erro mensal variaram entre 3,6 e 7,5. As duas maneiras distintas de ΔT 's, utilizadas na geração dos coeficientes, indicaram pequenas diferenças entre os valores. A temperatura do ar máxima registrada no período de estudo foi de 39,1°C e a mínima de 17,84 °C, como pode ser visto na Figura 1.

Tabela 1. Coeficientes gerados pelo modelo1 para região de Pão de Açúcar e seus respectivos erros em função de duas amplitudes térmicas (ΔT_1 e ΔT_2) de temperatura do ar.

		Coeficientes			Erros Estatísticos		
		A	B	C	A	B	C
Diária	$\Delta T1$	0,847	0,091	1,147	0,074	0,017	0,153
	$\Delta T2$	0,844	0,079	1,207	0,077	0,017	0,166
Mensal	$\Delta T1$	0,685	0,042	1,726	0,038	0,043	0,555
	$\Delta T2$	0,684	0,038	1,769	0,036	0,039	0,549

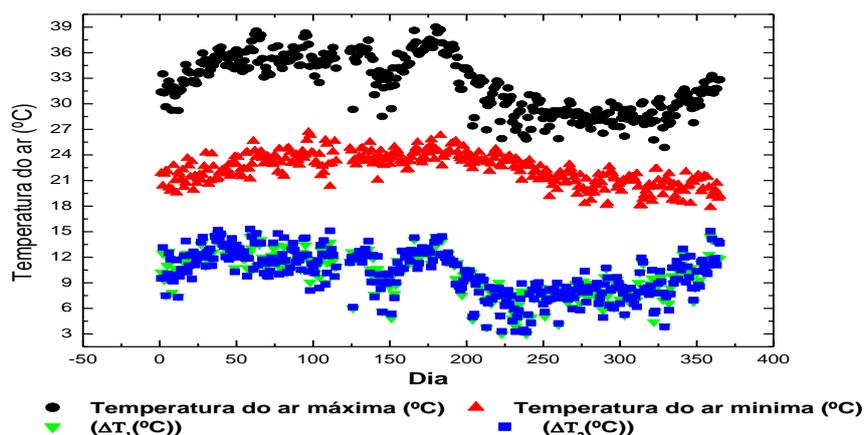


Figura 1. Temperatura do ar máxima, mínima, ΔT_1 e ΔT_2 para a região de Pão de Açúcar, no período de Outubro de 2008 a Setembro de 2009.

Os valores dos coeficientes gerados para a região de Pão de Açúcar não mostraram muitas diferenças pelo uso de ΔT_1 ou ΔT_2 . Isto é explicado pelo fato dessa região ser tropical (sertão árido de Alagoas), onde não é comum advecção de grande escala conforme pontuou Bristow e Campbell (1984). Os valores dos coeficientes para a região de Pão de Açúcar são diferentes dos encontrados por X. Liu et al., (2009) para a província de Haerbin, na china, indicando a necessidade de calibração desse modelo com dados locais. Na Tabela 2, mostram-se os erros estatísticos obtidos pela comparação dos valores medidos e estimados. Os valores encontrados para MABE e RMSE variaram de 0,994 – 2,779 MJ/m²dia. Quanto mais próximos de zero estiverem os valores de MABE e RMSE, melhor será o desempenho do modelo. O coeficiente de correlação ‘r’ e o índice de Willmont ‘d’ mostraram resultados satisfatórios entre os valores medidos e os estimados. Pela Tabela 2, os melhores valores de ‘r’ e ‘d’, foram para as médias mensais, tendo 0,978 e 0,975, para ‘r’ e ‘d’, respectivamente.

Tabela 2. Erros estatísticos obtidos comparando os valores medidos com os estimados, utilizando o modelo 1, para a região de Pão de Açúcar em função de duas amplitudes térmicas (ΔT_1 e ΔT_2) de temperatura do ar.

		MABE (MJ/m ² dia)	RMSE (MJ/m ² dia)	r	d
Diária	ΔT_1	2,182	2,765	0,852	0,919
	ΔT_2	2,200	2,779	0,852	0,920
Mensal	ΔT_1	1,025	1,251	0,978	0,974
	ΔT_2	0,994	1,231	0,977	0,975

Pela Figura 2, é possível verificar a dispersão entre os valores calculados e os medidos, utilizando as duas formas distintas de ΔT , com os totais diários e a média mensal. A Figura 2b), por exemplo, mostra que a regressão linear encontrada utilizando ΔT_2 , pode estimar R_g com um coeficiente de determinação $R^2 = 0,755$. Mas o melhor valor encontrado para o coeficiente de determinação foi para a média mensal, com base no ΔT_2 , onde encontramos $R^2 = 0,956$, concordando com Meza e Varas (2000).

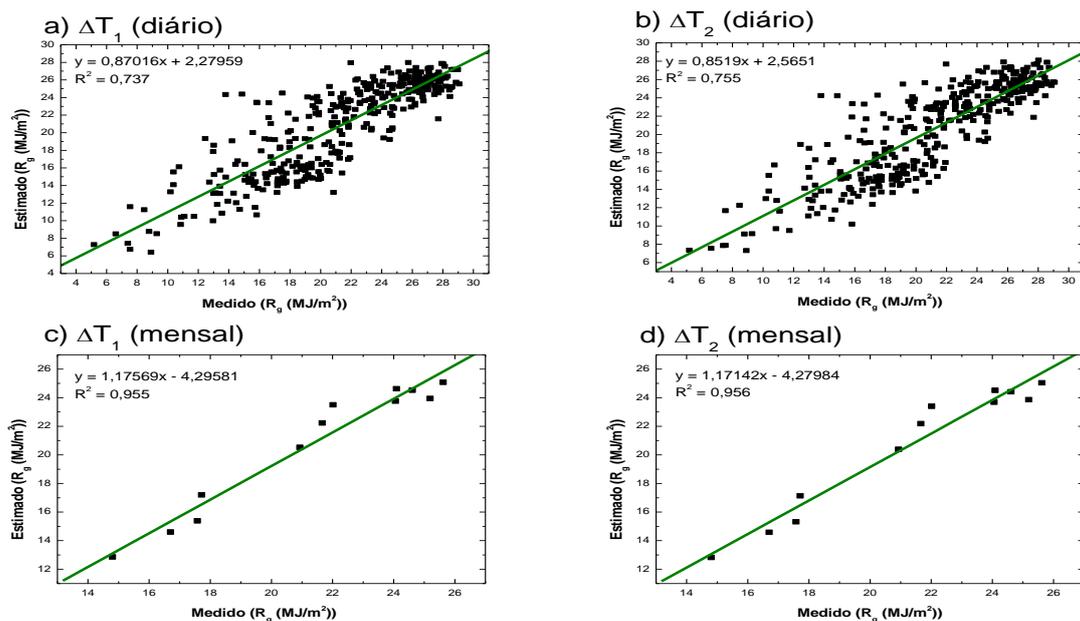


Figura 2. Comparação entre os valores medidos e estimados da irradiação solar global para Pão de Açúcar - AL: a) utilizando ΔT_1 (diário), b) utilizando ΔT_2 (diário), c) utilizando ΔT_1 (mensal) e d) utilizando ΔT_2 (mensal).

CONCLUSÃO: O modelo estimou a irradiação solar global diária e mensal para a região de estudo, com melhor precisão para irradiações solar mensal.

AGRADECIMENTOS: CT-Hidro/CNPq 504068-03-2, CNPq-Universal 479143/2007-2, FAPEAL, CAPES, ELETROBRAS.

REFERÊNCIAS

- Al-Salaymeh A. Model for the prediction of global daily solar radiation on horizontal surfaces for Amman city. *Emirates J Eng Res* 2006;11(1):49–56.
- Bristow KL, Campbell GS. On the relationship between incoming solar radiation and daily maximum and minimum temperature. *Agric Forest Meteorol* 1984;31(2):159–66.
- Bulut H. Generation of typical solar radiation data for Istanbul, Turkey. *Int J Energy Res* 2003;27(9):847–55.
- Hargreaves GH, Samani ZA. Estimating potential evapotranspiration. *J Irrig Drain Div* 1982;108(3):225–30.
- Meza F. e Varas E. Estimation of mean monthly solar global radiation as a function of temperature. *Agricultural and Forest Meteorology*, 100 (2000) 231 – 241.
- Prescott JA. Evaporation from a water surface in relation to solar radiation. *Trans. Roy Soc. Aust.* 1940;64:114–25.
- TYMVIOS, F. S. et al. Comparative study of Angstrom's and artificial neural network's methodologies in estimating global solar radiation. *Solar Energy* 78 (2005) 752 – 762.
- Trabeaa AA, Shaltou MAM. Correlation of global solar radiation with meteorological parameters over Egypt. *Renew Energy* 2000;21(2):297–308.
- X. Liu et al. Evaluation of temperature-based global solar radiation models in China. *Agricultural and Forest Meteorology*; 149 (2009) 1433 – 1446.