

## ESTIMATIVA DA IRRADIAÇÃO SOLAR GLOBAL DIÁRIA POR DIA DO ANO NA REGIÃO DE MACEIÓ - AL

CÍCERO M. DOS SANTOS<sup>1</sup>, JOSÉ LEONALDO DE SOUZA<sup>1</sup>, CHIGUERU TIBA<sup>2</sup>, RINALDO O. DE MELO<sup>2</sup>, KETSON R. M. DOS SANTOS<sup>3</sup>, FRANKLIN ALVES DOS ANJOS<sup>1</sup>, MAURÍCIO B. PRADO DA SILVA<sup>1</sup>, ANDERSON RAVANNY ANDRADE GOMES<sup>1</sup>

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

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

3- 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 dois modelos empíricos, tendo como parâmetro de entrada o dia do ano, são calibrados para estimar a irradiação solar global diária para a região de Maceió (09°28'29,1"S, 35°49'43,6"W e 127m). Para este estudo são utilizados dados de irradiação solar global diária no período de 2006 a 2009. 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 ambos os modelos apresentaram desempenhos semelhantes. Com MABE = 3,164MJ/m<sup>2</sup>dia, RMSE = 4,308MJ/m<sup>2</sup>dia, r = 0.60 e d = 0,746, o modelo 2 foi o que apresentou melhor desempenho.

**PALAVRAS-CHAVE:** irradiação solar global, dia do ano, energia renovável.

### ESTIMATING DAILY GLOBAL SOLAR IRRADIATION BY DAY OF YEAR IN ALAGOAS

**ABSTRACT:** In this study, two empirical models, taking as input parameter the day of the year, are calibrated to estimate daily global solar irradiation for the region of Maceió (09° 28'29,1"S, 35° 49'43, 6"W, 127m). 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 both models had similar performances. With MABE = 3,164 MJ/m<sup>2</sup>dia, RMSE = 4,308 MJ/m<sup>2</sup>dia, r = 0,60 and d = 0,746, model 2 showed the best performance.

**KEYWORDS:** global solar irradiation, day of the year, renewable energy.

**INTRODUÇÃO:** A energia solar, atualmente, é uma das mais importante e promissora energia renovável e sustentável do mundo. Seu conhecimento é de extrema importância para

simular modelos hidrológicos, biofísicos, agrometeorológicos e de fluxo de energia. Podendo ser utilizada diretamente na forma de luz natural, calor ou ser convertida em energia elétrica (Espinel, 2010). Apesar de sua importância, ela não é amplamente medida devido à existência de poucas estações meteorológicas e ao alto custo de manutenção, por exemplo. Visando corrigir a ausência de estações meteorológicas e de instrumentos de medidas, diversos modelos empíricos foram desenvolvidos para estimar a irradiância solar global a partir do uso de variáveis meteorológicas disponíveis. Na literatura as variáveis meteorológicas incluem temperatura do ar (Bristow e Campbell, 1984; Hargreaves e Samani, 1982; Thorton e Running, 1999), umidade relativa do ar (Thorton e Running, 1999), duração do brilho solar (Ångström, 1924). Existem outros modelos que possui como parâmetro de entrada apenas o dia do ano, que são os casos de Li H. et al. (2010), Al-Salaymeh (2006) e Kaplanis et al. (2007), por exemplo. A irradiância solar não está disponível de forma constante, oscila dependendo da hora do dia e posição da terra em sua órbita. Baseado no exposto o objetivo deste trabalho é estimar a irradiância solar global diária na região de Maceió, com dois modelos empíricos que possui como variável de entrada o dia do ano.

**MATERIAL E MÉTODOS:** O presente trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Agrometeorologia e Radiometria Solar (LARAS), localizado na Universidade Federal de Alagoas (UFAL), utilizando-se dados meteorológicos de irradiação solar global diária, obtidos de uma estação meteorológica automática localizada na região de Maceió - AL (09°28'29,1"S, 35°49'43,6"W e 127m), no período de 2006 a 2009. O clima dessa região é megatérmico e úmido, com deficiência de água moderadamente no verão e grande excesso de água no inverno, com temperatura média anual do ar variando a uma mínima de 19,3°C e uma máxima de 31,7°C. A estimativa da irradiação solar global diária ( $R_g$ ) foi feita utilizando critérios semelhantes a Al-Salaymeh (2006) e Kaplanis et al. (2007), em que a consideração básica é a variação da radiação solar devido ao movimento de translação da terra em torno do sol e a excentricidade do eixo terrestre. Com base neste argumento, desenvolveram-se modelos empíricos para estimar a irradiação solar global diária com base no dia do ano, respectivamente,

$$R_g = a_0 + a_1 \times \text{sen} \left( \frac{2\pi}{a_2} n + a_3 \right) \quad (1)$$

$$R_g = a_0 + a_1 \times \text{cos} \left( \frac{2\pi}{364} n + a_2 \right) \quad (2)$$

em que  $R_g$  é a irradiância solar global diária e  $n$  o número de dias do ano, para 1° de Janeiro,  $n = 1$  e para 31 de Dezembro,  $n = 365$ , com  $a_0$ ,  $a_1$ ,  $a_2$  e  $a_3$  os coeficientes empíricos, que representa o ponto de interceptação no eixo y, a amplitude, a fase e o comprimento de onda da função, respectivamente. Para calibrar os coeficientes empíricos dos modelos 1 e 2, foi desenvolvido um programa na linguagem de programação MatLab. Dados dos anos entre 2006-2009 foram utilizados para calibrar e validar os modelos. Como análise estatística para verificar o desempenho dos modelos, utilizou-se o erro absoluto médio de previsão 'MABE', raiz quadrada do erro quadrático médio 'RMSE', o coeficiente de correlação 'r' e o índice de Willmont 'd',

$$MABE = \frac{\sum_{i=1}^n |R_e - R_m|}{n} \quad (3)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (R_e - R_m)^2}{n}} \quad (4)$$

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (R_e - R_E) \times (R_m - R_M)}{\sqrt{[\sum_{i=1}^n (R_e - R_E)^2] \times [\sum_{i=1}^n (R_m - R_M)^2]}} \quad (5)$$

$$d = 1 - \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (R_m - R_e)^2}{\sum_{i=1}^n (|R_e - R_M| + |R_m - R_M|)^2} \right] \quad (6)$$

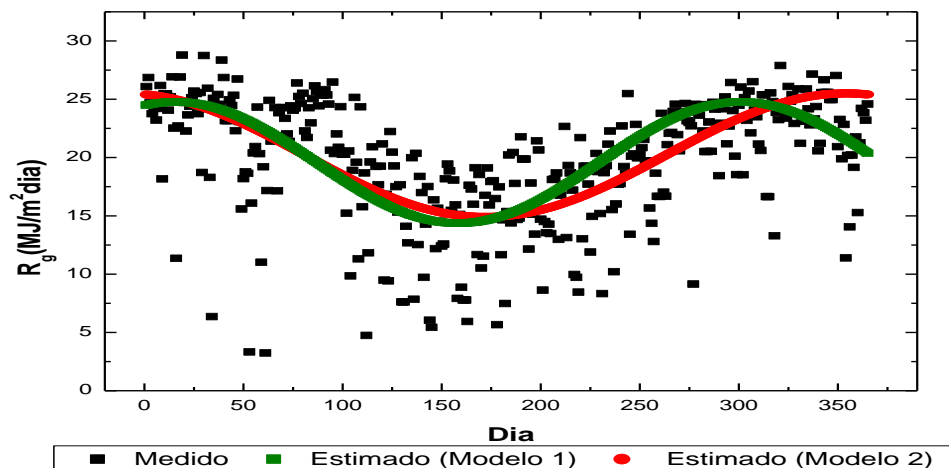
em que,  $R_e$ ,  $R_m$ ,  $R_E$  e  $R_M$  são os valores da irradiação solar global estimada, medida, média estimada e média medida, respectivamente e  $n$  é o número de observações.

**RESULTADOS E DISCUSSÕES:** A Tabela 1 mostra valores dos coeficientes gerados pelos modelos 1 e 2, bem como valores dos erros estatísticos de cada coeficiente, para a região de estudo. Na calibração dos modelos, o erro estatístico para estimativa dos coeficientes apresentaram valores compreendidos entre 0,0009 - 0,199. Os modelos não estão na mesma fase, pois foram encontrados valores distintos para o coeficiente ( $a_2$ ), isto pode ser visualizado na Figura 1. Os modelos 1 e 2 possuem amplitudes semelhantes ( $a_1$ ), com o interceptos de 19,57MJ/m<sup>2</sup>dia e 20,23MJ/m<sup>2</sup>dia para os modelos 1 e 2, respectivamente.

**Tabela 1.** Coeficientes gerados pelos modelos 1 e 2 para região de Maceió e seus respectivos erros em função do dia do ano.

		Coeficientes				Erros Estatísticos			
		$a_0$	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_0$	$a_1$	$a_2$	$a_3$
Maceió	Modelo 1	19,57	-5,20	0,99	10,65	0,17	0,18	0,00009	0,11
	Modelo 2	20,23	-5,33	-2,97	-	0,14	0,19	0,037	-

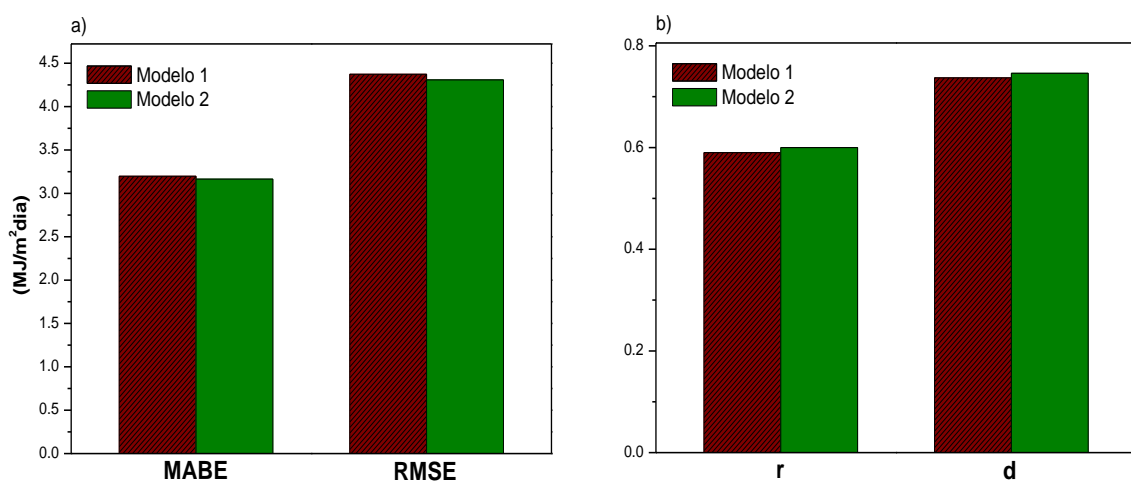
A Figura 1 mostra a dispersão entre os valores medidos e os estimados da irradiação solar global diária para a região de Maceió, com base nos modelos 1 e 2. A irradiação solar global que chega a superfície, no decorrer de 1 ano, apresenta variação quase periódico, oscilando com a estação e a hora do dia devido as várias posições aparente do sol. Na comparação dos valores da irradiação solar global diária estimado com os valores medidos (Figura 2), existe uma alta dispersão.



**Figura 1.** Comparação entre os valores da irradiação solar global diária medida e a estimada.

A Figura 2 mostra erros estatísticos entre os modelos e os valores medidos, na região de estudo. Para o modelo 1 o erro padrão de RMSE = 4,373 MJ/m<sup>2</sup>dia, bem próximo do valor encontrado para o modelo 2. O MABE foi de 3,197 MJ/m<sup>2</sup>dia e 3,164 MJ/m<sup>2</sup>dia para os modelos 1 e 2, respectivamente. O melhor ajuste encontrado foi para o modelo 2, com um coeficiente de correlação igual a  $r = 0,60$  e o índice de Willmont  $d = 0,746$ . Kaplanis et al. (2007), com base no modelo 2, estimaram a irradiação solar global diária para seis zonas

climáticas da Grécia, obtendo  $r \geq 0,996$ . O modelo 1, apresentou uma correlação de  $r = 0,59$  e o índice de Willmont  $d = 0,737$ . Diferente dos resultados encontrados por Al-Salaymeh (2006), que obteve uma correlação de  $r = 0,96$ , na cidade de Amã na Jordânia e Li H et al. (2010), que utilizando o modelo proposto por Al-Salaymeh, em 79 províncias da China, encontraram correlações compreendidas entre 0,733 - 0,987. Bulut (2003), por exemplo, propôs um modelo com base na função seno e estimou a irradiância solar global diária, para cidade de Istanbul na Turquia, obtendo ótima correlação. Por outro lado, as correlações encontradas para Maceió, com base nos dois modelos ficaram bem abaixo dos resultados verificados em outros locais. Acredita-se que essas diferenças sejam de natureza climática, visto que a região de Maceió é de elevada condição de céu parcialmente nublado Souza et. al (2005). Esses modelos que so leva em consideração o dia do ano, devem ser mais apropriados para região com baixa condição de nebulosidade.



**Figura 2.** a) Comparação entre MABE e RSME para os modelos 1 e 2. b) comparação entre  $r$  e  $d$  para os modelos 1 e 2.

**CONCLUSÕES:** Os modelos foram calibrados para estimar a irradiação solar global diária na região de Maceió. Ambos apresentaram desempenho similar, com uma correlação muito baixa. Os dois modelos não apresentaram um bom desempenho na estimativa da irradiação solar global diária.

**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.
- Ångström A. Solar and terrestrial radiation. *Quart J Roy Meteorol Soc* 1924;50(210):121–5.
- 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.

ESPINEL, A. Opportunities and challenges from the technological economical and policy perspectives. Spring semester 2010.

Hargreaves GH, Samani ZA. Estimating potential evapotranspiration. *J Irrig Drain Div* 1982;108(3):225–30.

Kaplanis S, Kaplani E. A model to predict expected mean and stochastic hourly global solar radiation  $I(h; n_j)$  values. *Renew Energy* 2007; 32(8):1414–25.

Li H et al. Estimating daily global solar radiation by day of year in China. *Appl* (2010), doi:10.1016/j.apenergy.20110.03.028.

Souza et. al. Global solar radiation measurements in Maceió, Brazil. *Renewable Energy*, (30) 2005, 1203 – 1220.

Thornton PE, Running SW. An improved algorithm for estimating incident daily solar radiation from measurements of temperature, humidity, and precipitation. *Agric Forest Meteorol* 1999;93(4):211–28.