

## AValiação de Modelo de Estimativa da Radiação Solar Global (Rs) com Base na Amplitude Térmica

Éder Ramon Feitoza Lêdo\* Mairton Gomes da Silva\*\* Dijauma Honório Nogueira\*\*\*  
Francisco Dirceu Duarte Arraes\*\*\*\*

### RESUMO

A radiação solar global (Rs) constitui-se uma importante variável meteorológica em estudos de necessidade hídrica de culturas irrigadas, modelagem do crescimento e produção vegetal, mudanças climáticas, entre outros, sendo que na ausência de dados observados de Rs é possível estimá-los mediante a utilização de modelos matemáticos. Objetivou-se neste trabalho, estimar a Rs a partir de dados de temperaturas máximas e mínimas, utilizando-se do modelo proposto por Hargreaves e Samani (1982) em Barbalha - CE. Utilizou-se de dados meteorológicos de temperatura máxima e mínima do ar e Rs, provenientes da estação meteorológica automática de Barbalha - CE, localizada a latitude de 7° 18' S, longitude 39° 16' W e altitude de 409 m, pertencente à rede de observações meteorológicas de superfície do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). O desempenho do método de Hargreaves e Samani nas estimativas de radiação solar diária com coeficiente de ajuste fixo ( $K_r = 0,16$ ) e estimado foi avaliado através dos seguintes indicadores estatísticos: coeficiente de determinação ( $R^2$ ), índice de precisão ( $r$ ), índice concordância ou exatidão ( $d$ ) e índice de confiança ou desempenho ( $c$ ). Os resultados obtidos da radiação solar estimada em relação aos valores medidos foram: “ $r$ ” de 0,56, “ $R^2$ ” de 0,31, “ $d$ ” de 0,61 e “ $c$ ” de 0,34, sendo classificado como “Péssimo”, com  $K_r$  de 0,16 e para o  $K_r$  estimado os dois primeiros índices estatísticos foram semelhantes, com um aumento para o “ $d$ ” (0,64) e “ $c$ ” (0,36), porém com a mesma classificação. O emprego do modelo analisado foi inviável para a estimativa da radiação solar para as condições climáticas da localidade em estudo, independente do coeficiente de ajuste.

**PALAVRAS-CHAVE:** Desempenho. Hargreaves-Samani. Temperatura do ar.

### EVALUATION OF AN ESTIMATE MODEL OF GLOBAL SOLAR RADIATION (Rs) BASED ON TEMPERATURE RANGE

### ABSTRACT

*Global solar radiation (Rs) constitutes an important meteorological variable in studies of water requirements of irrigated crops, growth modeling and crop production, climate change, among others. However, in the absence of Rs observed data, it is possible to estimate them by using mathematical models. The objective of this research was to estimate Rs from data of maximum and minimum temperatures using the model proposed by Hargreaves & Samani in Barbalha - CE. We used meteorological data of maximum and minimum temperatures of air and Rs from the automatic Barbalha - CE weather station, located at latitude 7° 18' S, longitude 39° 16' W and altitude of 409 m, belonging to the surface meteorological observation network of the National Institute of Meteorology (INMET). The performance of Hargreaves & Samani's method on estimates of daily solar radiation*

---

(\*)Graduando em Tecnologia em Irrigação e Drenagem do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia - campus de Iguatu; E-mail: eder\_ramon@hotmail.com.

(\*\*)Graduando em Tecnologia em Irrigação e Drenagem do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia – campus de Iguatu. mairtong@hotmail.com

(\*\*\*)Doutorado em Agronomia. Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia - campus de Iguatu. E-mail: dijaumahonorio@ifce.edu.br

(\*\*\*)Doutorando em Engenharia de Sistemas Agrícolas da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” da Universidade de São Paulo. E-mail: dirceuarraes@gmail.com

*with fixed adjustment coefficient ( $K_r = 0.16$ ) was evaluated and estimated by the following statistical indicators: coefficient of determination ( $R^2$ ), accuracy rate ( $r$ ), agreement or accuracy rate ( $d$ ) and confidence or performance index ( $c$ ). The results obtained from the estimated solar radiation regarding the values measured were: “ $r$ ” 0.56, “ $R^2$ ” 0.31 “ $d$ ” 0.61 and “ $c$ ” 0.34, being classified as “Bad”, with 0.16 for  $K_r$  and for estimated  $K_r$  the first two statistical indexes were similar, with an increase for “ $d$ ” (0.64) and “ $c$ ” (0.36), but with the same classification. The use of the analysed model was not feasible for the estimate of solar radiation for the climatic conditions of the site studied, regardless the adjustment coefficient.*

**KEYWORDS:** *Performance. Hargreaves-Samani. Air temperature.*

## 1 INTRODUÇÃO

A radiação solar é a força motriz para muitos processos físico-químicos e biológicos que ocorrem no sistema Terra-Atmosfera, constituindo-se em importante variável meteorológica em estudos de necessidade hídrica de culturas irrigadas, modelagem do crescimento e da produção vegetal, mudanças climáticas, entre outros (BORGES *et al.*, 2010).

A radiação solar global pode ser definida como o total de energia emitida pelo sol, incidente sobre a superfície terrestre, compreendida entre os comprimentos de onda de 150 a 4000 nm (ROSENBERG, 1974; SLATER, 1980). É um elemento meteorológico de relevada importância, sendo fonte primária de todos os fenômenos atmosféricos além dos processos físicos, químicos e biológicos observados em ecossistemas agrícolas, como evaporação, fotossíntese, crescimento e desenvolvimento de cultivos agrícolas (PEREIRA *et al.*, 2002).

Além disso, a radiação solar é um elemento meteorológico utilizada no cálculo da evapotranspiração, na realização de zoneamentos agrometeorológicos e nos modelos de crescimento e de produção das culturas (FONTANA; OLIVEIRA, 1996). Tornando-se essencial quantificar a disponibilidade de radiação solar global em um determinado local e período do ano.

A medição de radiação solar global ( $R_s$ ) é realizada normalmente por detectores de radiação (piranógrafo, piranômetro e actinômetros), que transforma a energia radiante em diversos tipos de respostas (SOUZA, 1996). Porém, o número de estações que realizam seu registro diário é muito restrito quando comparado com as que consignam temperatura e precipitação (LIMA; SEDIYAMA, 2006).

Em virtude da grande parte das estações meteorológicas do Brasil não dispor de equipamentos para medida de radiação e devido ao alto custo e à necessidade de pessoal qualificado para o manuseio dos instrumentos apropriados, esse elemento é muitas vezes estimado. A estimativa da  $R_s$  é realizada por meio de métodos empíricos baseado em outras variáveis meteorológicas disponíveis como pressão, precipitação, insolação e temperatura (THORNTON; RUNNING, 1999; MEZA; VARA, 2000).

Em localidades com ausência de coleta de dados de radiação solar, valores estimados podem ser obtidos através de modelos matemáticos, que diferem entre si pelo o grau de complexidade e pelas as variáveis de entrada. É importante ressaltar que os modelos são, em geral, restritos às condições para as quais foram desenvolvidos, apresentando

problemas quando aplicados para outras regiões diferentes para quais foram calibrados (BORGES *et al.*, 2010).

Os tipos de cobertura do céu como nublado, parcialmente e limpo são utilizados em algumas metodologias na obtenção da  $R_s$  (RICIERI, 1998). O céu claro condiciona o resultado em temperaturas altas durante o dia (temperatura máxima), porque a atmosfera é transparente à radiação solar; e, em baixas temperaturas durante a noite (temperatura mínima) porque a radiação de onda longa é menos absorvida pela atmosfera (ALLEN *et al.*, 1998).

Hargreaves e Samani (1982) desenvolveram um modelo de estimativa da  $R_s$ , que é determinado pela diferença de temperatura do ar diária, radiação extraterrestre e um coeficiente de ajuste. A diferença entre as temperaturas máxima e mínima está relacionada ao grau de cobertura de nuvens de uma localidade. Assim, a amplitude térmica diária pode ser usada como um indicador da fração de radiação extraterrestre que chega à superfície do solo (radiação solar global). Porém, Allen (1997) cita que o coeficiente de ajuste empregado no método é empírico e varia com o tempo, o local e o clima. Ele ainda acrescentou que, inicialmente, considerava-se o valor de 0,17 para climas árido e semiárido. Já Hargreaves (1994) recomendou usar o coeficiente de ajuste ( $K_r$ ) de 0,16 para regiões continentais e de 0,19 para regiões costeiras, estabelecendo como região continental o lugar onde a massa de terra domina e as massas de ar não são fortemente influenciadas por uma massa oceânica.

Allen (1995) sugeriu estimar o  $K_r$  como função da altitude. Para tal, introduziu uma relação entre a pressão atmosférica para determinado local e aquela ao nível do mar para levar em conta os efeitos da altitude na capacidade de calor volumétrico da atmosfera.

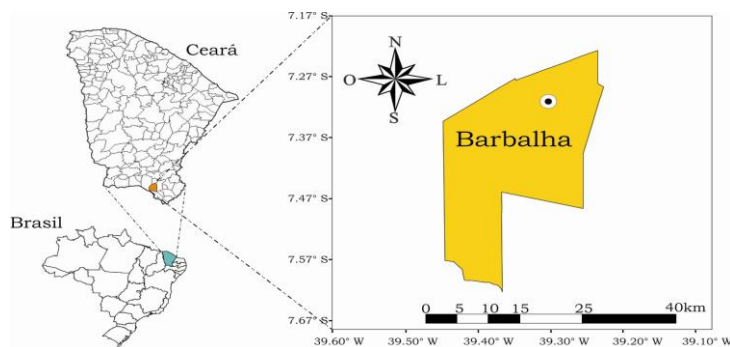
Diversos trabalhos objetivando estimar a radiação global com base na amplitude térmica vem sendo desenvolvidos e aplicados em diversas regiões do globo (BRISTOW; CAMPBELL, 1984; MEZA; VARA, 2000; THORNTON *et al.*, 2000) e no Brasil destacam-se os trabalhos de Conceição e Marin (2005), Lima e Sediyaama (2006), Massignam (2007), Rodrigues *et al.* (2008), Borges *et al.* (2010) e Conceição (2010).

Baseado no que foi exposto, objetivou-se no presente trabalho estimar a radiação solar global a partir de dados de temperaturas máximas e mínimas utilizando-se do modelo proposto por Hargreaves e Samani (1982) no município de Barbalha, no Estado do Ceará.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

No presente trabalho foram utilizados dados diários de radiação solar global ( $R_s$ ) e temperaturas máxima e mínima do ar, compreendendo o período de janeiro a dezembro do ano 2008, sendo obtidos da Estação Automática de Barbalha – CE, localizada a latitude de 7° 18' S, longitude 39° 16' W e altitude de 409 m, pertencente à rede de observações meteorológicas de superfície do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) (Figura 1). A área de estudo, segundo a classificação climática de Köppen, apresenta clima tropical quente semiárido, com chuvas de janeiro a abril com precipitação média anual de 1.153 mm, com temperatura média de 24 a 26°C.

### **Figura 1 – Localização da área em estudo**



Fonte (Elaborado pelos autores).

Para estimativa da radiação solar foi utilizada a equação proposta por Hargreaves e Samani (1982), que estima a radiação solar global a partir da diferença de temperatura diária do ar e da radiação no topo da atmosfera (R<sub>a</sub>), equação 1.

$$R_s = K_r (T_{\max} - T_{\min})^{0.5} \cdot R_a \quad (\text{Eq. 1})$$

em que:

R<sub>s</sub> - radiação solar global, MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>;

R<sub>a</sub> - radiação no topo da atmosfera, MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>;

K<sub>r</sub> - coeficiente de ajuste empírico igual a 0,16 para região interior e 0,19 para região costeira, adimensional;

T<sub>max</sub> - temperatura máxima do ar, °C;

T<sub>min</sub> - temperatura mínima do ar, °C.

Segundo Hargreaves e Samani (1982), entende-se como região interior aquela em que os padrões do tempo meteorológico são dominados por grandes massas de terra e como região costeira aquela cujos padrões do tempo são dominados pela proximidade com grandes massas de água. Neste estudo avaliou-se o modelo para o valor fixo de K<sub>r</sub> igual a 0,16, recomendado para a região continental (onde a massa de terra domina) e também estimou o valor de K<sub>r</sub> em função da altitude, assim como recomendado por Allen (1995), equação 2.

$$K_r = K_{ra} \sqrt{\frac{P}{P_o}} \quad (\text{Eq. 2})$$

em que:

P - pressão atmosférica média para o local, determinada em função da altitude (kPa);

P<sub>o</sub> - pressão atmosférica média ao nível do mar (101,3 kPa);

K<sub>ra</sub> = coeficiente empírico igual a 0,17 na região continental.

A pressão atmosférica média para o local foi obtida através da equação 3.

$$P = 101,3 \left( \frac{293 - 0,0065 \cdot Z}{293} \right)^{5,26} \quad (\text{Eq. 3})$$

A radiação no topo da atmosfera foi obtida através das equações 4 a 7.

$$R_a = \frac{24 \cdot 60}{\pi} G_{sc} \cdot d_r \cdot \left[ \sin \varphi \cdot \sin \delta + \cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \sin \omega_s \right] \quad (\text{Eq. 4})$$

$$d_r = 1 + 0,033 \cos \left( \frac{2\pi}{365} J \right) \quad (\text{Eq. 5})$$

$$\delta = 0,409 \sin \left( \frac{2\pi}{365} J - 1,35 \right) \quad (\text{Eq. 6})$$

$$\omega_s = \cos^{-1} \left[ \tan \varphi \cdot \tan \delta \right] \quad (\text{Eq. 7})$$

em que:

Z – altitude do local, m;

d<sub>r</sub> - distância relativa Terra-Sol;

J - dia Juliano;

δ - declinação solar, radianos;

φ - latitude local, radianos;

ω<sub>s</sub> - ângulo de radiação no momento do por do sol, radianos;

G<sub>sc</sub> - constante, 0,0820 MJ m<sup>-2</sup> min<sup>-1</sup>.

Os valores de radiação solar global (Rs) estimados foram comparados aos medidos, utilizando-se coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>), índice de precisão (r) (Equação 8), índice de concordância ou exatidão (d) (Equação 9) e índice de confiança ou desempenho (c) proposto por Camargo e Sentelhas (1997), que corresponde à multiplicação do índice de exatidão (d) e índice de precisão (r) e sendo expresso por (c= r.d) (Tabela 1), descrito por Oliveira *et al.* (2010).

**Tabela 1: Critério de interpretação do desempenho dos métodos de estimativas da radiação solar global (Rs) pelo índice de confiança “c” de Camargo e Sentelhas (1997).**

Valor de “c”	Desempenho
> 0,85	Ótimo
0,76 a 0,85	Muito Bom
0,66 a 0,75	Bom
0,61 a 0,65	Mediano
0,51 a 0,60	Sufrível
0,41 a 0,50	Mau
≤ 0,40	Péssimo

Fonte: Camargo e Sentelhas (1997).

O critério adotado para interpretar o índice de precisão (r) encontra-se conforme a classificação de Hoppinks (2002) (Tabela 2).

**Tabela 2: Critério de interpretação da precisão da estimativa da radiação solar global, pelo índice “r”.**

Valor de “r”	Precisão
0,0 – 0,1	Muito Baixo
0,1 – 0,3	Baixo
0,3 – 0,5	Moderado
0,5 – 0,7	Alto
0,7 – 0,9	Muito Alto
0,9 – 1,0	Quase Perfeito

Fonte: Hoppinks (2002).

Indicadores estatísticos classificaram a equação testada de Hargreaves e Samani para observar a precisão dada pelo coeficiente de precisão (r) (Equação 8), descrito em Silva *et al.* (2010).

$$r = \sqrt{\frac{\sum (P_i - \bar{O}) (O_i - \bar{O})}{\sum (P_i - \bar{O})^2 \sum (O_i - \bar{O})^2}} \quad (\text{Eq. 8})$$

Para avaliar o grau de exatidão entre valores de radiação solar global (Rs) estimados e os valores medidos, utilizou-se o índice “d” de concordância ou exatidão de Willmott *et al.* (1985), onde seus valores variam de “0” (não existe concordância) a “1” (concordância perfeita), descrito em Silva *et al.* (2010).

$$d = 1 - \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{O})^2 + \sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \right] \quad (\text{Eq. 9})$$

em que:

d – índice de concordância ou exatidão, adimensional;

P<sub>i</sub> – radiação solar global estimada, MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>;

O<sub>i</sub> – radiação solar global medida, MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>;

$\bar{O}$  - média da radiação solar global medida, MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>;

n - número de observações.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 3, podem-se verificar os indicadores estatísticos dos valores de radiação solar global diária medida e estimativa em função da amplitude térmica, sendo empregado o modelo de Hargreaves e Samani (1982), em que para o coeficiente de ajuste (K<sub>r</sub>) utilizou-se do valor de 0,16, recomendado para as regiões continentais e foi estimado, ainda, um valor pela equação sugerida por Allen (1995) em função da altitude local, sendo encontrado valor de 0,166.

Lima e Sedyama (2006) em diferentes localidades do Estado de Minas Gerais estimaram a radiação solar pelo método de Hargreaves e Samani e utilizaram dos coeficientes de ajuste ( $K_r$ ) propostos por Allen (1995) e Hargreaves (1994). Concluíram que os resultados mostraram que o  $K_r$  proposto por Hargreaves é mais preciso para calcular a radiação solar.

A radiação solar global diária estimada conforme o modelo de Hargreaves e Samani com  $K_r$  fixo de 0,16 e  $K_r$  estimado correspondeu ao mesmo valor para o índice de precisão ( $r$ ), igual a 0,56 para ambos, e que segundo a classificação de Hoppinks (2002) é considerado como “Alto”. Rodrigues *et al.* (2008) estimaram a  $R_s$  com base na amplitude térmica diária pelo método de Hargreaves e Samani para cidade de Limoeiro do Norte-CE e encontraram índice de precisão ( $r$ ) de 0,59, classificado como “Alto” conforme Hoppinks (2002).

Conceição e Marin (2005) na estimativa da radiação solar incidente com base na amplitude térmica diária encontraram valores para o índice de precisão ( $r$ ) de 0,82 e 0,84, respectivamente para as localidades de Jales e Piracicaba-SP.

Foi encontrado baixo valor para o coeficiente de determinação ( $R^2$ ), de 0,31 para ambos os coeficientes de ajuste ( $K_r$ ) do método de Hargreaves e Samani, diferente do valor encontrado por Meza e Varas (2000), onde encontraram para o “ $R^2$ ” valor igual a 0,85 para Santiago no Chile e também aos encontrados por Conceição e Marin (2005), com  $R^2$  de 0,66 e 0,69 para Jales e Piracicaba-SP, respectivamente. Porém os resultados obtidos no presente trabalho estão próximos dos valores obtidos por Rodrigues *et al.* (2008), onde foi verificado valor para o “ $R^2$ ” de 0,35.

Massignam (2007) estudou a estimativa da radiação solar diária em função da amplitude térmica pelo método de Hargreaves e Samani em diferentes localidades do Estado de Santa Catarina e para o coeficiente de determinação “ $R^2$ ” observou o menor valor nas localidades de Itajaí, Pedras Grandes e Florianópolis, com “ $R^2$ ” de 0,47, 0,48 e 0,49, respectivamente e o maior valor na localidade de Urussanga, e com “ $R^2$ ” de 0,79. Borges *et al.* (2010) também avaliaram modelos de estimativa da radiação solar incidente em Cruz das Almas-BA e para o modelo de Hargreaves e Samani utilizaram o coeficiente de ajuste ( $K_r$ ) de 0,16 e 0,19 e encontraram o mesmo coeficiente de determinação ( $R^2$ ) para o modelo de Hargreaves e Samani com  $K_r$  de 0,16 e 0,19, com valor de 0,688.

**Tabela 3: Valores estatísticos usados na avaliação do método de Hargreaves e Samani na estimativa da radiação solar global diária no município de Barbalha-CE.**

Método	R	$R^2$	d	c	Desempenho
HS ( $K_r = 0,16$ )	0,56	0,31	0,61	0,34	Péssimo
HS ( $K_r = 0,166$ )	0,56	0,31	0,64	0,36	Péssimo

Outro índice estatístico avaliado foi o de concordância ou exatidão ( $d$ ), em que valores variam de “0” (não existe concordância) a “1” (concordância perfeita), sendo encontrados os valores de 0,61 e 0,64, respectivamente para o  $K_r$  fixo de 0,16 e o  $K_r$  estimado. Valores bem inferiores aos encontrados por Conceição e Marin (2005), onde verificaram valores para “ $d$ ” de 0,88 e 0,86 para Jales e Piracicaba-SP, respectivamente. Já Rodrigues *et al.* (2008) encontraram valor abaixo dos encontrados por Conceição e Marin (2005), com coeficiente de exatidão “ $d$ ” com valor de 0,76.

Comparados os valores de radiação global solar estimada pelo método de Hargreaves e Samani em relação aos valores medidos na estação meteorológica, Massignam (2007) obteve valores para o coeficiente de exatidão “d” variando de 0,67 na localidade de Itajaí a 0,86 em Urussanga-SC. Borges *et al.* (2010) estimaram a radiação solar incidente em Cruz das Almas-BA e utilizaram o coeficiente de ajuste ( $K_r$ ) de 0,16 e 0,19, e encontraram para o coeficiente de exatidão “d” valores de 0,77 e 0,90, respectivamente para  $K_r$  de 0,16 e 0,19.

O último índice estatístico avaliado foi o coeficiente de desempenho ou confiança (c), em que foi obtido valor de 0,34 e 0,36, respectivamente para o  $K_r$  de 0,16 e o  $K_r$  estimado, que segundo Camargo e Sentelhas (1997) é classificado como “Péssimo”. Conceição e Marin (2005) encontraram desempenho classificado como “Bom” para as localidades de Jales e Piracicaba-SP, com “c” de 0,71 e 0,72, respectivamente. Massignam (2007) encontrou desempenho classificado como “Mau” nas localidades de Itajaí, Pedras Grandes e Florianópolis-SC, com “c” de 0,46, 0,47 e 0,48, respectivamente; e, classificação “Muito Bom” na localidade de Urussanga-SC, com valor de “c” de 0,76. Rodrigues *et al.* (2008) obtiveram desempenho “Mau” para método de Hargreaves e Samani utilizado nas estimativas de radiação solar para condições de Limoeiro do Norte-CE, com “c” de 0,45.

Segundo Allen (1997), o modelo de Hargreaves e Samani é um método conservador, no sentido de que as estimativas feitas com essa equação, raramente, superestimam a  $R_s$  para condições de céu claro. Essa é uma característica desejável já que a  $R_s$  medida na ausência de nuvens representa um limite superior para a radiação solar incidente em dada localidade e valores de  $R_s$  em geral superiores a  $R_{so}$  com frequência indicam problemas de calibração ou mau funcionamento do instrumento (ALLEN, 1996).

Conceição e Marin (2005) concluíram que a utilização do método de Hargreaves e Samani para se estimar a radiação solar incidente diária em duas localidades estudadas no Estado de São Paulo é viável, quando não houver disponibilidade de valores medidos de  $R_s$ .

Conceição (2010) estimou a evapotranspiração de referência com base na temperatura do ar para as condições de Jales-SP e na estimativa da radiação solar global utilizou-se do método de Hargreaves e Samani, bem como de Bristow-Campbell, concluindo que o modelo de Bristow-Campbell para estimar a radiação solar global proporcionou desempenho superior ao obtido com o método original de Hargreaves e Samani.

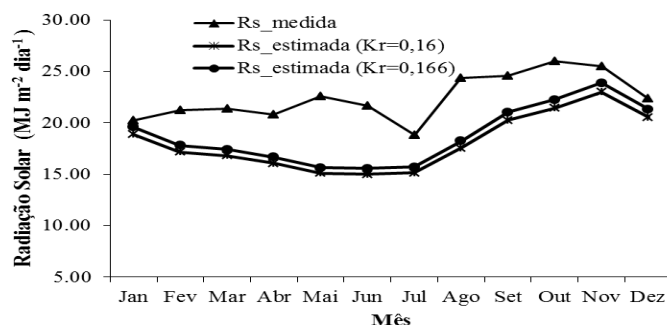
Conforme a Figura 2, os valores de radiação solar global estimada pelo método de Hargreaves e Samani tanto com o  $K_r$  fixo de 0,16 como o  $K_r$  estimado subestimam os valores de radiação medida em todos os meses, em que o menor valor de radiação solar medida ocorre no mês de julho, de  $18,79 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$  e os meses de outubro e novembro de maior radiação solar, com valores de  $25,97$  e  $25,48 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ , respectivamente. Os meses de maio e dezembro apresentam radiação solar um pouco acima de  $22 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ , para os demais meses encontra-se radiação solar, variando de 20 a  $21 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ .

A radiação solar diária estimada pelo método de Hargreaves e Samani com o  $K_r$  fixo de 0,16 e também o estimado apresenta o mesmo comportamento na distribuição da radiação ao longo dos meses, em que os menores valores ocorrem entre os meses de maio a julho, com valores um pouco acima de  $15 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ , enquanto que os maiores valores de radiação ocorrem no mês de novembro, seguindo o mesmo comportamento da radiação medida, na ordem de  $23 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ . Os meses de setembro e dezembro apresentam radiação solar acima de  $20 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$  para o  $K_r$  de 0,16 e na ordem de  $21 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$  para o  $K_r$



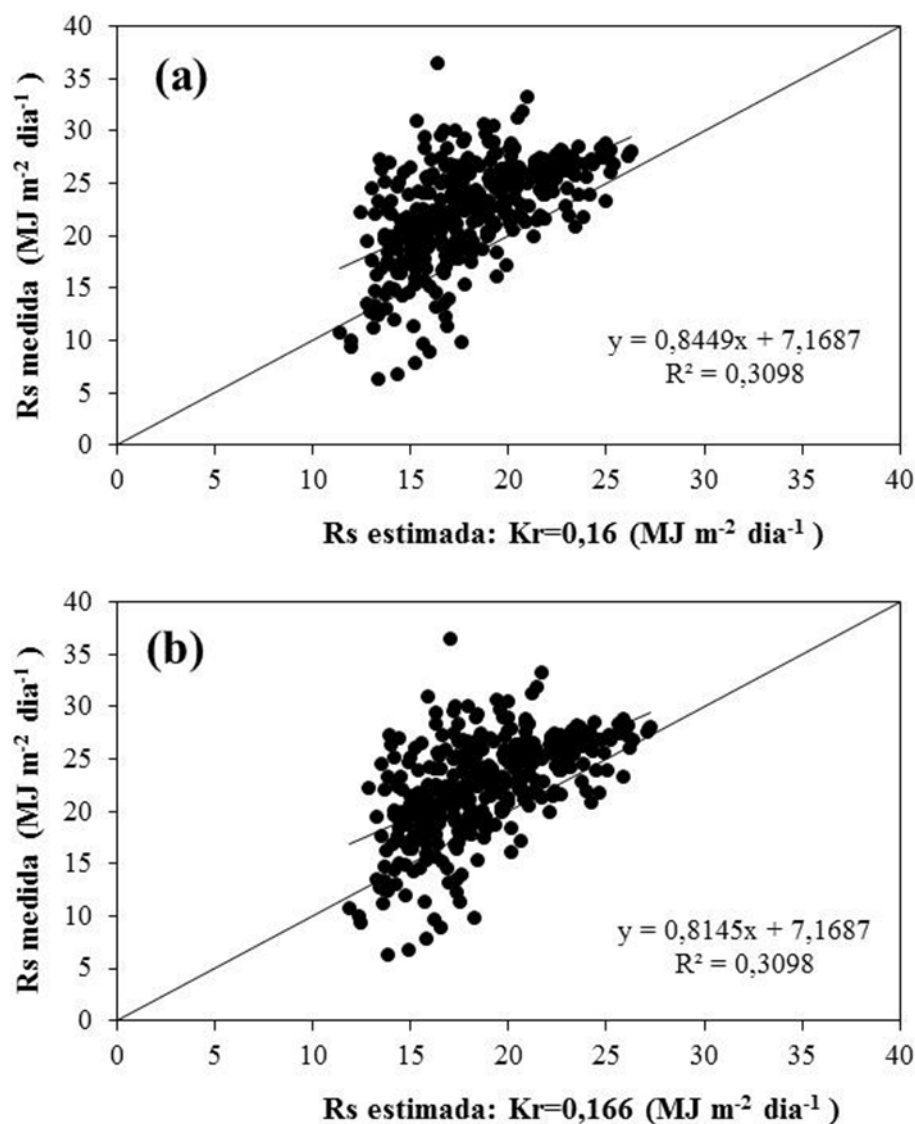
estimado, já o mês de outubro com valor um pouco acima de  $21 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$  para o  $K_r$  de 0,16 e na ordem de  $22 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$  para o  $K_r$  estimado. Fevereiro e agosto com radiação na ordem de  $17 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$  ( $K_r$  de 0,16); fevereiro e março, também, radiação um pouco acima de  $17 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$  ( $K_r$  estimado).

**Figura 2: Distribuição da radiação solar medida e estimada ao longo dos meses, para Barbalha-CE.**



Conforme a Figura 3, em que mostra a dispersão dos pontos ao longo do ano de 2008, onde pode ser notado é que os pontos ficaram um pouco longe da reta 1:1, obtendo-se assim um coeficiente de determinação bem baixo e que segundo Meza e Varas (2000), onde afirmam que o método de Hargreaves e Samani tem limitações quando aplicados os dados diários.

**Figura 3: Regressão linear entre os valores diários da radiação solar global estimada usando o método de Hargreaves e Samani com  $K_r$  fixo de 0,16 (a) e estimado (b) ( $R_s$  estimada) e a radiação solar global medida ( $R_s$  medida), Barbalha-CE.**



#### 4 CONCLUSÕES

Diante dos resultados e conforme as condições climáticas do município de Barbalha-CE, o emprego do modelo proposto por Hargreaves e Samani para as estimativas da radiação solar global diária é inviável, quando não se dispor de valores de Rs, uma vez que os valores estatísticos foram muito baixos, independente do coeficiente de ajuste empregado no método.

#### 5 AGRADECIMENTOS

Ao PIBICT/FUNCAP pelo o apoio na pesquisa, ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) pela disposição dos dados utilizados no trabalho e ao Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia (IFCE) *campus* de Iguatu.

#### REFERÊNCIAS

- ALLEN, R. G. Assessing integrity of weather data for reference evapotranspiration estimation. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 122, n. 2, p. 97-106, 1996.
- ALLEN, R. G. **Evaluation of procedures for estimating mean monthly solar radiation from air temperature**. Rome: FAO, 1995. 120p.
- ALLEN, R. G. Self-calibrating method for estimating solar radiation from air temperature. **Journal of Hydrologic Engineering**, v. 2, n. 2, p. 56-97, 1997.
- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. Rome: FAO, 1998. (**Irrigation and Drainage Paper**, 56).
- BORGES, V. P.; OLIVEIRA, A. S.; COELHO FILHO, M. A.; SILVA, T. S. M.; PAMPONET, B. M. Avaliação de modelos de estimativa da radiação solar incidente em Cruz das Almas, Bahia. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 1, p. 74-80, 2010.
- BRISTOW, K. L.; CAMPBELL, G. S. On the relationship between incoming solar radiation and daily maximum and minimum temperature. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, 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.
- CONCEIÇÃO, M. A. F. Evapotranspiração de referência com base na radiação solar global estimada pelo método de Bristow-Campbell. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, n. 4, p. 619-626, jul./ago. 2010.
- CONCEIÇÃO, M. A. F.; MARIN, F. R. Estimativa da radiação solar incidente com base na amplitude térmica diária. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 14, 2005, Campinas. **Anais...** Campinas: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 2005. 1 CD-ROM.
- FONTANA, D. C.; OLIVEIRA, D. Relação entre radiação solar global e insolação para o Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 4, n. 1, p. 87-91, 1996.
- HARGREAVES, G. H. **Simplified coefficients for estimating monthly solar radiation in North America and Europe**. Logan, Utah: Departmental Paper, Department Biology and Irrigation Engineering, Utah State University, 1994.
- HARGREAVES, G. H.; SAMANI, Z. A. Estimating potential evapotranspiration. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, Reston, v. 108, p. 225-230, 1982.
- HOPKINS, W. G. **A scale of magnitudes for effect statistics**. 2002. Disponível em: <<http://www.sportsci.org/resource/stats/effectmag.html>>. Acesso: 31 out. 2011.
- LIMA, E. P.; SEDIYAMA, G. C. Estimativa da radiação solar global a partir de dados de temperaturas máxima e mínima. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA,

- 14., 2006, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: Sociedade Brasileira de Meteorologia, 2006. 1 CD-ROM.
- MASSIGNAM, A. M. Estimativa da radiação solar em função da amplitude térmica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 15., 2007, Aracaju. **Anais...** Aracaju: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 2007. 1 CD-ROM.
- MEZA, F.; VARAS, E. Estimation of mean monthly solar global radiation as a function of temperature. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, n. 100, p. 231-241, 2000.
- OLIVEIRA, G. M. et al. Comparação entre métodos de estimativa da evapotranspiração de referência na região Norte da Bahia. **Revista brasileira de agricultura irrigada**, Fortaleza, v. 4, p. 104-109, 2010.
- PEREIRA, A. B; VRISMAN, A. L.; GALVANI, E. Estimativa da radiação solar global diária em função do potencial de energia solar na superfície do solo. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 59, n. 2, p. 211-216, abr./jun. 2002.
- RICIERI, R. P. **Modelos de estimativa e avaliação dos métodos de medida da radiação solar difusa**. 1998. 81 f. Tese (Doutorado em Energia na Agricultura) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 1998.
- RODRIGUES, D. N. B. et al. Radiação solar global estimada através da amplitude térmica diária. In: XVIII CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 18., 2008, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: ABID, 2008. 1 CD-ROM.
- ROSENBERG, N. J. **Microclimate: the biological environment**. New York: J. Wiley & Sons, 1974. 315p.
- SAMANI, Z. Estimating solar radiation and evapotranspiration using minimum climatological data. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, Reston, v. 126, n. 4, p. 265-267, 2000.
- SILVA, M. G. et al. Estimativa da  $ET_o$  pelos métodos de Penman-Monteith FAO 56 e Hargreaves-Samani a partir de dados de  $T_x$  e  $T_n$  para Sobral e Tauá no Ceará. **Acta Tecnológica**, Codó, v. 5, n. 2, p. 52-68, 2010.
- SLATER, P. N. **Remote sensing, optics and optical systems**. Massachussets: Addison-Wesley, 1980. 575p.
- SOUZA, M. J. H. **Irradiância solar direta: desenvolvimento e avaliação de modelos, e sua distribuição espacial e temporal para o Estado de Minas Gerais**. Viçosa: UFV, 1996. 128p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1996.
- THORNTON, P. E.; HASENAUER, H.; WHITE, M. A. Simultaneous estimation of daily solar radiation and humidity from observed temperature and precipitation: an application over complex terrain in Austria **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 104, p. 255-271, 2000.

THORNTON, P. E.; RUNNING, S. W. An improved algorithm for estimating incident daily solar radiation from measurements of temperature, humidity and precipitation. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 93, p. 211-228, 1999.

WILLMOTT, C. J. et al. Climatology of terrestrial seasonal water cycle. **Intonation Journal of Climatology**, Oxford, v. 5, p. 589-606, 1985.

Recebido em 21-11-2011.

Aprovado em 27-04-2012.