
NOTA TÉCNICA:

ESTIMATIVA DA RADIAÇÃO SOLAR GLOBAL COM DADOS DE TEMPERATURA DO AR EM SEIS CIDADES DO ESTADO DO CEARÁ

Kleber Gomes de Macêdo¹, Joaquim Branco de Oliveira², Francisco Dirceu Duarte Arraes³, Wesley Lívio Viana Torres⁴, Juarez Cassiano de Lima Junior⁵

RESUMO

A radiação solar global é uma das principais fontes de energia nos processos físicos, químicos e biológicos, podendo ser medida por instrumentos como os radiômetros, actinógrafos bimetalícos e piranômetros. Porém, tais equipamentos de medição da radiação solar não estão disponíveis na maioria dos locais. Nestas condições, valores estimados podem ser obtidos com o uso de modelos matemáticos que utilizam apenas dados temperatura do ar. Dito isto, objetivou-se, com este trabalho, avaliar o desempenho de modelos de estimativa da radiação solar global, utilizando dados de temperatura máxima e mínima do ar, para as cidades de Barbalha, Campo Sales, Crateús, Jaguaribe, Iguatu e Quixeramobim no estado do Ceará. Foram utilizados dados de radiação solar global e temperatura máxima e mínima do ar obtidos junto ao Instituto Nacional de Meteorologia. O desempenho dos modelos foi avaliado segundo os índices estatísticos erro padrão de estimativa, erro médio e porcentagem de erro. Com os menores valores de erro, as melhores estimativas da radiação solar foram obtidas utilizando-se os modelos de Hargreaves e Samani modificado por Richardson e de Ball *et al.* Já os piores resultados foram obtidos utilizando-se os modelos de Donatelli e Campbell e de Hargreaves e Samani.

Palavras-chave: calibração, semiárido, temperatura

ABSTRACT

ESTIMATE OF GLOBAL SOLAR RADIATION WITH AIR TEMPERATURE DATA IN SIX CITIES OF THE CEARÁ STATE, BRAZIL

The global solar radiation is a major source of energy in the physical, chemical and biological processes can be measured by instruments such as radiometers, bimetallic actinographs and pyranometers. However, such measuring equipment of solar radiation are not available in most locations. Accordingly estimates, can be obtained with the use of mathematical models that use data only air temperature. That said, the aim of this study was to evaluate the performance of global solar radiation models, using maximum and minimum temperature air data to the cities of Barbalha, Campo Sales, Crateús, Jaguaribe, Iguatu and Quixeramobim in Ceará state, Brazil. Were used data of the global solar radiation and maximum temperature and minimum air obtained from the National Institute of Meteorology. The performance of the models was evaluated according to statistical indexes standard error estimated, mean and percentage error. With the lowest error values the best estimates of solar radiation were found in models of Hargreaves and Samani modified by Richardson and Ball *et al.* The worst results were found in models Donatelli and Campbell and Hargreaves and Samani.

Keywords: calibration, semiarid, temperature

Recebido para publicação em 19/06/2015. Aprovado em 07/03/2016.

1 - Graduando em Irrigação e Drenagem e Bolsista do Laboratório de Geoprocessamento no Instituto Federal do Ceará, *Campus* Iguatu. E-mail: kleber117@hotmail.com

2 - Agrônomo, Professor, Dr., Instituto Federal do Ceará, *Campus* Iguatu. E-mail: joaquimbrancodeoliveira@gmail.com

3 - Tecnólogo em Irrigação e Drenagem, Professor, Dr., Inst. Fed. do Sertão, *Campus* Salgueiro. E-mail: dirceuarraes@gmail.com

4 - Graduando em Irrigação e Drenagem e Bolsista do Laboratório de Geoprocessamento no Instituto Federal do Ceará, *Campus* Iguatu. E-mail: wesley_livio@hotmail.com

5 - Tecnólogo em Irrigação e Drenagem, Mestrando, Depto de Ciência dos Solos/UFC. Fortaleza-CE. E-mail: junioralencar_ico@hotmail.com

INTRODUÇÃO

A radiação solar global (R_s) é uma das principais fontes de energia nos processos físicos, químicos e biológicos, como o crescimento e fotossíntese das plantas, processos evapotranspirativos, temperatura do ar e do solo. É também um Elemento necessário em modelos biofísicos que avaliam o risco de incêndios em florestas, modelos de simulação e planejamento hidrológico (LIMA; SEDIYAMA, 2006; BLANCO; SENTELHAS, 2002).

A radiação solar é medida por instrumentos como os radiômetros, actinógrafos bimetalícos e piranômetros, que também medem a radiação difusa, sendo este o mais utilizado no Brasil (DORNELAS *et al.*, 2006).

Porém, tais instrumentos não estão disponíveis na maioria dos locais, devido ao elevado custo de aquisição e problemas de manutenção e calibração dos mesmos (SILVA *et al.*, 2012; ROBAA, 2009). Para localidades onde não existe a coleta de dados de radiação solar, valores estimados podem ser obtidos com o uso de modelos matemáticos, que diferem entre si pelo grau de complexidade e pelas variáveis de entrada. É importante ressaltar que os modelos são, em geral, restritos às condições para as quais foram desenvolvidos, apresentando problemas quando não devidamente calibrados (BORGES *et al.*, 2010).

No intuito de resolver a limitação da disponibilidade de dados de insolação, para fins de estimativa da ET_o , Hargreaves (1982) propôs um modelo simples para estimar R_s a partir da temperatura do ar.

Silva *et al.* (2012) analisando o desempenho de modelos de estimativa da R_s para as regiões

Metropolitana, Vale do Rio Doce e Zona da Mata, no estado de Minas Gerais, afirmam que o modelo sugerido por Hargreaves e Samani (1982) com calibração de seus coeficientes obteve a melhor estimativa da R_s . Liu *et al.* (2009) verificou, por sua vez, que para as condições climáticas do norte e noroeste da China o modelo com as melhores estimativas foi o de Bristow e Campbell (1984), corroborando os resultados obtidos por Meza e Varas (2000) para o Chile.

Borges *et al.* (2010) afirmam, em seu estudo na cidade de Cruz das Almas-BA, que o modelo de Hargreaves e Samani (1982) apresentou as melhores estimativas da R_s para região costeira utilizando o coeficiente de ajuste K_{Rs} (0,19), diferindo dos resultados de Nogueira *et al.* (2012) que apontam fraco desempenho desse modelo para a cidade de Jaguaruana-CE e de Tabari *et al.* (2014) em região semiárida do Irã, no mesmo estudo este autor também registrou fraco desempenho do modelo de Annandale *et al.* (2002).

Desta forma, objetivou-se com este trabalho avaliar o desempenho de modelos de estimativa da radiação solar global, utilizando dados de temperatura máxima e mínima do ar, para seis cidades do estado do Ceará.

MATERIAL E MÉTODOS

Para realização do presente trabalho, foram utilizados dados médios mensais dos elementos meteorológicos: temperatura máxima e mínima do ar e radiação solar global, da rede de estações automáticas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2013), localizadas em seis cidades do estado do Ceará (Quadro 1).

Quadro 1. Coordenadas geográficas das estações meteorológicas e período estudado

Cidade	Latitude	Longitude	Altitude (m)	T_{med}	Precipitação anual (mm)	Período
Barbalha	-7.31	-39.30	409,03	26,43	1112,10	2007-2013
Campos Sales	-7,00	-40,38	583,50	25,36	600,96	2008-2013
Crateús	-5,16	-40,66	296,82	27,55	778,60	2009-2013
Iguatu	-6,26	-39,29	217,67	27,68	1026,52	2007-2013
Jaguaribe	-5,90	-38,62	149,00	29,50	603,57	2008-2013
Quixeramobim	-5,16	-39,28	79,50	27,89	761,05	2007-2013

A radiação solar global foi estimada de acordo com o procedimento sugerido por Ball *et al.* (2004):

$$R_s = R_a \cdot Tt \quad (1)$$

em que,

R_s = radiação solar global, MJ m⁻² dia⁻¹;

R_a = radiação no topo da atmosfera, MJ m⁻² dia⁻¹; e

Tt = transmissividade atmosférica, adimensional.

A radiação solar no topo da atmosfera foi obtida conforme os procedimentos sugeridos por Allen *et al.* (1998) (Equações 2 a 5).

$$R_a = \frac{24 \cdot 60}{\pi} \cdot G_{sc} \cdot d_r \cdot (\omega_s \cdot \sin \varphi \cdot \sin \delta + \cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \sin \omega_s) \quad (2)$$

$$d_r = 1 + 0,033 \cdot \cos \left(\frac{2 \cdot \pi \cdot J}{365} \right) \quad (3)$$

$$\omega_s = \cos^{-1}(-\tan \varphi \cdot \tan \delta) \quad (4)$$

$$\delta = 0,409 \cdot \sin \left(\frac{2 \cdot \pi \cdot J}{365} - 1,39 \right) \quad (5)$$

em que,

G_{sc} = constante solar, 0,0820 MJ m⁻² min⁻¹;

d_r = distancia relativa Terra-Sol;

ω_s = ângulo horário do pôr do sol, radianos;

φ = latitude do local, radianos;

δ = declinação solar, radianos; e

J = dia Juliano.

A radiação solar global (R_s) foi estimada de acordo com os procedimentos sugeridos por Hargreaves e Samani (1982), Bristow e Campbell (1984), Hargreaves-Samani modificado por Richardson (1985), Donatelli e Campbell (1998), Goodim *et al.* (1999), Annandale *et al.* (2002), Ball *et al.* (2004) e Chen *et al.* (2004), , respectivamente (Quadro 2).

Para as comparações entre os dados de radiação solar global observados nas estações automáticas e estimados com base nos modelos empíricos, foram utilizados os seguintes índices estatísticos apresentados no Quadro 3.

Quadro 2. Modelos utilizados para a estimativa da radiação solar gl

Eq. nº	Autores	Abreviatura	Equação	Coef.
6	Hargreaves & Samani (1982)	HS	$R_s = R_a \cdot K_{Rs} \cdot (T_{\max} - T_{\min})^{0,5}$	-
7			$R_s = R_a \cdot T_{t\max} \cdot T_{tf}$	-
8	Bristow & Campbell (1984)	BC	$T_{tf} = 1 - \exp[-b(T_{\max} - T_{\min})^c]$	c
9			$b = 0,036 \cdot \exp[-0,154(T_{\max} - T_{\min})]$	-
10	Richardson (1985)	HS-R	$R_s = R_a \cdot [a + b \cdot (T_{\max} - T_{\min})^{0,5}]$	a e b
11	Donatelli & Campbell (1998)	DC	$R_s = R_a \cdot \{0,75[1 - \exp(-0,226(T_{\max} - T_{\min})^2)]\}$	-
12	Goodim <i>et al.</i> (1999)	Gd	$R_s = R_a \cdot \{0,68[1 - \exp(-0,03(T_{\max} - T_{\min})^{2,02})]\}$	-
13	Annandale <i>et al.</i> (2002)	Ann	$R_s = R_a \cdot K_{Rs} \cdot (1 + 2,7 \cdot 10^{-5} \cdot Alt) \cdot (T_{\max} - T_{\min})^{0,5}$	-
14	Ball <i>et al.</i> (2004)	Ball	$R_s = R_a \cdot \{a[(T_{\max} - T_{\min})^{0,5}]^b\}$	a e b
15	Chen <i>et al.</i> (2004)	Chen	$R_s = R_a \cdot [a \cdot (T_{\max} - T_{\min})^b]$	a e b

k_{Rs} = coeficiente empírico, (0,16 para cidades do interior e 0,19 para cidades litorâneas); a e b = coeficientes; Alt = altitude, m; $T_{\max}$ = máxima transmissividade ocorrida em um dia de céu claro para um determinado local; T_{tf} = é a fração de $T_{t\max}$ observado para um determinado dia.

Quadro 3. Indicadores estatísticos utilizados na análise do desempenho dos modelos.

Eq. nº	Estatística	Abreviatura	Equação
16	Porcentagem	%	$\frac{Y \cdot 100}{Y_{est}}$
17	Erro médio	EM (MJ m ² dia ⁻¹)	$\frac{\sum(Y_{est} - Y)}{N}$
18	Erro padrão de estimativa	EPE (MJ m ² dia ⁻¹)	$\sqrt{\frac{\sum(Y - Y_{est})^2}{N}}$

Y = radiação observada; Y_{est} = radiação estimada; N = número de observações.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Dentre os modelos utilizados foi realizada a calibração em quatro deles, e seus valores podem ser observados no Quadro 4. O coeficiente “c” de Bristow & Campbell (1984) mostrou pouca variação nas cidades estudadas, com valor médio de 2,37, podendo este ser utilizado, mostrando que não é necessária a calibração desse coeficiente em locais semelhantes. Os demais coeficientes mostraram grande variação de acordo com a cidade, necessitando assim da calibração de parâmetros para adequação ao local de estudo.

De acordo com Figura 1, dentre as seis localidades avaliadas, os modelos propostos por Hargreaves-Samani e modificados por Richardson (1985) e Ball *et al.* (2004) obtiveram os menores erros (EPE) na estimativa da radiação solar, com valores mais próximos a zero, variando de 1,55 a 2,16 MJ m² dia⁻¹. Resultados positivos também

foram alcançados pelo modelo de Chen *et al.* (2004), com um EPE que variou de 1,57 a 2,17 MJ m² dia⁻¹. Diferentemente dos resultados obtidos no presente trabalho, Liu *et al.* (2009) encontraram um pior desempenho na estimativa da radiação solar para o modelo de Chen *et al.* (2004) no noroeste da China, com EPE de 4,5 MJ m² dia⁻¹. No modelo proposto por Bristow e Campbell (1984), os valores de EPE encontrados variaram de 1,60 a 2,38 MJ m² dia⁻¹. Estudando as regiões Metropolitana, Vale do Rio Doce e Zona da Mata em Minas Gerais, Silva *et al.* (2012) encontraram um resultado inferior com um EPE de (3,2 MJ m² dia⁻¹), para o modelo de Bristow e Campbell (1984). Analisando o referido modelo, Abraha e Savage (2008) registraram valor de EPE de 3,27 MJ m² dia⁻¹ para as cidades de Davis e Cortez nos EUA, Padova na Itália, Rothamsted no Reino Unido, Wageningen na Holanda, Pretoria na África do Sul e Griffith na Austrália.

Quadro 4. Valores dos coeficientes de calibração de cada modelo.

Cidade	Valor do coeficiente calibrado						
	Bristow e Campbell (1984)	Richardson (1985)		Ball <i>et al.</i> (2004)		Chen <i>et al.</i> (2004)	
	c	a	b	a	b	a	b
Barbalha	2.40	0.30	0.10	0.34	0.52	0.34	0.26
Campo Sales	2.37	0.00	0.18	0.17	1.06	0.17	0.52
Crateús	2.34	0.39	0.06	0.39	0.35	0.42	0.16
Iguatu	2.42	0.43	0.07	0.44	0.31	0.47	0.14
Jaguaribe	2.37	0.48	0.04	0.48	0.19	0.50	0.08
Quixeramobim	2.34	0.00	0.19	0.17	1.10	0.18	0.52

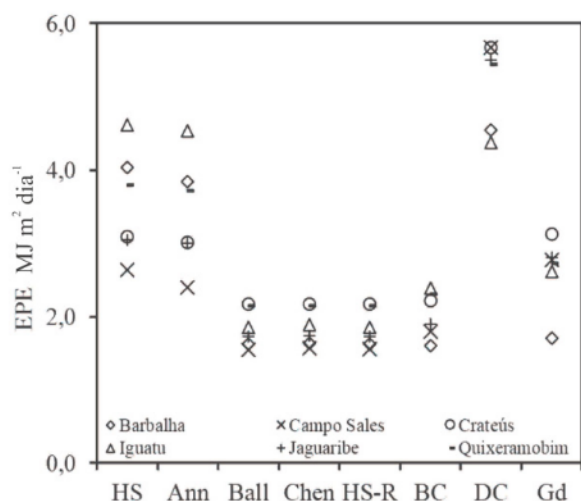


Figura 1. Erro padrão de estimativa para a avaliação dos modelos de estimativa da radiação solar para os seis municípios do estado do Ceará.

Os piores resultados quanto ao indicador estatístico EPE foram observados no modelo de Donatelli e Campbell (1998), com valores que variaram de 4,38 a 5,67 MJ m² dia⁻¹ (Figura 1). Resultado semelhante foi encontrado por Rivington *et al.* (2005) com um EPE de 4,17 MJ m² dia⁻¹ para a cidade de Wallingford no Reino Unido. Já Abraha e Savage (2008) encontraram melhor desempenho do modelo de Donatelli e Campbell (1998) com um EPE de 3,23 MJ m² dia⁻¹ para seis cidades distribuídas em quatro continentes. Esses valores elevados de EPE podem ser explicados pelo fato do modelo utilizar valores constantes obtidos para a Itália, lugar de seu desenvolvimento, tais valores não se ajustaram aos locais em estudo, principalmente para as cidades de Campo Sales e Crateús onde ocorreram os maiores erros.

Observa-se nos resultados do EPE (Figura 1) que o modelo proposto por Hargreaves e Samani (1982) também não obteve resultados satisfatórios, com valores que variaram de 2,63 para a cidade de Campo Sales a 4,62 MJ m² dia⁻¹ para Iguatu (Figura 1), valor semelhante ao encontrado por Borges *et al.* (2010) em Cruz das Almas-BA com EPE de 4,76 MJ m² dia⁻¹. Este resultado pode ser em virtude do uso do coeficiente K_{Rs} , que utiliza 0,19 para o litoral e 0,16 para o interior. O uso do valor de 0,16 nas cidades estudadas não mostrou

eficácia na estimativa da R_s , sendo necessário sua calibração. Já em região semiárida do Irã, Tabari *et al.* (2014) obtiveram melhor resultado para o modelo citado com um EPE de 3,0 MJ m² dia⁻¹. Calibrando o coeficiente K_{Rs} , Silva *et al.* (2012) encontraram valor de 3,2 MJ m² dia⁻¹ estudando as regiões Metropolitana, Vale do Rio Doce e Zona da Mata em Minas Gerais. Observa-se com esses resultados que a calibração do coeficiente K_{Rs} , em algumas regiões não foi eficaz na estimativa da R_s , mostrando que o uso desta equação para condições climáticas semelhantes não é recomendado.

Na avaliação do EM (Figura 2), os menores erros foram observados nos modelos propostos por Hargreaves-Samani, modificado por Richardson (1985) e Ball *et al.* (2004), com valores que variaram de 0,03 a -0,12 MJ m⁻² dia⁻¹. Quanto mais próximo de zero, melhor o resultado do modelo, seja subestimando ou superestimando o observado. O modelo de Chen *et al.* (2004), obteve valores de EM que superestimam o observado, tais valores situam-se entre 0,05 a 0,28 MJ m⁻² dia⁻¹. Liu *et al.* (2009) encontraram EM de -1,4 MJ m⁻² dia⁻¹ estudando o referido modelo para o noroeste da China. Também utilizando o modelo citado anteriormente Silva *et al.* (2012), estudando as regiões Metropolitana, Vale do Rio Doce e Zona da Mata em Minas Gerais, encontraram valor de -0,12 MJ m⁻² dia⁻¹.

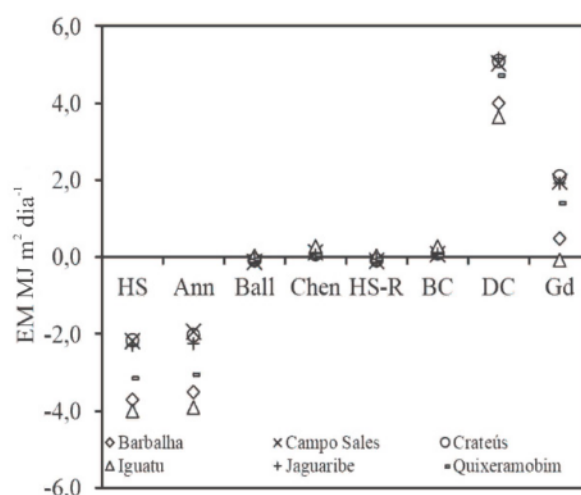


Figura 2. Erro médio para a avaliação dos modelos de estimativa da radiação solar para os seis municípios do estado do Ceará.

O modelo de Goodim *et al.* (1999) mostrou bom resultado apenas para a cidade de Iguatu com uma subestimativa de $0,10 \text{ MJ m}^2 \text{ dia}^{-1}$ e para a cidade de Barbalha com EM de $0,20 \text{ MJ m}^2 \text{ dia}^{-1}$, este modelo foi desenvolvido para as condições climáticas do Kansas nos Estados unidos, este estado apresenta temperaturas médias no verão em torno de 27°C e precipitação anual em torno de 900 mm, tais características mostram certa semelhança com as características climáticas das cidades de Iguatu e Barbalha.

Resultados inferiores foram encontrados no modelo proposto por Donatelli e Campbell (1998), com valores discrepantes que variaram de 3,64 a $5,16 \text{ MJ m}^2 \text{ dia}^{-1}$ (Figura 2), tais resultados mostram a ineficiência do mesmo no cálculo da R_s , sendo que este utilizou valores constantes que foram desenvolvidos na Itália sendo este um local de clima e relevo diferentes, não se adequando ao local de estudo. Calibrando os coeficientes do modelo citado Silva *et al.* (2012) encontrou valores de EM de $0,2 \text{ MJ m}^2 \text{ dia}^{-1}$, justificando que o uso deste modelo é recomendado apenas no caso da calibração de seus parâmetros, assim obtendo uma estimativa mais precisa da R_s .

Vale ressaltar o fraco desempenho do modelo proposto por Annandale *et al.* (2002), com valores de EM que subestimaram os valores observados em todos os locais de estudo, variando de $-1,92$ a $-3,91 \text{ MJ m}^2 \text{ dia}^{-1}$ (Figura 2). Tabari *et al.* (2014), em estudo realizado no Irã, encontrou resultados semelhantes utilizando o modelo de Annandale *et al.* (2002) com seus coeficientes calibrados obtendo, com isso, EM de $-1,16 \text{ MJ m}^2 \text{ dia}^{-1}$. Utilizando o mesmo modelo, Bandyopadhyay *et al.* (2008) encontraram melhor resultado com EM de $0,816 \text{ MJ m}^2 \text{ dia}^{-1}$, para condições climáticas semelhantes de Jodhpur, na Índia.

Analisando a percentagem de erro de cada modelo, que quanto mais próximo de 100, melhor foi seu desempenho, pode-se observar que os melhores resultados foram observados nos modelos para os quais os coeficientes foram calibrados (Figura 3), adequando-se, com isso, às condições climáticas de cada região. Foram eles: Ball *et al.* (2004), Chen *et al.* (2004), Hargreaves-Samani modificado por Richardson (1985) e Bristow e Campbell (1984); já os piores resultados foram obtidos utilizando-se o modelo proposto por Donatelli e Campbell (1998).

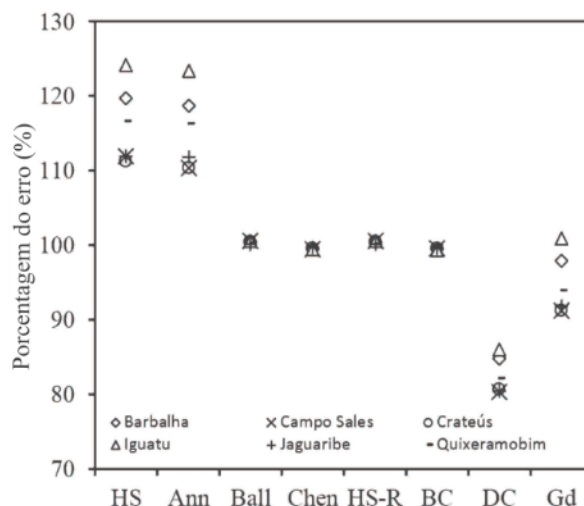


Figura 3. Percentagem de erro para a avaliação dos modelos de estimativa da radiação solar para os seis municípios do estado do Ceará.

Vale ressaltar que o modelo proposto por Goodim *et al.* (1999), mesmo não possibilitando calibração, apresentou bons resultados para as cidades de Iguatu e Barbalha, indicando que seus coeficientes constantes estão adequados a essas cidades, podendo ser recomendado seu uso em condições semelhantes.

CONCLUSÃO

- COOs modelos que proporcionaram os melhores resultados e que podem ser recomendados para utilização na estimativa da radiação solar para as cidades avaliadas no estudo são os de Hargreaves-Samani modificado por Richardson (1985) e de Ball *et al.* (2004);
- As piores estimativas da radiação solar foram obtidos quando utilizados os modelos propostos por Donatelli e Campbell (1998) e Hargreaves e Samani (1982).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAHA, M.G.; SAVAGE, M.J. Comparison of estimates of daily solar radiation from air temperature range for application in

crop simulations. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.148, n.3, p.401-416, 2008.

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. **Irrigation and Drainage Paper 56**, p.300, 1998.

ANNANDALE, J.; JOVANOVIĆ, N.; BENADE, N.; ALLEN, R. Software for missing data error analysis of Penman-Monteith reference evapotranspiration. **Irrigation Science**, v.21, n.2, p.57-67, 2002.

BALL, R.A.; PURCELL, L.C.; CAREY, S.K. Evaluation of solar radiation prediction models in North America. **Agronomy Journal**, Wisconsin, v.96, n.2, p.391-397, 2004.

BANDYOPADHYAY, A.; BHADRA, A.; RAGHUWANSHI, N. S.; SINGH, R. Estimation of monthly solar radiation from measured air temperature extremes. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.148, n.11, p.1707-1718, 2008.

BLANCO, F.A.; SENTELHAS, P.C. Coeficientes da equação de Angstrom-Prescott para estimativa da insolação para Piracicaba, SP. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.10, n.2, p.295-300, 2002.

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**, Pullman, v.31, n.2, p.159-166, 1984.

CHEN, R.S.; ERSI, K.; YANG, J.P.; LU, S.H.; ZHAO, W.Z. Validation of five global radiation models with measured daily data in China. **Energy Conversion and Management**, v.45, n.11, p.1759-1769, 2004.

DONATELLE, M.; CAMPBELL, G.S. A simple model to estimate global solar radiation. In: PROCEEDING ESA CONGRESS, 9, 1998, Nitra, Repuclic Slovak. **Proceedings...** Nitra, Republic Slovak: Slovak Agricultural University. p.133-134.

DORNELAS, K.D.S.; SILVA, C.L.; OLIVEIRA, C.A.S. Coeficientes médios da equação de Angström-Prescott, radiação solar e evapotranspiração de referência em Brasília. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília-DF, v.41, n.8, p.1213-1219, 2006.

GOODIM, D.G.; HUTCHINSON, J.M.S.; VANDERLIP, R.L.; KNAPP, M.C. Estimating solar irradiance for crop modeling using daily air temperature data. **Agronomy Journal**, Wisconsin, v.91, n.5, p.845-851, 1999.

HARGREAVES, G.H.; SAMANI, Z.A. Estimating potential evapotranspiration. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v.108, n.3, p.225-230, 1982.

INMET. Normais climatológicas (1961-1990). Instituto Nacional de Meteorologia, Brasília 2013.

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.

LIU, X.; MEI, X.; LI, Y.; WANG, Q.; JENSEN, J.R.; ZHANG, Y.; PORTER, J.R. Evaluation of temperature-based global solar radiation models in China. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.149, n.9, p.1433-1446, 2009.

NOGUEIRA, D.H.; SILVA, M.G.; LEDO, E.R.F.; ARAÚJO, E.M.; ARAÚJO, E.M. Estimativa da radiação solar global (Rs) através da amplitude térmica diária. In: INOVAGRI International Meeting e IV WINOTEC Workshop Internacional de Inovações Tecnológicas na Irrigação. 2012, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: INOVAGRI Meeting, 2012.

RICHARDSON, C.W. Weather simulation for crop management models. **Transaction ASABE**, v.28, n.5, p.1602-1606, 1985.

RIVINGTON, M.; BELLOCCHI, G.; MATTHEWS, K.B.; BUCHAN, K. Evaluation of three model estimations of solar radiation at 24 UK stations. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.132, n.3-4, p.228-243, 2005.

ROBAA, S.M. Validation of the existing models for estimating global solar radiation over Egypt. **Energy Conversion and Management**, v.50, n.1, p.184-193, 2009.

SILVA, C.R.; SILVA, V.J.; ALVES JUNIOR, J.; CARVALHO, H.P. Radiação solar estimada com base na temperatura do ar para três regiões de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.3, p.281-288, 2012.

TABARI, H.; TALAEI, P.H.; WILLEMS, P.; MARTINEZ, C. Validation and calibration of solar radiation equations for estimating daily reference evapotranspiration at cool semi-arid and arid locations. **Hydrological Sciences Journal**, p.37-42, 2014.