

Calibração e validação de modelos de estimativa de radiação solar global para o estado do Rio Grande do Sul

**JOÃO RODRIGO DE CASTRO¹; RENÃ ARAÚJO²; JOÃO M. HOFFMANN³,
SANTIAGO VIANA CUADRA⁴, ALEXANDRE BRYAN HEINEMANN⁵, LUCIANA
BARROS PINTO⁶**

^{1,2,3}*Universidade Federal de Pelotas – joaorodrigo2005@gmail.com¹, rena543@gmail.com²,
jm.hoffmann@yahoo.com.br³*

^{4,5}*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) – santiago.cuadra@embrapa.br⁴,
alexandre.heinemann@embrapa.br⁵*

⁶*Universidade Federal de Pelotas – luciana.pinto@ufpel.edu.br*

1. INTRODUÇÃO

A radiação solar global (R_s) é uma das variáveis que exercem um impacto direto na produtividade das culturas agrícolas, sendo importante para os estudos sobre o crescimento e desenvolvimento destas. Um fator que limita a obtenção deste tipo de dado é o alto custo dos equipamentos, restando como alternativa a utilização de equações empíricas de estimativa de radiação solar baseadas em outras variáveis de fácil obtenção, como por exemplo, a temperatura do ar (T), radiação extraterrestre (Ra) e precipitação pluviométrica.

Na literatura encontra-se uma série de estudos que visam a obtenção de estimativas de R_s a partir de equações empíricas (JERSZURKI; SOUZA, 2013; SILVA et al., 2012; SALIMA; CHALUVA, 2012; FIETZ; FISCH, 2009) e, embora obtenham resultados distintos, a magnitude das diferenças entre a radiação medida com instrumentos e as estimadas pelos métodos empíricos é muitas vezes pequena, indicando que os métodos empíricos são uma boa alternativa para preencher séries de dados que apresentem falhas em relação à observação de R_s , ou em locais que simplesmente esse tipo de dado não seja observado diariamente.

Assim, o objetivo deste estudo é realizar a calibração e validação de cinco modelos de estimativa de R_s , baseados em dados diários de temperatura do ar, para o Estado do Rio Grande do Sul.

2. METODOLOGIA

Para a estimativa de R_s foram utilizados os modelos de: Bristow-Campbell (1984) – BC (Equação 3); Donatelli-Campbell (1998) – DC (Equação 4); Donatelli-Bellocchi (2001) – DB (Equação 5); Hunt et al. (2008) – HG1(Equação 6), e Chen et al. (2004) – HG2 (Equação 7). O conjunto de equações acima, bem como as variáveis utilizadas é apresentado na tabela 1.

Para realizar a calibração dos modelos de estimativa de R_s , foram utilizados os dados de R_s e temperatura máxima e mínima, referentes aos anos pares dentro do período de dados (2008 a 2014), para cada uma das localidades avaliadas (Figura 1). Depois de obtidos os parâmetros empíricos de cada modelo, pelo método dos mínimos quadrados, as validações destes foram realizadas utilizando os dados referentes aos anos ímpares do período de dados utilizado.

Para avaliar a acurácia nas estimativas de radiação solar obtidas pelos diferentes modelos, foram utilizadas três medidas estatísticas descritivas: coeficiente de correlação (r), EM (Erro Médio) – equação 1 e RQME (Raiz Quadrada do Quadrado Médio do Erro) – equação 2.

$$EM = \frac{1}{n} \sum Rad_{est} - Rad \quad \text{eq.1}$$

$$RQME = \sqrt{\frac{1}{n} \sum (Rad_{est} - Rad)^2} \quad \text{eq.2}$$

Tabela 1 - Lista de modelos de estimativa de R_s utilizando a temperatura do ar utilizadas no estudo.

Modelos	Equação
$R_{sBC} = 0.75 \left[1 - \exp \left(\frac{-b \Delta T_i^c}{\Delta T_{avg}} \right) \right] R_a$	eq. 3
$R_{sDC} = 0.75 \left[1 - \exp \left(-b \left(0.017 \exp \left(\exp(-0.053 \Delta T_{avg}) \right) \right) \Delta T_i^2 f_1(T_{min}) \right) \right] R_a$	eq. 4
$R_{sDB} = 0.75 [1 - f_2(i)] \left[1 - \exp \left(\frac{-b \Delta T_i^c}{\Delta T_{avg}} \right) \right] R_a$	eq. 5
$R_{sHG1} = b R_a \sqrt{T_{max} - T_{min}} + c$	eq. 6
$R_{sHG2} = (b \sqrt{T_{max} - T_{min}} + c) R_a$	eq. 7

Nas equações 3 a 7 as variáveis são: R_a = radiação solar potencial diária ($MJm^{-2}dia^{-1}$), que utiliza equações astronômicas baseadas na latitude e longitude do local desejado; $\Delta T = T_{max} - (T_{min} + T_{min+1})/2$, onde T_{max} é a temperatura máxima do ar e T_{min} é a temperatura mínima; ΔT_{avg} é a temperatura semanal móvel, baseada na média móvel centrada na temperatura mínima e máxima ($^{\circ}C$).



Figura 1 – Localização das estações utilizadas neste estudo.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observou-se que, de maneira geral os modelos que apresentaram desempenho mais satisfatório foram os modelos HG1, HG2 e DC (Tabela 2). Pela avaliação pontual do EM (não mostrado) é possível afirmar que os modelos de estimativa de radiação baseados na temperatura, aqui avaliados, superestimam a radiação solar incidente em quase todos os municípios, porém com EM inferior a $2 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$. Destaca-se ainda que os maiores erros foram concentrados nas cidades litorâneas - Santa Vitória do Palmar, Mostardas, Rio Grande, Tramandaí e Torres, juntamente com as cidades de Encruzilhada do Sul e Cruz Alta, sendo estes altos valores de EM obtidos com os modelos DB e BC onde destacam-se os EM's obtidos com o modelo DB, sendo estes superiores a $4 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ em todas as cidades litorâneas exceto Rio Grande.

Resultados similares foram obtidos no Brasil, onde HEINNEMAN et al. (2012) em estudo para o estado de Goiás, observou que a média das correlações entre os valores estimados e observados pelo modelo DC foi de 0,74. Já SILVA et al. (2012) obtiveram valores de EM abaixo de $0,5 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ utilizando os modelos BC, DC, HG1 e HG2 em estudo para o estudo no estado de Minais Gerais, o que mostra a boa adaptabilidade dos modelos quando utilizados em diferentes condições climáticas.

Tabela 2 – Médias do coeficiente de correlação e do Erro Médio para as localidades presentes no estudo.

Índice	Modelos				
	HG1	HG2	BC	DC	DB
Erro Médio	0,05	0,11	0,53	0,15	-0,32
Desv. Padrão	0,27	0,24	1,28	0,41	2,44
Correlação	0,84	0,83	0,81	0,82	0,77
Desv. Padrão	0,05	0,06	0,07	0,08	0,16

Comparando-se o desempenho dos modelos DC, BC e DB (considerados mais completos) (Tabela 1), observa-se que o modelo DC apresentou melhores resultados, porém este mesmo comportamento não foi observado por MAVROMATIS; JAGTAP (2005) em estudo realizado no estado da Flórida (EUA), onde obtiveram EM's de -0,0317 (modelo DC), -0,0341 (modelo BC) e -0,0235 (modelo DB). Desempenho similar ao encontrado nos EUA utilizando os modelos DC e BC também foi observado por ALMOROX et al. (2011) em estudo realizado em Madrid, Espanha, onde a média dos EM's observados foram de -0,016 para o modelo BC e -0,042 para DC, onde se observa a melhor calibração encontrada nestes dois estudos uma vez que a magnitude do EM é inferior ao aqui apresentado.

Os modelos HG1 e HG2 também foram avaliados em estudo realizado na China (LIU et al., 2009), onde o modelo HG1 apresentou um EM próximo a zero e o modelo HG2 apresentou EM inferior a $0,3 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$.

4. CONCLUSÕES

Os modelos aqui avaliados obtiveram um desempenho considerado satisfatório na estimativa de radiação solar global, especificamente para localidades situadas no interior do continente, onde se destaca o desempenho do modelo HG1.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BRISTOW, K.L.; CAMPBELL, G.S. On the relationship between incoming solar radiation and daily maximum and minimum temperature. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.31, p.159-166, 1984.
- CEBALLOS, J. C.; BOTTINO, M. J.; SOUZA, J. M. A simplified physical model for assessing solar radiation over Brazil using GOES 8 visible imagery, **Journal of Geophysical Research**, v. 109, D02211, doi: 10.1029/2003JD003531, 2004.
- CHEN, R.;ERSI, K.; YANG, J.; LU, S.; ZHAO, W. Validation of five global radiation models with measured daily data in China. **Energy Conversion and Management**, v.45, p.1759–1769, 2004.
- DONATELLI, M.; CAMPBELL, G.S. A simple model to estimate global solar radiation. In: CONGRESS OF THE EUROPEAN SOCIETY FOR AGRONOMY, 5., Nitra, Slovak Republic, 1998.
- DONATELLI, M.; BELLOCCHI, G.; FONTANA, F. RadEst 3: a software to estimate daily radiation data from commonly available meteorological variables. **European Journal of Agronomy**, v.18, p.363-367, 2003.
- FIETZ, C. R.; FISCH, G. F. Avaliação de modelos de estimativa do saldo de radiação e do método de Priestley-Taylor para a região de Dourados, MS. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.13, n.4, p.449-553, 2009.
- HEINEMANN, A. B.; VAN OORT. P. A. J.; FERNANDES, D. S.; MAIA, A. H. N. Sensitivity of APSIM/ORYZA model due to estimation errors in solar radiation. **Bragantia**, Campinas, v.71, n.4, p.572-582, 2012.
- HUNT, L.A.; KUCHAR, L.; SWANTON, C.J. Estimation of solar radiation for use in crop modelling. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.91, p.293-300, 1998.
- JERSZURKI, D.; SOUZA, J. L. M. Parametrização das equações de hargreaves & Samani e Angstron-Prescott para estimativa da radiação solar na região de Telêmaco Borba, Estado do Paraná. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 43, n.3, p.383-389, 2013.
- PINTO, L. I. C.; COSTA, M. H.; DINIZ, L. M. F.; SEDIYAMA, G. C.; PRUSKI, F. F. COMPARAÇÃO DE PRODUTOS DE RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE À SUPERFÍCIE PARA A AMÉRICA DO SUL. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 25, n.4, p.469-478, 2010.
- SALIMA, G.; CHAVULA, G. M. S. Determining Angstron Constants for Estimating Solar Radiation in Malawi. **International Journal of Geosciences**, v. 3, p.391-397, 2012.
- SILVA, C. R.; SILVA, V. 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**, **Campina Grande**, v.16, n.3, p.281-288, 2012.