

CALIBRAÇÃO DA EQUAÇÃO DE ANGSTRÖM-PRESCOTT PARA O MUNICÍPIO DE CHAPADINHA, LESTE MARANHENSE

MÁDILO LAGES VIEIRA PASSOS¹, NICHOLAS RIBEIRO SILVA², RONNEY MENDES MAGALHÃES DE LIMA³

¹ Eng. Agrícola, Doutorando, Depto. de Recursos Hídricos, DRH/UFLA, Lavras – MG, madilolages@hotmail.com

² Eng. Agrônomo, Mestre, Depto. de Engenharia Agrícola, DENA/UFC, Fortaleza – CE.

³ Eng. Agrônomo, Doutorando, Depto. de Engenharia Agrícola, DENA/UFC, Fortaleza – CE.

Apresentado no
LII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2023
18 a 21 de outubro de 2023 – Ribeirão Preto - SP, Brasil

RESUMO: A radiação solar incidente (Q_g) é um importante elemento meteorológico, cuja modelagem e estimativa são uteis para diversas aplicações. Objetivou-se estimar os coeficientes (a e b) da equação de Angström-Prescott para explicitar a radiação solar no município de Chapadinha-MA. A série histórica compreendeu o período entre os anos de 2009 (início de funcionamento da estação automática) a 2019. Foram descartados os anos de 2016 e 2017, perfazendo uma série histórica constituída de 9 anos. Os coeficientes médios a e b da equação de Angström-Prescott, foram determinados em dois períodos de tempo: anual e geral (toda a série). Observou-se que, para o período anual, os valores dos parâmetros “a” e “b” foram 0,3263 e 0,3584, respectivamente. No que se refere ao período geral, a análise estatística evidenciou coeficientes de 0,3252 (a) e 0,3615 (b). O desempenho de ambos os modelos (anual e geral) foi análogo e estimou R^2 de 0,7216. Os modelos gerados podem ser usados para o cálculo da radiação solar incidente em Chapadinha-MA.

PALAVRAS-CHAVE: modelagem, piranômetro, radiação solar

CALIBRATION OF THE ANGSTRÖM-PRESCOTT EQUATION FOR THE CITY OF CHAPADINHA, EAST MARANHENSE

ABSTRACT: Incident solar radiation (Q_g) is an important meteorological element, whose modeling and estimation are useful for several applications. The objective was to estimate the coefficients (a and b) of the Angström-Prescott equation to explain the solar radiation in the municipality of Chapadinha-MA. The historical series comprised the period between the years 2009 (beginning of operation of the automatic station) to 2019. The years 2016 and 2017 were discarded, making up a historical series consisting of 9 years. The average coefficients a and b of the Angström-Prescott equation were determined in two time periods: annual and overall (the entire series). It was observed that, for the annual period, the values of parameters “a” and “b” were 0.3263 and 0.3584, respectively. With regard to the general period, the statistical analysis showed coefficients of 0.3252 (a) and 0.3615 (b). The performance of both models (annual and general) was similar and estimated R^2 of 0.7216. The generated models can be used to calculate the incident solar radiation in Chapadinha-MA.

KEYWORDS: modeling, pyranometer, solar radiation

INTRODUÇÃO: O conhecimento da radiação solar na superfície da Terra é necessário para muitas aplicações, incluindo arquitetura, sistemas de energia solar, agricultura, meteorologia e climatologia (MEDEIROS et al., 2017; SILVA et al., 2017). No contexto agrícola, a radiação solar, no geral, representa um dos principais parâmetros climatológicos que influencia na evaporação da água do solo e a transpiração das plantas ou, simultaneamente, a evapotranspiração (PEREIRA et al., 2002). Ainda, condiciona a temperatura do ar e do solo, sendo usada para zoneamento agrícola, modelos de crescimento e produção (FONTANA; OLIVEIRA, 1996). A radiação solar incidente não é registrada na maioria das estações meteorológicas do Brasil. A dificuldade reside no alto custo, manutenção e calibrações contínua dos instrumentos de medição para esta finalidade como radiômetros, actinógrafos bimetálicos e piranômetros (DORNELAS et al., 2006). Como alternativa, são comumente utilizados modelos matemáticos para estimar a radiação solar incidente (Q_g) (BABIKIR et al., 2018). Para locais com pouca disponibilidade de dados de radiação solar global (Q_g), este elemento climatológico pode ser estimado com boa precisão usando-se os coeficientes de regressão a e b da equação de Angström – Prescott (ANDRADE JÚNIOR et al., 2012). Os coeficientes dependem da latitude, época do ano e altitude, e variam em função das mudanças no tipo e espessura de nuvens e concentração de poluentes (ALMOROX et al., 2005). Altos valores de “ a ” podem ser encontrados em regiões de clima semiárido com nuvens menos espessas, proporcionando maior transmissividade da atmosfera e menor atenuação da radiação solar (HINRICHSEN, 1994). O coeficiente “ a ” representa a radiação difusa da irradiação solar global e o “ b ”, a radiação direta (DALLACORT et al., 2004). Objetivou-se estimar os coeficientes (a e b) da equação de Angström-Prescott para explicitar a radiação solar global incidente no município de Chapadinha, estado do Maranhão.

MATERIAL E MÉTODOS: O estudo foi conduzido para o município de Chapadinha / MA. O município de Chapadinha-MA, situa-se na Região do Alto Munim, possui coordenadas geográficas de 3°44’ S e 43°21’ O. As altitudes variam de 100 a 400 m, com relevo ondulado a suave ondulado (MARANHÃO, 2002). O clima, segundo Thornthwaite, é do tipo C2s2A’a’, ou seja, subúmido, megatérmico com grande deficiência hídrica no verão, com temperatura média anual de 27,9 °C e precipitação anual de 1613,2 mm (PASSOS et al., 2016). A série histórica compreendeu o período entre os anos de 2009 (início de funcionamento da estação automática) a 2019, sendo desconsiderados dados que, por alguma razão não foram registrados. Nesse sentido, foram descartados os anos de 2016 e 2017, perfazendo uma série histórica constituída de 9 anos. Os dados diários de insolação (n) foram obtidos junto a estação meteorológica convencional do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) cujo código da Organização Mundial de Meteorologia (OMM) é 82382. Ao passo que os valores diários de radiação solar global (Q_g), por meio da estação automática de codificação A206. A situação atual da estação automática, momento da coleta dos dados, era “pane”. Os coeficientes médios a e b da equação de Angström-Prescott, foram determinados em dois períodos de tempo anual e geral (toda a série). Para o período anual, os coeficientes médios resultaram da regressão linear com os dados de cada ano, sendo que, ao final, um valor médio anual a e b foi calculado. Os coeficientes médios gerais basearam-se na regressão linear com todos os dados diários de n/N e Q_g/Q_o . Por meio de análises de regressão linear para os dados agrupados mensalmente, anual e se considerando todos os dados do período, obtiveram-se os valores dos coeficientes “ a ” e “ b ” da equação de Angström-Prescott (Equação 1).

$$\frac{Q_g}{Q_o} = \left(a + b \frac{n}{N} \right) \quad (1)$$

em que,

Q_g - radiação solar global ($\text{MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$);
 Q_o - radiação extraterrestre ($\text{MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$);
 n - número de horas de brilho solar (h d^{-1});
 N - número máximo de horas de brilho solar (Fotoperíodo) (h d^{-1}).

A radiação solar global incidente numa superfície horizontal paralela à superfície do solo no topo da atmosfera (Q_o) foi obtida pela Equação 2.

$$Q_o = 37,6 \left(\frac{d}{D}\right)^2 \left[\left(\frac{\pi}{180^\circ}\right) hn \sin \Phi \sin \delta + \cos \Phi \cos \delta \sin hn \right] \quad (2)$$

em que,

hn - ângulo horário ($^\circ$);
 δ - é a declinação solar ($^\circ$);
 φ - latitude do local ($^\circ$).

O ângulo horário (hn) no momento do nascer do sol foi calculado pela Equação 3.

$$hn = \arccos[-\text{tg}(\varphi) \text{tg}(\delta)] \quad (3)$$

O fotoperíodo (N), que representa o número máximo de horas com brilho solar, foi estimado pela Equação 4.

$$N = \frac{2 hn}{15} \quad (4)$$

em que,

φ - latitude do local, em graus;
 δ - declinação solar, em graus.

A declinação solar (δ) foi obtida pela equação 5.

$$\delta = 23,45 \text{ sen} \left(\frac{360 (284 + \text{NDA})}{365} \right) \quad (5)$$

em que,

NDA - é o número do dia no ano.

A partir dos dados de radiação (Q_g) estimados pelas metodologias: a) coeficientes “a” e “b” anual; e b) coeficientes “a” e “b” geral. A Q_g foi estimada e correlacionada com os valores de Q_g obtidos pela estação automática.

RESULTADOS E DISCUSSÃO: A Figura 1 apresenta a análise entre as razões Q_g/Q_o e n/N , realizada para a obtenção dos valores de “a” e “b”, considerando-se o agrupamento em todo o período da série estudada.

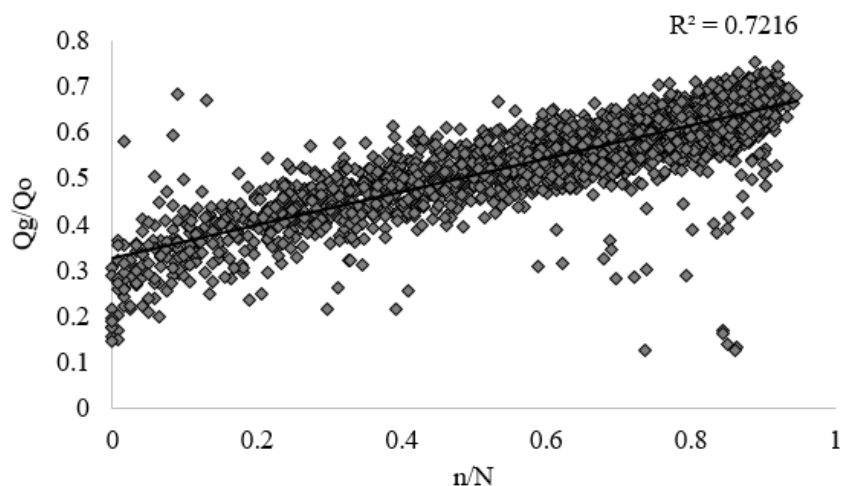


FIGURA 1. Razão de insolação (n/N) e transmissividade atmosférica (Q_g/Q_o), em agrupamento total de dados, Chapadinha-MA.

O coeficiente de determinação (R^2) foi de 0,7216. Precisão semelhante foi observada por Martim et al. (2020) que, em agrupamento total de dados, obtiveram R^2 de 0,7285 para o município Sinop-MT. Ao passo que Dornelas et al. (2006) produziram um ajuste com valor de R^2 igual a 0,81, em Brasília. Carvalho et al. (2011) estimaram coeficiente de determinação de 0,82 para Seropédica, RJ. Dallacort et al. (2004) encontraram 0,839 para a região de Palotina, PR. Os coeficientes calibrados a e b da equação de Angström-Prescott e coeficiente de determinação (R^2), para os agrupamentos de dados anual e geral, são apresentados pela Tabela 1.

TABELA 1. Coeficientes angulares (b) e lineares (a) da equação de Angström-Prescott, em agrupamentos de dados anual e geral, em Chapadinha-MA.

Período	a	b	R^2
Anual	0,3263	0,3584	0,7216
Geral	0,3252	0,3615	0,7216

Observou-se que, para o período anual, em média, os valores dos parâmetros “ a ” e “ b ” foram 0,3263 e 0,3584, respectivamente (Tabela 1). O desempenho do modelo foi análogo ao ajuste geral e estimou R^2 de 0,7216. Para a região de Telêmaco Borba, Estado do Paraná, Jerszurki e Souza (2013) evidenciaram que, em média, o parâmetro “ a ” foi igual a 0,19 e 0,41 para o “ b ” em escala anual. Já Andrade Júnior et al. (2012) observaram valor médio anual de 0,3207 e 0,4598 para “ a ” e “ b ”, respectivamente. No que se refere aos parâmetros considerando toda a série estudada (geral), a análise estatística evidenciou coeficientes de 0,3252 (a) e 0,3615 (b) da equação de Angström-Prescott, para o município de Chapadinha – MA. O relatório 56 (Papel de Irrigação e Drenagem) de Alimentos e Organização da Agricultura (FAO) (ALLEN et al., 1998) recomenda valores, respectivamente, de 0,25 e 0,50 para os coeficientes “ a ” e “ b ”. Neste estudo, observou-se que os valores dos parâmetros ajustados divergiram dos recomendados por Allen et al. (1998) evidenciando a importância da calibração local. No mais, Martim et al. (2020) ressaltam importância da calibração regional dos coeficientes da equação de Angstrom-Prescott, visto que em geral, as recomendações da FAO podem gerar superestimativas de radiação e, conseqüentemente, de evapotranspiração. Nesse sentido, Liu et al. (2009) verificaram superestimativas de 3 a 15% da ETo calculada por Penman-Monteith.

CONCLUSÕES: Os coeficientes (a e b) da equação de Angström-Prescott nos agrupamentos de dados anual e geral não geraram diferenças sensíveis na estimativa de radiação solar (Q_g), no município de Chapadinha, estado do Maranhão. Quaisquer dos coeficientes anual e geral a e b da equação de Angström – Prescott gerados, podem ser usados para o cálculo da radiação solar incidente em Chapadinha-MA.

AGRADECIMENTOS: O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

REFERÊNCIAS:

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 356p. (FAO: Irrigation and Drainage Paper, 56).

ALMOROX, J.; BENITO, M.; HONTORIA, C. Estimation of monthly Angström–Prescott equation coefficients from measured daily data in Toledo, Spain. **Renewable Energy**, v. 30, p. 931-936, 2005.

ANDRADE JÚNIOR, A. S.; NOLETO, D. H.; SILVA, M. E.; BRAGA, D. L.; BASTOS, E. A. Coeficientes da equação de Angström-Prescott para Parnaíba, Piauí. **Comunicata Scientiae**, v.3, p.50-54, 2012.

BABIKIR, M. H.; NJOMO, D.; KHAYAL, M. Y.; TEMENE, H. D.; JOEL, D. T. Estimation of direct solar radiation of Chad. **Energy and Power Engineering**, v. 10, p. 212-225, 2018.

CARVALHO, D. F. D.; SILVA, D. G. D.; SOUZA, A. P. D.; GOMES, D. P.; ROCHA, H. S. D. Coeficientes da equação de Angström-Prescott e sua influência na evapotranspiração de referência em Seropédica, RJ. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, p. 838-844, 2011.

da SILVA, M. B. P.; ESCOBEDO, J. F.; ROSSI, T. J.; dos SANTOS, C. M.; da SILVA, S. H. M. G. Performance of the Angstrom-Prescott Model (AP) and SVM and ANN techniques to estimate daily global solar irradiation in Botucatu/SP/Brazil. **Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics**, v. 60, p. 11-23, 2017.

DALLACORT, R.; de FREITAS, P. S. L.; GONÇALVES, A. C. A.; REZENDE, R.; BERTONHA, A.; da SILVA, F. F.; TRINTINALHA, M. Determinação dos coeficientes da equação de Angstrom para a região de Palotina, Estado do Paraná. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 26, p. 329-336, 2004.

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

FONTANA, D. C.; OLIVEIRA, D. Relação entre radiação solar global e insolação para o Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.4, p.87-91, 1996.

HINRICHSEN, K. The Ångström formula with coefficients having a physical meaning. **Solar Energy**, v. 52, p. 491-495, 1994.

JERSZURKI, D.; SOUZA, J.L.M. Parametrização das equações de Hargreaves & Samani e Angström-Prescott para estimativa da radiação solar na região de Telêmaco Borba, Estado do Paraná. **Ciência Rural**, v.43, p.383-389, 2013.

LIU, X.; MEL, X.; LI, Y.; WANG, Q.; ZHANG, Y.; PORTER, J.R. Variation in reference crop evapotranspiration caused by the Angstrom-Prescott coefficient: Locally calibrated versus the FAO recommended. **Agricultural Water Management**, v. 96, p. 1137-1145, 2009.

MARANHÃO - GOVERNO DO ESTADO DO MARANHÃO. **Gerência de Planejamento e Desenvolvimento Econômico - GEPLAN**. Atlas do Maranhão. São Luís: Universidade Estadual do Maranhão, 39 p. 2002.

MARTIM, M. C. C.; ZAMADEI, T.; SOUZA, A. P.; ALMEIDA, F. T.; ZOLIN, C. A. COEFICIENTES DE ANGSTRÖM-PRESCOTT E A EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA NA TRANSIÇÃO CERRADO-AMAZÔNIA DO MATO GROSSO. **Revista Brasileira de Climatologia**, v.26, p .579-594, 2020.

MEDEIROS, F.J.; M. SANTOS, C.M.; BEZERRA, S.B.G. Calibração da Equação de Ångström-Prescott para Estimar a Radiação Solar Diária no Estado do Rio Grande do Norte, Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 32, p. 409-461, 2017.

PASSOS, M.L.V.; ZAMBRZYCKI, G.C.; PEREIRA, R.S. BALANÇO HÍDRICO E CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA PARA UMA DETERMINADA REGIÃO DE CHAPADINHA-MA. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 10, p.758-766, 2016.

PEREIRA, A.R.; ANGELOCCI, L.R.; SENTELHAS, P.C. **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas**. Guaíba: Agropecuária. 478p. 2002.