

CALIBRAÇÃO DE EQUAÇÕES EMPÍRICAS PARA ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA EM PARANAÍBA-MS

THIAGO RAMOS DA SILVA¹, CAIO CESAR SILVA ALVARENGA CORREIA²,
FERNANDO FRANÇA DA CUNHA³

¹ Graduando em Agronomia, UFMS/Chapadão do Sul-MS, Fone: (67) 3562-6310, thiago.ramossilva10@gmail.com

² Eng° Agrônomo, M.S. Engenharia Agrícola, UFV/Viçosa-MG, Fone: (31) 3899-2735, caio_ufv@yahoo.com.br

³ Eng° Agrônomo, D.S. Engenharia Agrícola, UFV/Viçosa-MG, Fone: (31) 3899-1913, fernando.cunha@ufv.br

Apresentado no

XLVI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2017

30 de julho a 03 de agosto de 2017 - Maceió - AL, Brasil

RESUMO: Vários métodos para estimativa de evapotranspiração de referência (ET₀) foram desenvolvidos em diferentes localidades, necessitando de calibrações quando utilizadas em outras regiões. Objetivou-se avaliar o desempenho e calibrar métodos que utilizam apenas a temperatura como parâmetro medido na estimativa da ET₀ em Paranaíba-MS. Os dados meteorológicos foram retirados do Instituto Nacional de Meteorologia no período de quatro anos (2008 a 2014). As metodologias avaliadas foram Blaney-Criddle, Camargo, Hargreaves-Samani e McCloud. O método tomado como padrão foi o Penman-Monteith e as calibrações foram realizadas por meio dos coeficientes “a” e “b” das regressões lineares. A comparação dos resultados foi por meio do erro-padrão da estimativa (EPE), índice de concordância de Willmott (d), coeficiente de correlação de Pearson (r) e do coeficiente de confiança (c). As equações calibradas proporcionaram melhores parâmetros estatísticos na comparação com as equações originais. Em ordem, os melhores métodos para a estimativa da ET₀ foram: Hargreaves-Samani, Blaney-Criddle e Camargo. O método de McCloud não deve ser utilizado em Paranaíba-MS.

PALAVRAS-CHAVE: Blaney-Criddle, Hargreaves-Samani, Penman-Monteith.

CALIBRATION OF EMPIRICAL EQUATIONS FOR ESTIMATE OF THE REFERENCE EVAPOTRANSPIRATION FOR PARANAÍBA CITY, BRAZIL

ABSTRACT: Several methods for estimate of reference evapotranspiration (ET₀) were developed in different localities, requiring calibrations when used in other regions. The objective was to evaluate the performance and to calibrate methods that use only the temperature as parameter measured in the estimation of ET₀ in Paranaíba City. The meteorological data were downloaded from the National Institute of Meteorology in the period of four years (2008 to 2014). The methodologies evaluated were Blaney-Criddle, Camargo, Hargreaves-Samani and McCloud. The standard method was the Penman-Monteith method and the calibrations were performed using the linear regression coefficients “a” and “b”. The comparison of the results was by estimated standard error (ESE), Willmott concordance index (d), Pearson correlation coefficient (r) and confidence coefficient (c). The calibrated equations provided better statistical parameters in comparison with the original equations. In order, the best methods for ET₀ estimation were: Hargreaves-Samani, Blaney-Criddle, and Camargo. The McCloud method should not be used in Paranaíba, City, Brazil.

KEYWORDS: Blaney-Criddle, Hargreaves-Samani, Penman-Monteith.

INTRODUÇÃO: Evapotranspiração é o termo utilizado para definir a transferência de vapor para a atmosfera por meio do efeito concomitante da evaporação do solo e transpiração da planta (ALLEN et al., 1998). A equação de Penman-Monteith foi convencionalizada como método padrão para cálculo da evapotranspiração de referência (ET₀) devido à interação dos parâmetros da equação. O inconveniente do método é requerer muitos parâmetros climáticos,

que são oferecidos por estações completas, muitas vezes não acessíveis à realidade agrícola. Desta forma, a elaboração de metodologias simplificados para estimar a ET₀ é desejável, e a avaliação destes métodos, bem como, sua calibração (já que os métodos foram criados para condições específicas) são de grande interesse para a agricultura irrigada visando otimização no uso da água. Portanto, objetivou-se avaliar o desempenho e calibrar métodos que utilizam apenas a temperatura como parâmetro medido na estimativa da ET₀ em Paranaíba-MS.

MATERIAL E MÉTODOS: Os dados meteorológicos foram retirados do Instituto Nacional de Meteorologia (Inmet), para a estação meteorológica de Paranaíba, MS (Latitude 19° 24' 51"S, Longitude 51° 06' 19" W, Altitude 424 m), no período de quatro anos, compreendido entre março de 2008 a fevereiro de 2014. Os dados meteorológicos utilizados na presente pesquisa foram: temperatura instantânea, máxima e mínima (°C); umidade relativa instantânea, máxima e mínima (%); temperatura do ponto de orvalho instantânea, máxima e mínima (°C); pressão instantânea, máxima e mínima (hPa); velocidade do vento (m s⁻¹) e radiação global (kJ m⁻²). Os dados meteorológicos horários foram convertidos para dados diários. Com o propósito de tornar os dados das variáveis meteorológicas mais homogêneas, foi feita uma verificação e posteriormente eliminação daquelas informações consideradas discrepantes ou inconsistentes visando obter agrupamentos de dados mais representativos. As metodologias utilizadas na presente pesquisa para estimativa da evapotranspiração de referência (ET₀) foram de Blaney-Criddle (DOORENBOS & PRUITT, 1977), Camargo (CAMARGO, 1971), Hargreaves-Samani (HARGREAVES & SAMANI, 1985) e McCloud (JACOBS & SATTI, 2001). Após a verificação dos dados foi realizada uma análise de regressão que correlacionou os valores de ET₀ estimados pelas equações empíricas originais com o método Penman-Monteith (ALLEN et al., 1998). A calibração das equações foi realizada por meio dos coeficientes “a” e “b” das respectivas regressões lineares simples. Para comparação dos métodos de estimativa da ET₀ pelas equações originais e calibradas, foram correlacionados os valores de ET₀ estimados pelas equações empíricas originais com o método Penman-Monteith (ALLEN et al., 1998). Foram considerados os coeficientes “a” e “b” das respectivas regressões lineares simples e o coeficiente de determinação (r²). A melhor alternativa foi aquela que apresentou coeficiente de regressão “a” próximo de zero, coeficiente “b” próximo da unidade e maior r². A precisão foi dada pelo coeficiente de determinação, pois indica o grau em que a regressão explica a soma do quadrado total. A análise de desempenho dos modelos foi por meio da metodologia proposta por ALLEN et al. (1989), e se fundamenta no erro-padrão da estimativa (EPE). O melhor método para estimativa da ET₀ foi aquele que apresentou o menor EPE. A aproximação dos valores de ET₀ estimados por determinado método estudado, em relação aos valores obtidos com uso do método padrão, foi obtida pelo índice de concordância (WILLMOTT et al., 1985), onde seus valores variam desde zero, onde não existe concordância, a 1, para a concordância perfeita. Para validação do modelo, obteve-se também os coeficientes de correlação (r) e de desempenho (c). O “c” foi interpretado de acordo com CAMARGO & SENTELHAS (1997) como: “ótimo” (c > 0,85); “muito bom” (0,76 < c < 0,85); “bom” (0,66 < c < 0,75); “mediano” (0,61 < c < 0,65), “sofrível” (0,51 < c < 0,60), “mau” (0,41 < c < 0,50) e “péssimo” (c < 0,40).

RESULTADOS E DISCUSSÃO: Os métodos Hargreaves-Samani e McCloud superestimaram os valores de ET₀ (Figura 1A). Os métodos de Blaney-Criddle e Camargo subestimaram os valores de ET₀ apenas quando o método de Penman-Monteith acusou estimativas acima de 4,3 e 3,1 mm dia⁻¹, respectivamente. De posse dos modelos da Figura 1A, procederam-se as calibrações das diferentes metodologias (Tabela 1). Depois de calculados os valores de ET₀ pelos modelos calibrados, aplicou-se regressão linear novamente (Figura 1B). Os modelos gerados tiveram comportamento 1:1, ou seja, os coeficientes de reta “a” e “b” apresentaram valores iguais a zero e a unidade, respectivamente.

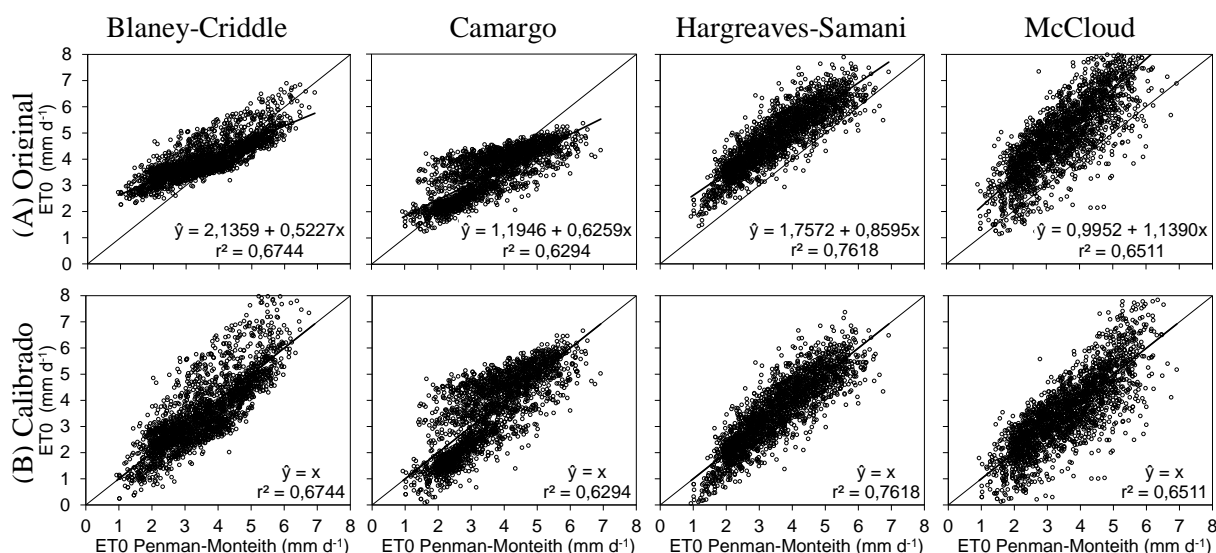


FIGURA 1. Valores de evapotranspiração de referência (ET₀) diária obtidos pelo método de Penman-Monteith comparados aos valores de ET₀ obtidos pelos métodos originais e calibrados em Paranaíba-MS.

TABELA 1. Metodologias e suas respectivas equações originais e calibradas para estimativa da evapotranspiração de referência (ET₀) em Paranaíba-MS

Metodologia (Referência)	Modelo	Equação
Blaney-Criddle (DOORENBOS & PRUITT, 1977)	Original	$ET_0 = k p (0,457 t + 8,13)$
	Calibrado	$ET_0 = k p (0,8743 t + 15,554) - 4,0864$
Camargo (CAMARGO, 1971)	Original	$ET_0 = 0,01 R_{0 \text{ mm/dia}} t$
	Calibrado	$ET_0 = 0,016 R_{0 \text{ mm/dia}} t - 1,9116$
Hargreaves-Samani (HARGREAVES & SAMANI, 1985)	Original	$ET_0 = 0,0023 R_{0 \text{ mm/dia}} (t_{\text{max}} - t_{\text{min}})^{0,5} (t + 17,8)$
	Calibrado	$ET_0 = 0,00268 R_{0 \text{ mm/dia}} (t_{\text{max}} - t_{\text{min}})^{0,5} (t + 17,8) - 2,046$
McCloud (JACOBS & SATTI, 2001)	Original	$ET_0 = 0,254 1,07^{(1,8 t)}$
	Calibrado	$ET_0 = 0,223 1,07^{(1,8 t)} - 0,874$

ET₀ - evapotranspiração de referência, mm dia⁻¹; k - coeficiente local, adm; p - percentagem anual de luz, %; t - temperatura média, °C; R_{0 mm/dia} - radiação extraterrestre, mm dia⁻¹; t_{max} - temperatura máxima, °C; t_{min} - temperatura mínima, °C.

No geral as equações calibradas proporcionaram melhores parâmetros estatísticos na comparação com as equações originais. Em ordem, os melhores métodos para a estimativa da ET₀ foram: Hargreaves-Samani, Blaney-Criddle, Camargo e McCloud. O método de Hargreaves-Samani é conhecido por superestimar a ET₀ em relação a Penman-Monteith e seu desempenho satisfatório na presente pesquisa corrobora com FERNANDES et al. (2012) que calibraram a mesma para o Estado de Goiás. O método de Blaney-Criddle é bastante utilizado pelos agricultores no semi-árido e pode ser utilizado em Paranaíba-MS. Entretanto, necessita de algumas informações, que normalmente são extraídas de tabelas, como porcentagem de horas de sol. Já o método de Camargo é derivado do método de Thornthwaite, e funciona eficazmente para regiões de clima tropical e equatorial úmidos. Entretanto, diferentemente da presente pesquisa, CAVALCANTI JÚNIOR et al. (2011) não encontraram boas estimativas de ET₀ no semiárido nordestino. O método de McCloud foi desenvolvido em 1955, para obtenção da evapotranspiração potencial de hipódromos e de campos de golfe, sendo ainda utilizada em muitos países (JACOBS & SATTI, 2001), entretanto, apresentou desempenho classificado como “bom”, e portanto, não deve ser utilizado na estimativa da ET₀ diária em Paranaíba-MS.

TABELA 2. Estimativa do erro padrão (EEP), concordância de Willmott (d), correlação de Pearson (r), coeficiente de confiança (c) e desempenho de Camargo e Sentelhas, obtidos das correlações entre as ETO estimadas pelo método de Penman-Monteith e pelos métodos originais e calibrados, em Paranaíba-MS

Método	Modelo	EPE	d	r	c	Desempenho
Blaney-Cridle	Original	0,8290	0,8135	0,8709	0,7085	Bom
	Calibrado	0,8080	0,8951	0,8709	0,7796	Muito Bom
Camargo	Original	0,7189	0,8728	0,8785	0,7668	Muito Bom
	Calibrado	0,8916	0,8776	0,8785	0,7710	Muito Bom
Hargreaves-Samani	Original	1,3883	0,7335	0,8969	0,6579	Mediano
	Calibrado	0,6498	0,9285	0,8969	0,8328	Muito Bom
McCloud	Original	1,7821	0,6884	0,8569	0,5899	Sofrível
	Calibrado	0,8511	0,8850	0,8569	0,7584	Bom

CONCLUSÕES: As equações calibradas proporcionaram melhores parâmetros estatísticos na comparação com as equações originais. Em ordem, os melhores métodos para a estimativa da evapotranspiração de referência foram: Hargreaves-Samani, Blaney-Cridle e Camargo. O método de McCloud não deve ser utilizado em Paranaíba-MS.

REFERÊNCIAS

- ALLEN, R. G.; JENSEN, M. E.; WRIGHT, J.; BURMAN, R. D. Operational estimates of reference evapotranspiration. **Agronomy Journal**, Madison, v. 81, n. 4, p. 650-662, 1989.
- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 300 p. (Irrigation and Drainage Paper, 56).
- CAMARGO, A. P. **Balanço hídrico no estado de São Paulo**. 3. ed. Campinas: IAC, 1971. 24 p. (Boletim, n. 116).
- 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.
- CAVALCANTE Jr., E. G.; OLIVEIRA, A. D.; ALMEIDA, B. M.; ESPÍNOLA SOBRINHO, J. Métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para as condições do semiárido Nordeste. **Semina**, Londrina, v. 32, n. suplemento, p. 1699-1708, 2011.
- DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. **Crop water requirements**. Rome: FAO, 1977. 143 p. (Irrigation and Drainage paper, 24).
- FERNANDES, D. D.; HEINEMANN, A. B.; PAZ, R. L. F.; AMORIM, A. O. Calibração regional e local da equação de Hargreaves para estimativa da evapotranspiração de referência. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 43, n. 2, p. 246-255, 2012.
- HARGREAVES, G. L.; SAMANI, Z. A. Reference crop evapotranspiration from temperature. Basin. **Journal of the Irrigation and Drainage Division ASCE**, New York, v. 111, n. 1, p. 113-124. 1985.
- JACOBS, J. M.; SATTI, S. R. **Evaluation of reference evapotranspiration methodologies and AFSIRS crop water use simulation model (Final Report)**. Gainesville: Department of Civil and Coastal Engineering, University of Florida, 2001. 114 p.
- WILLMOT, C. J.; ACKLESON, S. G.; DAVIS, J. J.; FEDDEMA, K.; KLINK, D. R. Statistics for the evaluation and comparison of models. **Journal of Geophysical Research**, Ottawa, v. 90, n. 5, p. 8995-9005, 1985.