

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

FERNANDO FRANÇA DA CUNHA<sup>1</sup>, MARCO AURÉLIO DE CASTRO<sup>2</sup>,  
CAIO CÉSAR SILVA ALVARENGA CORREIA<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Eng° Agrônomo, D.S. Engenharia Agrícola, UFV/Viçosa-MG, Fone: (31) 3899-1913, [fernando.cunha@ufv.br](mailto:fernando.cunha@ufv.br)

<sup>2</sup> Graduando em Agronomia, UFMS/Chapadão do Sul-MS, Fone: (67) 3562-6310, [falecomarco@yahoo.com](mailto:falecomarco@yahoo.com)

<sup>3</sup> Eng° Agrônomo, Mestrando em Engenharia Agrícola, UFV/Viçosa-MG, Fone: (31) 3899-2735, [caio\\_ufv@yahoo.com.br](mailto:caio_ufv@yahoo.com.br)

Apresentado no

XLV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2016  
24 a 28 de julho de 2016 - Florianópolis - SC, Brasil

**RESUMO:** Objetivou-se avaliar o desempenho e calibrar métodos empíricos para estimativa da evapotranspiração de referência (ET<sub>0</sub>) em Cassilândia-MS. Os dados meteorológicos foram retirados do Instituto Nacional de Meteorologia no período de quatro anos (entre abril de 2008 a março de 2012). As metodologias avaliadas foram Blaney-Cridley, Hargreaves-Samani, Jensen-Haise e Priestley-Taylor. 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. O método original de Priestley-Taylor pode ser utilizado para estimativa da ET<sub>0</sub> em Cassilândia-MS. Em ordem, os melhores métodos para a estimativa da ET<sub>0</sub> após calibração foram: Priestley-Taylor, Jensen-Haise e Hargreaves-Samani. O método de Blaney-Cridley não deve ser utilizado em Cassilândia-MS.

**PALAVRAS-CHAVE:** Hargreaves-Samani, Jensen-Haise, Penman-Monteith.

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

**ABSTRACT:** The objective was to evaluate the performance and calibrate empirical methods for estimating reference evapotranspiration (ET<sub>0</sub>) in Cassilândia city, Brazil. Meteorological data were taken from the National Institute of Meteorology in the four-year period (from April 2008 to March 2012). The methodologies were evaluated Blaney-Cridley, Hargreaves-Samani, Jensen-Haise and Priestley-Taylor. The taken method as standard was the Penman-Monteith and the calibration had been carried through by coefficients “a” and “b” of the linear regressions. The comparison of the results was by estimated standard error (ESE), index of agreement by Willmott (d), correlation coefficient by Pearson (r) and the reliable coefficient (c). The calibrated equations had provided better statistical parameters in the comparison with the original equations. The original Priestley-Taylor method can be used to estimate the ET<sub>0</sub> in Cassilândia city. In order, the best methods for estimating ET<sub>0</sub> after calibration were: Priestley-Taylor, Jensen-Haise and Hargreaves-Samani. The method Blaney-Cridley should not be used in Cassilândia city, Brazil.

**KEYWORDS:** Hargreaves-Samani, Jensen-Haise, Penman-Monteith.

**INTRODUÇÃO:** As atividades agrícolas demandam grande volume de água e, sendo cada vez mais preocupante a sua escassez, esforços têm sido empregados no desenvolvimento de pesquisas que possibilitem a sua economia. Neste sentido, melhorias na engenharia de irrigação e no manejo da irrigação assumem fundamental importância. No dimensionamento de projetos de irrigação, o conhecimento da evapotranspiração da cultura é fundamental, pois esse parâmetro afeta vários outros parâmetros tais como: tamanho do conjunto motobomba, potência instalada, diâmetro de tubos e peças especiais, entre outros. Diante disso, o erro na estimativa inicial da demanda de água de certa cultura poderá acarretar super-dimensionamento do sistema de irrigação e consequente alto investimento inicial do projeto, ou no sub-dimensionamento, que resultará problemas de reposição de água nos momentos de alta demanda evapotranspirométrica. O manejo da irrigação consiste em determinar o momento de irrigar e o tempo de funcionamento de um equipamento de irrigação com a finalidade de

aplicar a quantidade de água necessária ao pleno desenvolvimento da cultura. Então, a determinação do consumo de água da cultura é fundamental no manejo da irrigação, podendo ser obtida a partir de medidas efetuadas no solo, na planta e nos elementos climáticos. De acordo com TAGLIAFERRE et al. (2010), com o advento da tecnologia empregada nas estações meteorológicas automáticas que permitem medir e registrar os elementos meteorológicos em frações de tempo cada vez menores, o emprego das equações empíricas de estimativa da evapotranspiração de referência (ET<sub>0</sub>) ganhou importância, devido à facilidade com que os dados são manipulados e por estarem disponíveis em meios eletrônicos de fácil acesso. Vários métodos empíricos para a estimativa de ET<sub>0</sub> foram desenvolvidos para diferentes localidades. Embora muitas equações tenham sido propostas para estimar a ET<sub>0</sub>, não há um consenso único para uma dada equação em um determinado clima. Assim, essas equações requerem uma calibração local. Diante do exposto, objetivou-se com este trabalho, avaliar o desempenho e calibrar métodos para estimativa da ET<sub>0</sub> em Cassilândia-MS.

**MATERIAL E MÉTODOS:** Os dados meteorológicos necessários para execução desse trabalho foram retirados do Instituto Nacional de Meteorologia (Inmet), para a estação meteorológica de Cassilândia, MS (Latitude 19° 07' 21"S, Longitude 51° 43' 15" W, Altitude 516 m), no período compreendido entre abril de 2008 a março de 2012. Os dados horários meteorológicos utilizados na 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<sup>-1</sup>) e radiação global (kJ m<sup>-2</sup>). Os dados meteorológicos horários foram convertidos para dados diários. Com o propósito de tornar os dados meteorológicos 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 (ET<sub>0</sub>) foram de Blaney-Cridley (DOORENBOS & PRUITT, 1977), Hargreaves-Samani (HARGREAVES & SAMANI, 1985), Jensen-Haise (JENSEN & HAISE, 1963) e Priestley-Taylor (PRIESTLEY & TAYLOR, 1972). Após a verificação dos dados foi realizada uma análise de regressão que correlacionou os valores de ET<sub>0</sub> 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 ET<sub>0</sub> pelas equações originais e calibradas, foram correlacionados os valores de ET<sub>0</sub> 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 (r<sup>2</sup>). A melhor alternativa foi aquela que apresentou coeficiente de regressão “a” próximo de zero, coeficiente “b” próximo da unidade e maior coeficiente de determinação. 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 ET<sub>0</sub> foi aquele que apresentou o menor EPE. A aproximação dos valores de ET<sub>0</sub> estimados por determinado método estudado, em relação aos valores obtidos com uso do método padrão, foi obtida por um índice designado concordância ou ajuste, representado pela letra “d” (WILLMOTT et al., 1985), onde seus valores variam desde zero, onde não existe concordância, a unidade, para a concordância perfeita. Para validação do modelo, obteve-se também o coeficiente de correlação de Pearson (r) e o coeficiente de confiança ou desempenho (c). O coeficiente c, proposto por CAMARGO & SENTELHAS (1997), é interpretado de acordo com os referidos autores 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 Jensen-Haise superestimaram os valores de ET<sub>0</sub> (Figura 1A). O método de Blaney-Cridley subestimou os valores de ET<sub>0</sub> apenas quando o método de Penman-Monteith acusou estimativas acima de 4,2 mm dia<sup>-1</sup>. De posse dos modelos da Figura 1A, procederam-se as calibrações das diferentes metodologias (Tabela 1). Depois de calculados os valores de ET<sub>0</sub> 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.

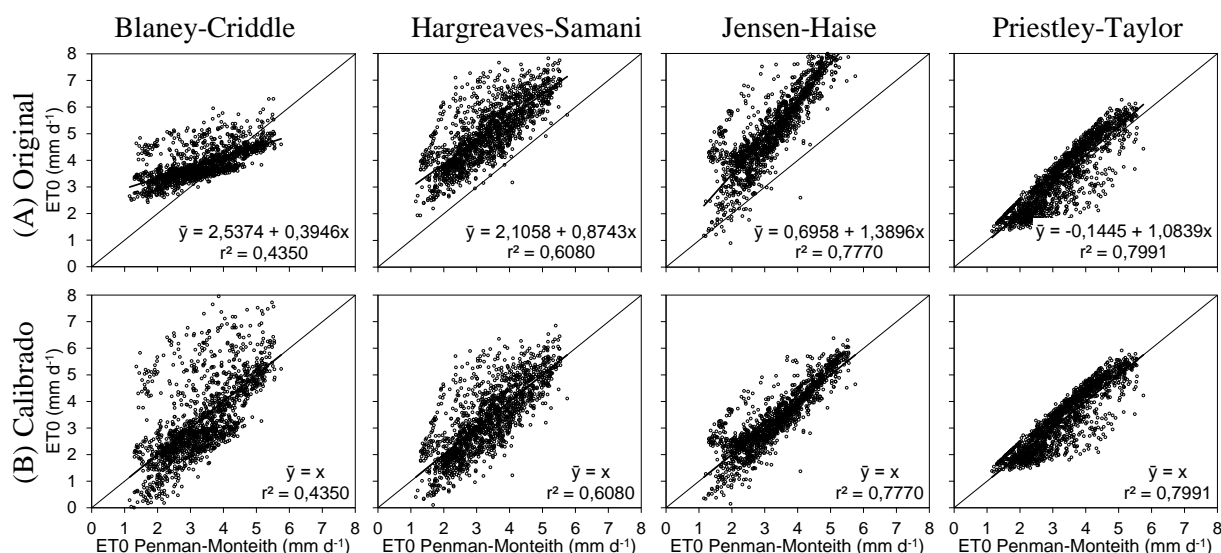


FIGURA 1. Valores de evapotranspiração de referência (ET0) diária obtidos pelo método de Penman-Monteith comparados aos valores de ET0 obtidos pelos métodos originais e calibrados em Cassilândia-MS.

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

| Metodologia (Referência)                         | Modelo    | Equação  |
|--|-----------|--|
| Blaney-Criddle<br>(DOORENBOS & PRUITT, 1977)     | Original  | $ET0 = k p (0,457 t + 8,13)$   |
|  | Calibrado | $ET0 = k p (1,1581 t + 20,6033) - 6,4303$  |
| Hargreaves-Samani<br>(HARGREAVES & SAMANI, 1985) | Original  | $ET0 = 0,0023 R_{0 \text{ mm/dia}} (t_{\max} - t_{\min})^{0,5} (t + 17,8)$           |
|  | Calibrado | $ET0 = 0,00263 R_{0 \text{ mm/dia}} (t_{\max} - t_{\min})^{0,5} (t + 17,8) - 2,4085$ |
| Jensen-Haise<br>(JENSEN & HAISE, 1963)           | Original  | $ET0 = R_{G \text{ mm/dia}} (0,025 t + 0,08)$  |
|  | Calibrado | $ET0 = R_{G \text{ mm/dia}} (0,018 t + 0,0576) - 0,5$                                |
| Priestley-Taylor<br>(PRIESTLEY & TAYLOR, 1972)   | Original  | $ET0 = 0,5143 \frac{s}{s + \gamma} (R_N - G)$  |
|  | Calibrado | $ET0 = 0,4745 \frac{s}{s + \gamma} (R_N - G) + 0,1333$                               |

ET0 - evapotranspiração de referência, mm dia<sup>-1</sup>; k - coeficiente local, adm; p - porcentagem anual de luz, %; t - temperatura média, °C; R<sub>0 mm/dia</sub> - radiação extraterrestre, mm dia<sup>-1</sup>; t<sub>max</sub> - temperatura máxima, °C; t<sub>min</sub> - temperatura mínima, °C; R<sub>G mm/dia</sub> - radiação global (mm dia<sup>-1</sup>); s - declividade da curva de pressão (kPa °C<sup>-1</sup>); γ - constante psicrométrica (kPa °C<sup>-1</sup>); R<sub>N</sub> - saldo de radiação (MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>) e G - fluxo de calor (MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>).

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: Priestley-Taylor, Jensen-Haise, Hargreaves-Samani, Blaney-Criddle. O método Priestley-Taylor foi desenvolvido para estimativa da evaporação de superfícies saturadas em uma atmosfera não saturada, que é a condição normal da natureza (CAVALCANTE Jr. et al., 2011) e seu desempenho satisfatório corroborou com o observado por MAGALHÃES & CUNHA (2012) em estudo realizado no Estado do Mato Grosso do Sul. 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. Apesar de apresentar o coeficiente de confiança um pouco menor, o método de Hargreaves-Samani deve ser preferido na estimativa da ET0 em relação aos métodos de Priestley-Taylor e Jensen-Haise, por necessitar apenas de temperaturas máxima e mínima. Os métodos de Priestley-Taylor e Jensen-Haise necessitam de radiação global como parâmetro de entrada, dificultando seu uso em propriedades de baixo nível tecnológico. O método de Blaney-Criddle apresentou desempenho classificado como “mediano”, e portanto, não deve ser utilizado na estimativa da ET0 diária em Cassilândia-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 evapotranspirações de referência estimadas pelo método de Penman-Monteith e pelos métodos originais e calibrados, em Cassilândia-MS

| Método            | Modelo    | EPE    | d      | r      | c      | Desempenho |
|-------------------|-----------|--------|--------|--------|--------|------------|
| Blaney-Criddle    | Original  | 0,9360 | 0,7005 | 0,8201 | 0,5744 | Sofrível   |
|                   | Calibrado | 1,1586 | 0,7755 | 0,8201 | 0,6359 | Mediano    |
| Hargreaves-Samani | Original  | 1,8395 | 0,5921 | 0,8603 | 0,5094 | Mau        |
|                   | Calibrado | 0,8163 | 0,8671 | 0,8603 | 0,7459 | Bom        |
| Jensen-Haise      | Original  | 2,1593 | 0,5996 | 0,9053 | 0,5429 | Sofrível   |
|                   | Calibrado | 0,5445 | 0,9339 | 0,9053 | 0,8455 | Muito Bom  |
| Priestley-Taylor  | Original  | 0,5746 | 0,9324 | 0,9260 | 0,8634 | Ótimo      |
|                   | Calibrado | 0,5097 | 0,9418 | 0,9260 | 0,8722 | Ótimo      |

**CONCLUSÕES:** O método original de Priestley-Taylor pode ser utilizado na estimativa da evapotranspiração de referência em Cassilândia-MS. Em ordem, os melhores métodos para a estimativa da evapotranspiração de referência após calibração foram: Priestley-Taylor, Jensen-Haise e Hargreaves-Samani. O método de Blaney-Criddle não deve ser utilizado na estimativa da evapotranspiração de referência diária em Cassilândia-MS.

**AGRADECIMENTOS:** À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) pelo suporte financeiro.

#### 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. 300p. (Irrigation and Drainage Paper, 56).
- 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: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 32, n. supl., 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.
- JENSEN, M. E.; HAISE, H. R. Estimating evapotranspiration from solar radiation. **Journal of the Irrigation and Drainage Division ASCE**, New York, v. 4, n. 1, p. 15-41, 1963.
- MAGALHÃES, F. F.; CUNHA, F. F. Desempenho do software SEVAP na estimativa da evapotranspiração no Estado de Mato Grosso do Sul. **Revista Agrarian**, Dourados, v. 5, n. 16, p. 151-160, 2012.
- PRIESTLEY, C. H. B.; TAYLOR, R. J. On the assessment of surface heat flux and evaporation using large-scale parameters. **Monthly Weather Review**, Boston, v. 100, n. 2, p. 81-92, 1972.
- TAGLIAFERRE, C.; SILVA, R. A. J.; ROCHA, F. A.; SANTOS, L. C.; SILVA, C. S. Estudo comparativo de diferentes metodologias para determinação da evapotranspiração de referência em Eunápolis-BA. **Caatinga**, Mossoró, v. 23, n. 1, p. 103-111, 2010.
- 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.