

CALIBRAÇÃO DO MÉTODO HARGREAVES-SAMANI PARA ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA DO MUNICÍPIO DE VITÓRIA DA CONQUISTA - BA

**ROSILENE GOMES DE SOUZA PINHEIRO¹, GENILSON LIMA SANTOS²,
LORENA JÚLIO GONÇALVES³, FERNANDA BRITO SILVA⁴, BISMARC LOPES
DA SILVA⁵, CRISTIANO TAGLIAFERRE⁶**

¹ Eng.^a Agrônoma, Mestranda em Agronomia (*Fitotecnia*), Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Vitória da Conquista – BA, Fone: (0XX77) 99920.0679, rosilenepinheiro07@outlook.com

² Eng.^o Agrônomo, Doutorando em Agronomia (*Fitotecnia*), Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Vitória da Conquista – BA

³ Eng.^a Agrônoma, Doutoranda em Recursos Hídricos, Universidade Federal de Lavras, Lavras - MG

⁴ Graduanda em Agronomia, Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Vitória da Conquista – BA

⁵ Eng.^o Agrônomo Doutorando em Agronomia (*Fitotecnia*), Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Vitória da Conquista – BA

⁶ Eng.^o Agrônomo, Professor Pleno, Dpto. de Engenharia Agrícola e Solos, Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Vitória da Conquista – BA

Apresentado no
L Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2021
08 a 10 de novembro de 2021 - Congresso On-line

RESUMO: A maioria das propriedades rurais no município de Vitória da Conquista – BA não dispõe de dados meteorológicos disponíveis para estimar a evapotranspiração de referência (ET_0) pelo método padrão de Penman-Monteith FAO 56 (PM). Com isso, torna-se importante utilizar métodos que possibilitam estimar a ET_0 utilizando dados limitados. O presente estudo consistiu em calibrar a equação de Hargreaves-Samani (HS) para estimar a ET_0 do município. Foram utilizados dados meteorológicos coletados no Banco de dados do INMET, sendo a ET_0 calculada pelo método de PM utilizada como referência para a calibração da equação de HS. A calibração foi realizada utilizando-se ajuste de dois parâmetros da equação (α e “c”); as equações normal e ajustada de HS obtidas foram avaliadas através do coeficiente de determinação (r^2) da regressão linear simples e os índices de concordância de Willmott (d) e confiança de Camargo & Sentelhas (c). Foi observado alta correlação das equações de HS e HSajustada com o método padrão (PM), no entanto, ao avaliar o índice de confiança (c) foi observado valor ótimo para HSajustada ($c = 0,93$) e valor muito bom para o HS ($c = 0,80$). Dessa forma, é mais recomendado utilizar a equação ajustada para o município de Vitória da Conquista.

PALAVRAS-CHAVE: Ajuste de dados, manejo da irrigação, Penman-Monteith.

CALIBRATION OF THE HARGREAVES-SAMANI METHOD TO ESTIMATE THE REFERENCE EVAPOTRANSPIRATION AT THE MUNICIPALITY OF VITÓRIA DA CONQUISTA – BA

ABSTRACT: Most rural properties in Vitória da Conquista, Bahia state, Brazil, do not have available meteorological data to estimate the reference evapotranspiration (ET_0) by the standard method Penman-Monteith (PM). Thus, methods that make it possible to estimate the ET_0 using limited data assumes great importance. The present study consisted in calibrating

the Hargreaves-Samani (HS) equation to estimate the daily ET_0 for the municipality. Meteorological data from a conventional weather station located in the city of Vitória da Conquista - BA were used, and the ET_0 was calculated by the PM method, which was used as a reference for the calibration of the HS equation. Calibration was performed using two-parameter adjustment of the equation (“a” and “c”); the original and adjusted HS equations were evaluated using the coefficient of determination (r^2) of the simple linear regression, Willmott’s agreement index (d), and confidence index of Camargo & Sentelhas (c). A high correlation of HS and HS-adjusted equations with the standard method (PM) was observed; however, when evaluating the confidence index (c), the highest value was observed for the HS-adjusted ($c = 0.93$) and a very good value for the HS ($c = 0.80$). Thus, the use the HS-adjusted equation is more recommended for the municipality of Vitória da Conquista.

KEYWORDS: Data fitting, irrigation management, Penman-Monteith.

INTRODUÇÃO: A evapotranspiração de referência (ET_0) é uma variável chave em projetos hidroagrícolas de manejo da irrigação, planejamento e gestão de bacias hidrográficas, estudos de balanço hídrico e zoneamento agrícola. É de extrema importância medidas precisas e acuradas dessa variável. A Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO), padronizou o modelo de Penman-Monteith (PM) para estimativa da ET_0 , podendo ser usado globalmente sem a necessidade de fazer a calibração local, tanto na escala diária quanto na horária, devido a seu desempenho em relação a medidas precisas obtidas de lisímetros. No entanto, o método padrão de estimativa da ET_0 , o FAO Penman-Monteith, requer dados de radiação, temperatura do ar, umidade relativa do ar e velocidade do vento que nem sempre estão disponíveis em razão do número limitado de estações meteorológicas devidamente equipadas (FERNANDES et al., 2012), e/ou, por vezes, imprecisões nas medições, o que limita o uso do método de PM por falta de elementos climáticos. Assim, evidencia-se a relevância quanto ao estudo de métodos de estimativa da ET_0 com menor requerimento de dados de entrada, como o método de Hargreaves-Samani que possui formulação mais simples do que o de Penman-Monteith. O método de Hargreaves-Samani (1985) foi recomendado por Allen et al. (1998), uma vez que demanda somente dados de temperatura do ar e de radiação solar extraterrestre (valor calculado conforme latitude do local e dia do ano), englobando simplicidade e exequibilidade, sendo uma alternativa viável para os produtores rurais quando há pouca disponibilidade de dados. Entretanto, apesar da facilidade de uso, este método tende a superestimar o valor de ET_0 em climas úmidos e a subestimar para condições de alta velocidade do vento, sendo necessária uma calibração regional para o ajuste de sua precisão (MANTOVANI et al., 2006; ALLEN et al., 1998; BERNARDO et al., 2006). Neste sentido, afim de facilitar a estimativa da evapotranspiração de referência de forma eficiente, objetiva-se com este estudo calibrar a equação do método de Hargreaves-Samani para a estimativa da evapotranspiração de referência do município de Vitória da Conquista.

MATERIAL E MÉTODOS: O estudo foi realizado para o município de Vitória da Conquista – BA, sob coordenadas geográficas de 14°53’08’’ de latitude sul e 40°48’02’’ de longitude oeste de Greenwich, com altitude de 880 m. O clima da região é tropical de altitude (Cwb) de acordo com a classificação de Köppen, com estação seca no inverno e verões quentes e úmidos (Figura 1).

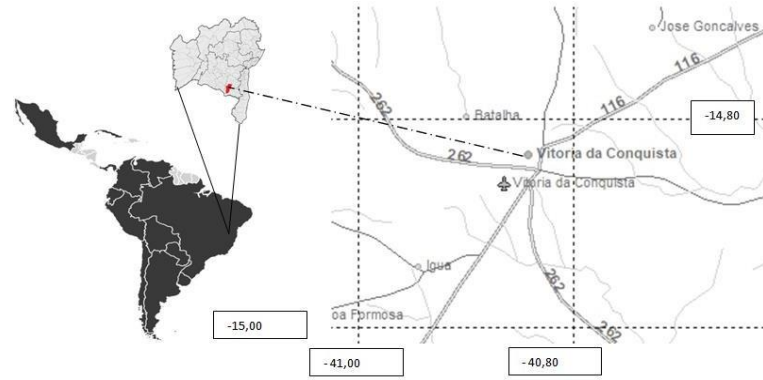


FIGURA 1. Mapa de localização da área de estudo de Vitória da Conquista - BA, nordeste do Brasil (CAMPOS et al., 2020).

Os dados meteorológicos utilizados neste estudo foram disponibilizados pelo Banco de Dados Meteorológicos do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), sendo: umidade relativa (%), velocidade do vento (m s^{-1}), pressão atmosférica (mbar), radiação (mm dia^{-1}), temperatura máxima, mínima e média ($^{\circ}\text{C}$). Foram utilizadas as médias de 365 dados diários num período de 17 anos (1995-2006/2012-2016). Não foram considerados os intervalos anuais de 2007-2011/2017-2020 devido à ausência de dados para algumas variáveis meteorológicas.

A evapotranspiração de referência foi calculada através do método de Hargreaves-Samani (1) para posterior calibração e ajuste com o método de Penman-Monteith FAO-56 (2), conforme recomendado pela FAO (ALLEN et al., 1998). Foram utilizadas as seguintes equações:

$$ET_{OHS} = \alpha Ra (T_{max} - T_{min})^b (T_{med} + c) \quad (1)$$

Em que:

ET_{OHS} = Evapotranspiração de referência, mm dia^{-1} (Hargreaves-Samani);

T_{max} , T_{min} e T_{med} : Temperatura máxima, mínima e média diária do ar ($^{\circ}\text{C}$), respectivamente;

Ra : Radiação solar extraterrestre, $\text{MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$;

α , b e c : Parâmetros da equação de Hargreaves-Samani, sendo 0,0023, 0,5 e 17,8, respectivamente.

$$Eto_{PM} = \frac{0,408 \Delta (Rn - G) + \gamma \frac{900}{(T + 273)} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 U_2)} \quad (2)$$

Em que:

ET_{OPM} - evapotranspiração de referência, mm d^{-1} (Penman-Monteith FAO-56);

Δ - declividade da curva de pressão de vapor na saturação versus temperatura do ar, $\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$;

Rn - saldo de radiação na superfície do cultivo, $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$;

G - densidade do fluxo total de calor no solo, $\text{MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$;

γ - coeficiente psicrométrico, $\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$;

U_2 - velocidade média diária do vento a 2 m de altura, m s^{-1} ;

e_s - pressão de vapor na saturação, média diária, kPa ;

e_a - pressão de vapor atual, média diária, kPa ;

T - temperatura média diária do ar, $^{\circ}\text{C}$;

Para ajuste da equação comparou-se a evapotranspiração calibrada com a evapotranspiração calculada pelo método Penman-Monteith FAO-56 (ET_{0PM}), usando o coeficiente de determinação (r^2) da regressão linear simples. Os parâmetros empíricos da equação de Hargreaves-Samani (α e c) foram ajustados utilizando o programa Sistema de Análises Estatísticas e Genéticas (SAEG), versão 9.1 (RIBEIRO JÚNIOR, 2001).

O desempenho estatístico dos métodos avaliados foi analisado através do índice de concordância (d) desenvolvido por WILLMOTT (1981), que quantifica matematicamente a dispersão dos dados em relação ao método considerado padrão:

$$d = 1 - \frac{\sum (P_i - O_i)^2}{\sum (|P_i - O| + |O_i - O|)^2} \quad (3)$$

Em que:

d - coeficiente de concordância;

P_i - evapotranspiração de referência estimada pelo método testado, mm;

O_i - evapotranspiração de referência estimada pelo método padrão, mm;

O = média dos valores observados pelo método padrão, mm.

O índice de confiança (c), ferramenta estatística de comparação proposta por Camargo & Sentelhas (1997), foi determinado afim de avaliar o desempenho do método estudado conforme descrito:

$$c = r \times d \quad (4)$$

Em que:

r = coeficiente de correlação,

d = coeficiente de concordância.

Os valores desse índice “ c ” variam de 0,0 para nenhuma concordância a 1,0 para concordância perfeita entre os dados, qualificando os resultados de acordo com o (Tabela 1).

TABELA 1. Classificação do desempenho segundo o índice de confiança “ c ”.

Valor de “ c ”	Desempenho
$\geq 0,85$	Ótimo
0,76 a 0,85	Muito Bom
0,66 a 0,75	Bom
0,61 a 0,65	Mediano
0,51 a 0,60	Sofrível
0,41 a 0,50	Mau
$\leq 0,40$	Péssimo

RESULTADOS E DISCUSSÃO: O método ajustado apresentou maiores valores para os índices de confiança e concordância em relação ao método sem ajuste (Tabela 2). Os coeficientes da equação sem ajuste foram classificados com muito bom, e a equação ajustada foi classificada com ótimo desempenho de acordo Camargo e Sentelhas (1991). A equação ajustada também apresentou concordância quase perfeita de acordo Willmott (1981), uma vez que os valores observados apresentam proximidade com o modelo padrão que varia de zero (nenhuma concordância) a um (concordância perfeita) (CUNHA et al., 2013). Estudos feitos por Borges e Mendiondo (2007) demonstraram uma ligeira melhora nas estatísticas dos índices

de concordância e confiança estudados após calibração da equação.

TABELA 2. Coeficientes angular (a), linear (b) e determinação (r^2), índices de concordância de Willmott (d) e confiança de Camargo & Sentelhas (c).

Método	a	b	r^2	d	c
Hargreaves-Samani	1,0925	0,2518	0,9455	0,84	0,80
Hargreaves-Samani ajustada	1,0573	-0,2089	0,9405	0,98	0,93

A calibração do método Hargreaves-Samani foi realizada para os parâmetros “ α ” e “ c ”, ajustando assim a equação de Hargreaves-Samani para o município de Vitória da Conquista (Equação 5), com os valores de 0,0024 para “ α ” e 10,49 para “ c ”.

$$ET_{OHSajustada} = 0,0024Ra (Tmax - Tmin)^{0,5} (T + 10,49) \quad (5)$$

Em que:

$ET_{OHSajustada}$ = evapotranspiração de referência obtida pelo método de Hargreaves-Samani ajustado, $mm\ dia^{-1}$.

De acordo a figura 2, os valores dos coeficientes de determinação ($r^2 = 0,94$) apresentados demonstram alta correlação do método de Hargreaves-Samani (A) e Hargreaves-Samani ajustado (B) em relação ao método padrão de Penman-Monteith FAO 56 para o município de Vitória da Conquista – BA, sendo ambos os métodos estudados classificados com alto desempenho de acordo Hopkins (2000). No entanto, há maior proximidade dos pontos em relação a reta para o método ajustado (B), o que permite inferir que há maior precisão da equação ajustada em relação à equação sem ajuste para o período estudado. No estado do Rio de Janeiro, estudos demonstraram situação semelhante no qual o modelo de Hargreaves-Samani ajustado e o original apresentaram elevada precisão ($r^2 = 0,94$) das estimativas de ET_0 , no entanto, a acurácia da estimativa de ET_0 foi superior com o modelo ajustado em relação ao original (SANTOS et al., 2013).

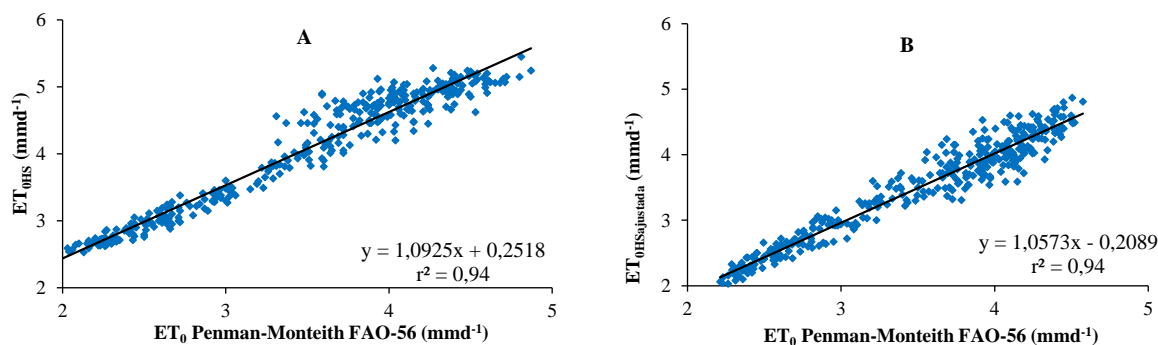


FIGURA 2. Correlação dos métodos de estimativa da evapotranspiração de referência Hargreaves-Samani (A) e Hargreaves-Samani ajustada (B) com o método padrão Penman-Monteith FAO 56.

Ao observarmos a variação da ET_0 ao longo dos 365 dias no ano, foi observada maior semelhança do método ajustado Hargreaves-Samani ajustada com o método padrão Penman-Monteith FAO 56 (FIGURA 3), comprovando a importância do ajuste do método tendo em vista as variações climáticas que ocorrem numa região. Estudos feitos por Lima Júnior et al. (2016) em municípios do estado do Ceará evidenciaram claramente a variabilidade na estimativa de ET_0 de uma região para a outra, onde a equação original de Hargreaves-Samani superestimou a ET_0 calculada, corroborando com Gavilán et al. (2006) que evidencia a necessidade da calibração local da equação de Hargreaves-Samani antes ser aplicada para estimar ET_0 em qualquer região específica.

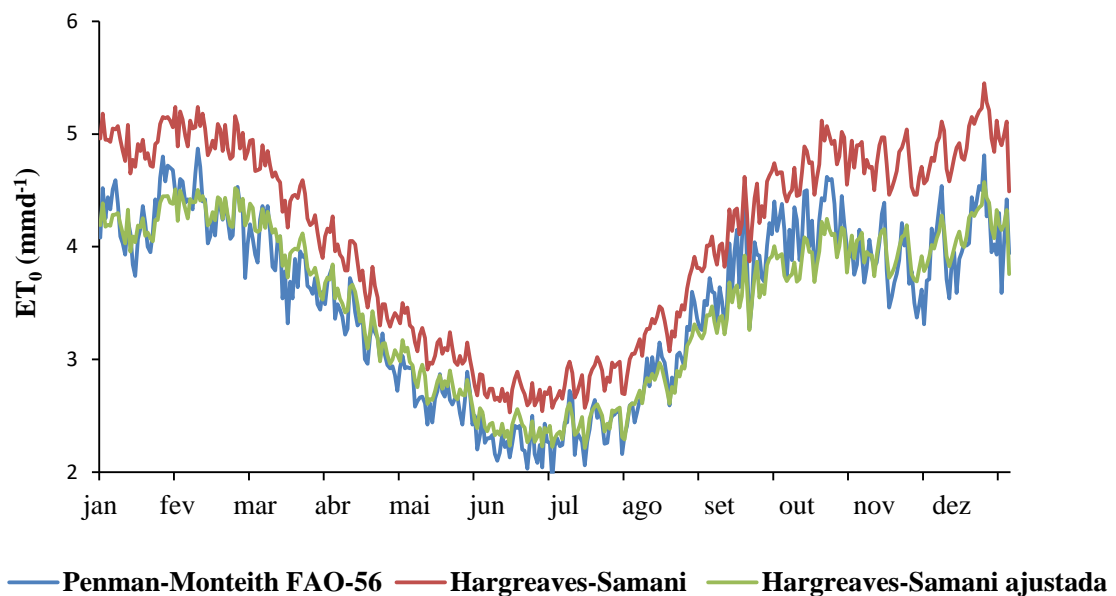


FIGURA 3. Variação média da evapotranspiração de referência calculada pela equação de Penman-Monteith FAO-56, Hargreaves-Samani original e Hargreaves-Samani ajustada em um período de 17 anos para o município de Vitória da Conquista – BA.

CONCLUSÕES: A equação ajustada do método Hargreaves-Samani gerada é uma alternativa viável e simplificada para utilização do manejo da irrigação para produtores no município de Vitória da Conquista – BA, uma vez que os dados obtidos da ET_0 são mais próximos ao método padrão quando comparado ao método de Hargreaves-Samani original.

AGRADECIMENTOS: Ao Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, à equipe de pesquisa do Laboratório de Hidráulica Agrícola e Irrigação e Drenagem, ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e a Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia.

REFERÊNCIAS:

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. FAO. **Irrigation and Drainage Paper**, 56. Rome: FAO, 1998. 370 p.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8 ed. Viçosa: UFV, 2006. 625p.

BORGES, A. C.; MENDIONDO, E. M. Comparação entre equações empíricas para estimativa da evapotranspiração de referência na Bacia do Rio Jacupiranga. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11, p. 293–300, 2007.

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**, v.5, n.1, p.89-97, 1997.

CAMPOS, W. V., RAMPAZZO, M. C.; VIANA, B. A. R. Caracterização temporal dos elementos meteorológicos precipitação e temperatura do ar no município de Vitória da Conquista – BA. **Revista Agraria Acadêmica**, v.3, n.3, p.71-86, 2020.

CUNHA, P. C. R. da; NASCIMENTO, J. L. do; SILVEIRA, P. M.; ALVES JÚNIOR, J. Eficiência de métodos para o cálculo de coeficientes do tanque classe A na estimativa da evapotranspiração de referência. **Pesq. Agropec. Trop.**, Goiânia, v. 43, n. 2, p. 114-122, abr./jun. 2013.

FERNANDES, D. S., HEINEMANN, A. B., PAZ R. L. F., AMORIM A. de O. Calibração regional e local da equação de Hargreaves para estimativa da evapotranspiração de referência. **Rev. Ciênc. Agron.**, Fortaleza, v. 43, n.2, p. 246-255, 2012.

GAVILÁN, P.; LORITE, I. J.; TORNERO, S.; BERENJENA, J. Regional calibration of Hargreaves equation for estimating reference ET in a semiarid environment. **Agric. Water Manage.** 81, 257-281, 2006.

HARGREAVES, G.H.; SAMANI, Z.A. Reference crop evapotranspiration from ambient air temperature. Chicago: **American Society of Agricultural and Biological Engineers Meeteng**, 1985. (Paper 85-2517).

HOPKINS, W. G. **Correlation coefficient**: a new view of statistics. 2000. Disponível em: <<http://www.sportsci.org/resource/stats/correl.html>>. Acesso em: 10 jul. 2021.

LIMA JUNIOR, J. C. de; ARRAES, F. D. D.; OLIVEIRA, J. B. de; NASCIMENTO, F. A. L. do; MACÊDO, K. G. de. Parametrização da equação de Hargreaves e Samani para estimativa da evapotranspiração de referência no Estado do Ceará, Brasil. **Revista Ciência Agronômica**, v. 47, n. 3, p. 447-454, jul-set, 2016

MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F. **Irrigação: princípios e métodos**. 3.ed. Viçosa-MG: UFV, 2006. 355p

RIBEIRO JUNIOR, J.J. **Análises Estatísticas no SAEG**. Viçosa: UFV, 301p. 2001.

SANTOS, A. A. R.; DELGADO, R. C.; LIMA, E. de P.; SOUZA, J. L. de; LYRA, G. B.; LYRA, G. B. Modelo de Hargreaves-Samani ajustado as condições climáticas do estado do Rio de Janeiro para estimativa da evapotranspiração de referência. *In: XVIII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia*, 2013, Centro de Convenções e Eventos Benedito Silva Nunes, Universidade Federal do Pará, Belém, PA. Anais... p.1-5.

WILLMOTT, C.J. On the validation of models. **Physical Geography**, v.2, p. 184-194, 1981.