

CALIBRAÇÃO DA EQUAÇÃO DE HARGREAVES-SAMANI PARA ESTIMAR A EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA NO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO

Sidney Sára Zanetti¹, Rafael Esteves Dohler², Emerson Bastos do Carmo³, Roberto Avelino Cecílio⁴

RESUMO

A maioria das localidades brasileiras não possui dados meteorológicos disponíveis para estimar a evapotranspiração de referência (ET_0) pelo método padrão de Penman-Monteith (PM). Com isso, tornam-se importantes os métodos que possibilitam estimar a ET_0 utilizando dados limitados. O presente estudo consistiu em calibrar a equação de Hargreaves-Samani (HS) por diferentes métodos para estimar a ET_0 diária no estado do Espírito Santo. Foram utilizados dados meteorológicos de nove estações automáticas do INMET localizadas no estado do Espírito Santo, 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 os dados de cada estação meteorológica individualmente, por três diferentes métodos: ajuste somente do parâmetro H_c da equação de HS; ajuste dos três parâmetros simultaneamente (H_c , H_e e H_t); e ajuste da ET_0 utilizando regressão linear simples. As equações ajustadas obtidas foram avaliadas através do coeficiente de determinação (r^2) da regressão linear simples e a raiz do quadrado médio do erro (RQME). Embora a calibração por ajuste simultâneo dos três parâmetros da equação de HS tenha proporcionado melhores resultados, sua eficiência não diferiu expressivamente dos outros métodos. Dessa forma, considerando as limitações desse método, conclui-se que a calibração usando regressão linear seja o método mais indicado. Como segunda opção, considera-se a calibração usando o ajuste somente do parâmetro H_c da equação de Hargreaves-Samani.

Palavras-chave: dados limitados, Penman-Monteith, ajuste empírico de modelos.

CALIBRATION OF HARGREAVES-SAMANI'S EQUATION TO ESTIMATE EVAPOTRANSPIRATION OF REFERENCE IN THE STATE OF ESPÍRITO SANTO

¹Engenheiro Agrônomo, D.Sc em Produção Vegetal, Professor Adjunto, Departamento de Ciências Florestais e da Madeira, Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro – ES, email: sszanetti@yahoo.com.br.

²Engenheiro Florestal, Doutorando em Produção Vegetal, Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre–ES, email: rafaelesteves_123@hotmail.com (autor correspondente).

³Graduando em Engenharia Florestal, Universidade Federal do Espírito Santo, Campus Alegre, Alto Universitário, s/n°, Guararema, Alegre – ES, CEP 29500-000, e-mail: bastosemerson787@gmail.com.

⁴Engenheiro Agrícola, D.Sc em Eng. Agrícola, Professor Associado, Departamento de Ciências Florestais e da Madeira, Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro – ES, email: raccilio@yahoo.com.br.

ABSTRACT

Most Brazilian localities do not have available meteorological data to estimate reference evapotranspiration (ET_0) by the standard Penman-Monteith (PM) method. Thus, methods that allow estimation of ET_0 using limited data become important. The present study consisted in calibrating the Hargreaves-Samani equation (HS) by different methods to estimate daily ET_0 in the state of Espírito Santo. Meteorological data from nine INMET automatic stations located in the state of Espírito Santo were used, being ET_0 calculated by the PM method used as reference for the calibration of the HS equation. The calibration was performed using the data from each meteorological station individually, by three different methods: adjust only the parameter H_c of the HS equation; adjustment of the three parameters simultaneously (H_c , H_e and H_t); and ET_0 adjustment using simple linear regression. The adjusted equations obtained were evaluated through the coefficient of determination (r^2) of the simple linear regression and the root mean square error (RQME). Although calibration by simultaneous adjustment of the three parameters of the HS equation gave better results, its efficiency did not differ significantly from the other methods. Thus, considering the limitations of this method, it is concluded that the calibration using linear regression is the most indicated method. As a second option, calibration using the adjustment of the H_c parameter of the Hargreaves-Samani equation is considered.

Keywords: limited data, Penman-Monteith, empirical modeling

INTRODUÇÃO

Evapotranspiração (ET) é definida como a combinação das perdas de água por evaporação (de corpos hídricos, do solo e da superfície das plantas) e por transpiração dos cultivos. Sua determinação correta é importante para aplicações em diversas áreas, como hidrologia, agrometeorologia, irrigação, entre outros. Porém, a sua mensuração direta é difícil e onerosa, requerendo equipamentos e pessoal especializados. Por esse motivo, e por ter custos relativamente menores, maior simplicidade e praticidade, a utilização de métodos indiretos para estimar a evapotranspiração é frequentemente preferida em aplicações relacionadas ao manejo da irrigação (ALENCAR et al., 2015; PEREIRA et al., 2015).

De acordo com Pereira et al. (2002), a escolha de um método para se estimar a evapotranspiração depende de uma série de fatores, sendo um deles a disponibilidade de dados meteorológicos. Quando existem dados disponíveis recomenda-se a utilização do método de Penman-Monteith-FAO (ALLEN et al., 1998) como padrão internacional para o cálculo da evapotranspiração de referência (ET_0).

Todavia, a utilização desse método necessita da medição de vários dados meteorológicos, os quais muitas vezes não estão disponíveis e, ou não são confiáveis, como é o caso da velocidade do vento e a radiação solar (MARTÍ et al., 2015). Desta forma, tornam-se importantes estudos de métodos que possibilitem estimar a ET_0 utilizando o mínimo possível de variáveis meteorológicas, em especial, aquelas de fácil e confiável mensuração (SENTELHAS et al., 2010).

Quando os dados meteorológicos disponíveis são limitados, (ALLEN et al., 1998) recomendam que a ET_0 seja estimada utilizando a equação de Hargreaves-Samani (HS), a qual depende somente da radiação solar extraterrestre e da temperatura do ar (HARGREAVES; SAMANI, 1985). No entanto, vários estudos têm mostrado que o método HS superestima a ET_0 em regiões úmidas e subestima em regiões secas (BEZERRA et al., 2014; CARVALHO et al., 2015; FANAYA JÚNIOR et al., 2012; KISI, 2014; TAGLIAFERRE et al., 2010). Assim, faz-se necessário que, para aplicação em outras regiões, a equação de HS deva ser calibrada, por meio do ajuste de seus parâmetros empíricos (ALLEN et al., 1998).

CRESCIMENTO E TROCAS GASOSAS EM ALFACE CULTIVADA SOB REGIMES HÍDRICOS E ADUBAÇÃO FOSFATADA

A maioria das localidades brasileiras não possuem dados meteorológicos disponíveis para estimar a evapotranspiração pelo método de Penman-Monteith (FAO-56), como é o caso do estado do Espírito Santo. Como já se tem conhecimento que a equação de HS tende a superestimar a ET_0 na região Sudeste do Brasil, são necessários estudos que viabilizam a aplicação da equação de HS, como por exemplo, os estudos realizados em Goiás (FERNANDES et al., 2012), São Paulo (CONCEIÇÃO, 2013) e Pernambuco (LIMA et al., 2013), além de estudos realizados em outros países (AGUILAR; POLO, 2011; GHAMARNIA et al., 2011; SENTELHAS et al., 2010; SPERNA WEILAND et al., 2012;

TRAJKOVIC, 2007).

Do exposto, o objetivo deste trabalho foi calibrar a equação de Hargreaves-Samani para estimar a evapotranspiração de referência diária no estado do Espírito Santo, utilizando-se de diferentes métodos de calibração.

MATERIAIS E MÉTODOS

A região de estudo foi o estado do Espírito Santo, localizado entre os meridianos $39^{\circ}38'$ e $41^{\circ}50'$ de longitude oeste e os paralelos $17^{\circ}52'$ e $21^{\circ}19'$ de latitude sul, que ocupa uma área aproximada de 46.184 km² (Figura 1).

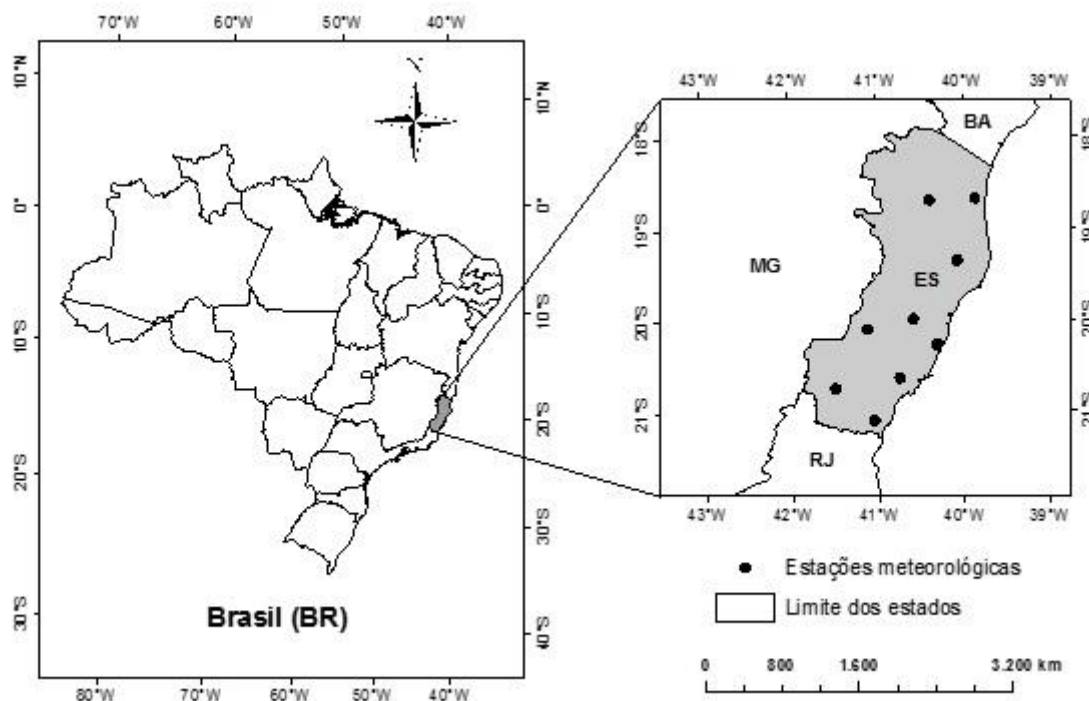


Figura 1. Localização da área em estudo, estado do Espírito Santo (ES), Brasil.

Segundo Alvares et al. (2013), são encontrados no estado do Espírito Santo os climas Af, Am e Aw, Cwc, Cfa, Cfb, Cwa, Cwb, com temperatura média anual entre 16,8 e 24 °C; e pluviosidade média entre 1.078 e

1.376 mm anuais. O presente estudo utilizou os dados meteorológicos diários das nove estações meteorológicas automáticas do INMET localizadas no estado do Espírito Santo (Tabela 1).

Tabela 1. Estações meteorológicas automáticas do INMET utilizadas no estudo.

Código	Nome	Estado	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Período	Nº de anos
A612	Vitória	ES	-20°16'	-40°18'	9	2006/2015	9
A613	Santa Teresa	ES	-19°59'	-40°34'	988	2007/2015	8
A614	Linhares	ES	-19°21'	-40°04'	40	2006/2015	9
A615	Alfredo Chaves	ES	-20°38'	-40°44'	35	2006/2015	9
A616	São Mateus	ES	-18°42'	-39°50'	39	2006/2015	9
A617	Alegre	ES	-20°45'	-41°29'	138	2006/2015	9
A622	Presidente Kennedy	ES	-21°06'	-41°02'	80	2008/2015	7
A623	Nova Venécia	ES	-18°41'	-40°23'	154	2008/2015	7
A657	Afonso Cláudio	ES	-20°06'	-41°06'	520	2011/2015	4

Para cada estação foram obtidos os valores diários de todos os elementos meteorológicos necessários para calcular a

evapotranspiração pelo método padrão de Penman-Monteith FAO-56 (ET_{0PM}) conforme Equação 1 (ALLEN et al., 1998).

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

Em que:

ET_{0PM} = evapotranspiração de referência calculada pelo método de Penman-Monteith FAO-56 (mm dia^{-1}); Δ = inclinação da curva de saturação do vapor da água ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$); R_n = radiação solar líquida ($\text{MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$); G = fluxo de calor no solo ($\text{MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$); γ = constante psicrométrica ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$); U_2 = velocidade média do vento a 2 m de altura (m s^{-1}); e_s = pressão de saturação do vapor d'água no ar (kPa); e_a = pressão real do vapor d'água no ar (kPa).

As variáveis Δ , R_n , γ , e_s e e_a foram calculadas conforme (ALLEN et al., 1998). Considerou-se o valor de G igual a zero e o albedo da cultura de referência igual a 0,23. Os dias que apresentaram falhas em qualquer variável foram descartados da análise.

A ET_0 calculada pelo método de Penman-Monteith FAO-56 foi utilizada como referência para a calibração da equação de Hargreaves-Samani (HARGREAVES; SAMANI, 1985) – Equação 2.

$$ET_{0HS} = 0,408 H_c Ra (T_{\max} - T_{\min})^{H_e} (T_{\text{med}} + H_t) \quad (2)$$

Em que, ET_{0HS} : evapotranspiração de referência obtida pelo método de Hargreaves-Samani (mm dia^{-1}); T_{\max} , T_{\min} e T_{med} : temperatura máxima, mínima e média diária do ar ($^\circ\text{C}$), respectivamente; Ra : radiação solar extraterrestre ($\text{MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$); H_c , H_e e H_t : parâmetros da equação de Hargreaves-Samani.

Os parâmetros H_c , H_e e H_t , na equação original de Hargreaves-Samani, equivalem a 0,0023, 0,5 e 17,8, respectivamente (HARGREAVES; ALLEN, 2003). A radiação solar extraterrestre (Ra) foi calculada utilizando as equações recomendadas por (ALLEN et al., 1998). A temperatura média

CRESCIMENTO E TROCAS GASOSAS EM ALFACE CULTIVADA SOB REGIMES HÍDRICOS E ADUBAÇÃO FOSFATADA

diária do ar (T_{med}) foi obtida pela média aritmética entre as temperaturas máxima e mínima diárias do ar (T_{min} e T_{max}).

A equação de Hargreaves-Samani foi calibrada por meio do ajuste de seus parâmetros empíricos utilizando três diferentes métodos: a) ajuste somente do parâmetro H_c , mantendo-se os outros dois parâmetros (H_e e H_t) fixos com seus valores originais; b) ajuste de todos os três parâmetros simultaneamente (H_c , H_e e H_t); e c) ajuste da ET_0 utilizando regressão linear simples, conforme recomendado no boletim FAO-56 (ALLEN et al., 1998).

O ajuste por regressão linear simples foi realizado utilizando a seguinte equação:

$$ET_0 = a + b ET_{0HS} \quad (3)$$

Para ajustar a Equação 3, pelo método dos mínimos quadrados linear, adotou-se como variável dependente (ET_0) a evapotranspiração calculada pelo método Penman-Monteith FAO-56 (ET_{OPM}), e como variável independente a evapotranspiração estimada pela equação original de Hargreaves-Samani. Assim, após o ajuste da equação, esta foi aplicada para a correção da evapotranspiração estimada pela equação original de Hargreaves-Samani, utilizando os parâmetros a e b , gerando uma evapotranspiração calibrada (corrigida).

Os parâmetros empíricos da equação de Hargreaves-Samani (H_c , H_e e H_t) foram ajustados utilizando a Equação 2 como modelo, e utilizando o comando *nls* (*non linear*

leastsquares), do pacote MASS, do programa estatístico R (ajuste de regressão não-linear pelo método dos mínimos quadrados).

A calibração foi realizada individualmente para cada estação meteorológica. As equações ajustadas obtidas foram avaliadas comparando-se a evapotranspiração calibrada com a evapotranspiração calculada pelo método Penman-Monteith FAO-56 (ET_{OPM}), usando o coeficiente de determinação (r^2) da regressão linear simples e a raiz do quadrado médio do erro (RQME) – Equação 4. Os ajustes foram, também, avaliados a partir de gráficos de dispersão entre os dados observados e estimados.

$$RQME = \sqrt{n^{-1} \sum_{i=1}^n (E_i - O_i)^2} \quad (4)$$

Em que, n : número de observações; E_i : evapotranspiração estimada pela equação calibrada de Hargreaves-Samani ($mm\ dia^{-1}$); e O_i : evapotranspiração calculada pelo método Penman-Monteith FAO-56 ($mm\ dia^{-1}$).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 2 são apresentados os valores dos parâmetros obtidos a partir dos ajustes dos métodos de calibração da equação de Hargreaves-Samani para as estações meteorológicas do INMET localizadas no estado do Espírito Santo.

Tabela 2. Resultados do ajuste dos métodos de calibração da equação de Hargreaves-Samani para as estações meteorológicas do INMET localizadas no estado do Espírito Santo.

Código	Nome	Regressão linear			H_c	r^2	Ajuste de todos os parâmetros			
		a	b	r^2			H_c	H_e	H_t	r^2
A612	Vitória	-1,112	1,236	0,81	0,0022	0,81	0,0024	0,710	0,00	0,83
A613	Santa Teresa	-0,100	0,943	0,68	0,0021	0,68	0,0030	0,553	3,68	0,70
A614	Linhares	-0,423	1,134	0,78	0,0024	0,78	0,0021	0,729	4,66	0,82
A615	Alfredo Chaves	-0,671	1,082	0,80	0,0021	0,80	0,0014	0,812	5,74	0,85
A616	São Mateus	-0,710	1,143	0,80	0,0022	0,80	0,0028	0,641	0,00	0,82
A617	Alegre	-0,261	0,953	0,84	0,0020	0,84	0,0018	0,613	11,23	0,85

A622 Pres. Kennedy	-0,776	1,341	0,70	0,0026	0,70	0,0040	0,560	0,00	0,72
A623 Nova Venécia	-0,185	0,906	0,70	0,0020	0,70	0,0015	0,606	17,83	0,71
A657 Afonso Cláudio	-0,066	0,914	0,70	0,0021	0,70	0,0012	0,585	37,05	0,71
Média	-0,478	1,072	0,76	0,0022	0,76	0,0022	0,645	8,91	0,78
Erro padrão da média	$\pm 0,120$	$\pm 0,052$	$\pm 0,02$	$\pm 0,0001$	$\pm 0,02$	$\pm 0,0003$	$\pm 0,029$	$\pm 4,03$	$\pm 0,02$

No ajuste por regressão linear, recomendado no boletim FAO-56 (ALLEN et al., 1998), os valores do parâmetro *b* (inclinação da reta) apresentaram valores próximos da unidade, com média igual a 1,072, e baixa variabilidade entre as estações, conforme indicado pelo reduzido valor do erro padrão da média ($\pm 0,052$). Nesse tipo de análise, valores de inclinação da reta próximos do valor unitário indicam a existência de um erro aproximadamente sistemático na evapotranspiração estimada pelo método de HS, em relação à evapotranspiração estimada pelo método de Penman-Monteith, erro esse equivalente ao valor do intercepto da reta (parâmetro *a*). Pode-se observar que todos os valores de intercepto (*a*) foram negativos, com média de $-0,478$ mm/d $\pm 0,120$ mm/d, o que significa que, em média, o método de HS superestima a ET_{OPM} no estado do Espírito Santo, confirmando que a calibração é um procedimento necessário (ALENCAR; SEDIYAMA; MANTOVANI, 2015; ALLEN et al., 1998). O fato do método de HS superestimar a evapotranspiração em climas úmidos é um comportamento já conhecido, relatado por diversos autores (ALENCAR; SEDIYAMA; MANTOVANI, 2015; ALLEN et al., 1998; CARVALHO et al., 2015; CONCEIÇÃO, 2013; FERNANDES et al., 2012; TRAJKOVIC, 2007).

Pode-se observar ainda, na Tabela 2, que os parâmetros H_c ajustados apresentaram pouca variação em relação ao valor original de Hargreaves-Samani (0,0023), com valor médio de 0,0022 e baixo erro padrão da média ($\pm 0,0001$). Outros autores, também ajustando somente o parâmetro H_c da equação de HS no Brasil, obtiveram valores próximos: Fernandes et al. (2012) obteve um valor médio de 0,0014 em Goiás; Conceição (2013) obteve um valor médio de 0,0018 em São Paulo; e Borges e

Menciondo (2007) propuseram valor de 0,0022 para os meses de setembro a abril, e de 0,0020 para maio a agosto também no estado de São Paulo. Essas variações são consideradas normais, pois dependem das características climáticas de cada local estudado.

Na calibração da equação de HS a partir do ajuste simultâneo de todos os seus parâmetros (H_c , H_e e H_t), os valores obtidos apresentaram maior variação, sobretudo o parâmetro H_t , com variação de 0,00 a 37,05. O fato desse tipo de ajuste ser um processo estritamente matemático, implica na obtenção de valores discrepantes dos parâmetros entre as estações (H_c , H_e e H_t), conforme consta na Tabela 2.

Outro aspecto interessante sobre os ajustes realizados refere-se ao comportamento dos coeficientes de determinação (r^2) resultantes, também apresentados na Tabela 2. Na calibração da equação de HS usando regressão linear e usando o ajuste único do parâmetro H_c , não houve alteração dos valores de r^2 em relação ao método original de HS. Isso ocorre, pois, esses dois métodos corrigem a ET_0 sem alterar os valores de r^2 , ou seja, não alteram a dispersão dos dados. Por outro lado, na calibração usando o ajuste simultâneo de todos os parâmetros, observa-se uma ligeira melhoria dos coeficientes de determinação.

Na Tabela 3 constam os valores de raiz do quadrado médio do erro (RQME) calculados usando os dados de ET_0 estimados pela equação de HS original e calibrada pelos diferentes métodos, em relação à evapotranspiração calculada pelo método de Penman-Monteith. A calibração usando o ajuste simultâneo de todos os parâmetros apresentou o melhor desempenho, com RQME médio de 0,70 mm/d, seguida da calibração usando regressão linear, com RQME de 0,73 mm/d, e da calibração usando apenas o ajuste do parâmetro H_c , com RQME de 0,75 mm/d.

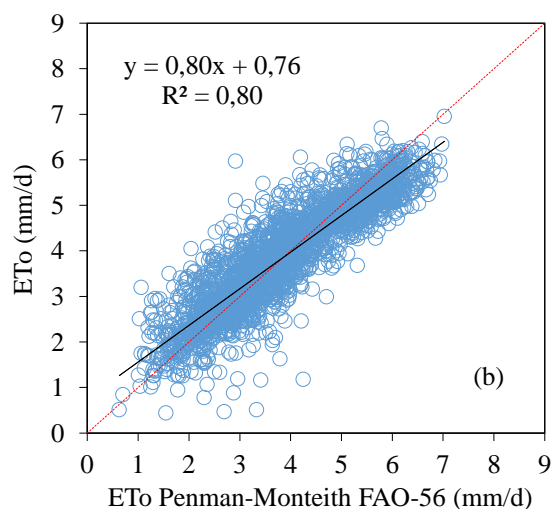
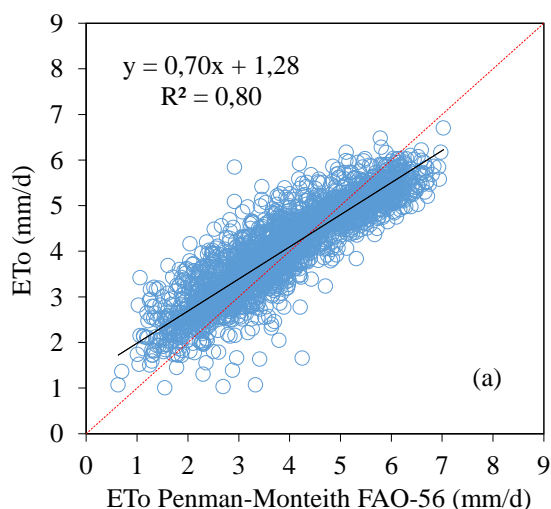
CRESCIMENTO E TROCAS GASOSAS EM ALFACE CULTIVADA SOB REGIMES HÍDRICOS E ADUBAÇÃO FOSFATADA

Tabela 3. Raiz do quadrado médio do erro (RQME, mm d⁻¹) da evapotranspiração de referência calculada pela equação de Hargreaves-Samani (HS) original e calibrada utilizando diferentes métodos, em relação ao método de Penman-Monteith FAO-56.

Código	Nome	HS original	HS calibrado		
			Reg. linear	H _c	H _c , H _e , H _t
A612	Vitória	0,74	0,67	0,76	0,65
A613	Santa Teresa	0,80	0,74	0,74	0,73
A614	Linhares	0,70	0,68	0,69	0,62
A615	Alfredo Chaves	0,83	0,76	0,80	0,66
A616	São Mateus	0,61	0,57	0,60	0,55
A617	Alegre	0,78	0,62	0,63	0,60
A622	Presidente Kennedy	1,27	1,06	1,10	1,02
A623	Nova Venécia	0,96	0,73	0,73	0,72
A657	Afonso Cláudio	0,87	0,75	0,75	0,74
Média		0,84 ± 0,06	0,73 ± 0,05	0,75 ± 0,05	0,70 ± 0,05

A partir dos resultados apresentados na Tabela 3, pode-se observar que os melhores resultados foram obtidos para a estação meteorológica de São Mateus, e os piores resultados obtidos para a estação de

Presidente Kennedy. Nas Figuras 2 e 3 são apresentados os gráficos de dispersão referentes somente aos melhores e piores ajustes obtidos, para essas duas localidades.



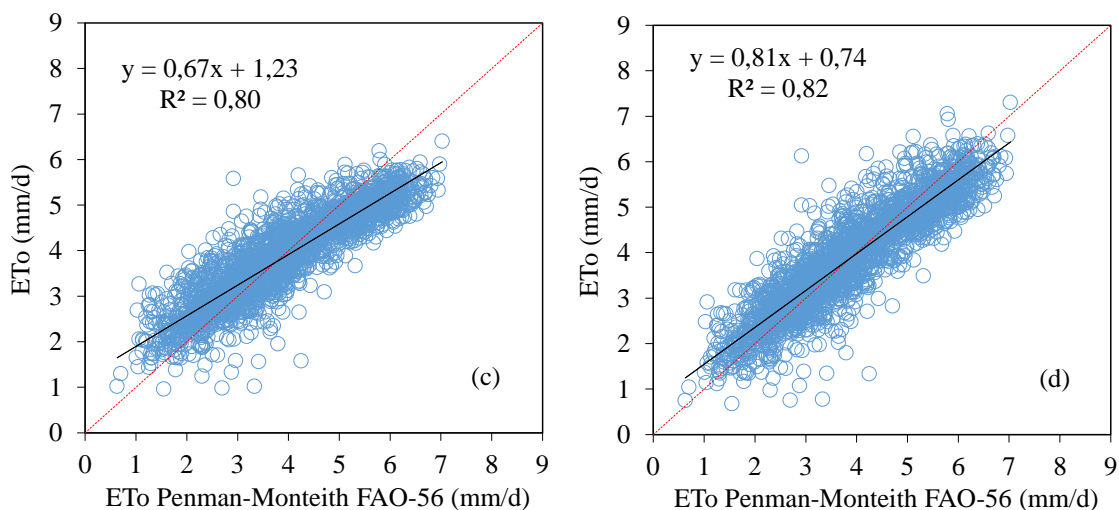


Figura 2. Dispersão da evapotranspiração de referência calculada pela equação de Hargreaves-Samani original (a), calibrada com regressão linear (b), com ajuste apenas de H_c (c), e com ajuste de H_c , H_e e H_t (d), em relação ao método de Penman-Monteith FAO-56, para a estação meteorológica de São Mateus (melhores resultados).

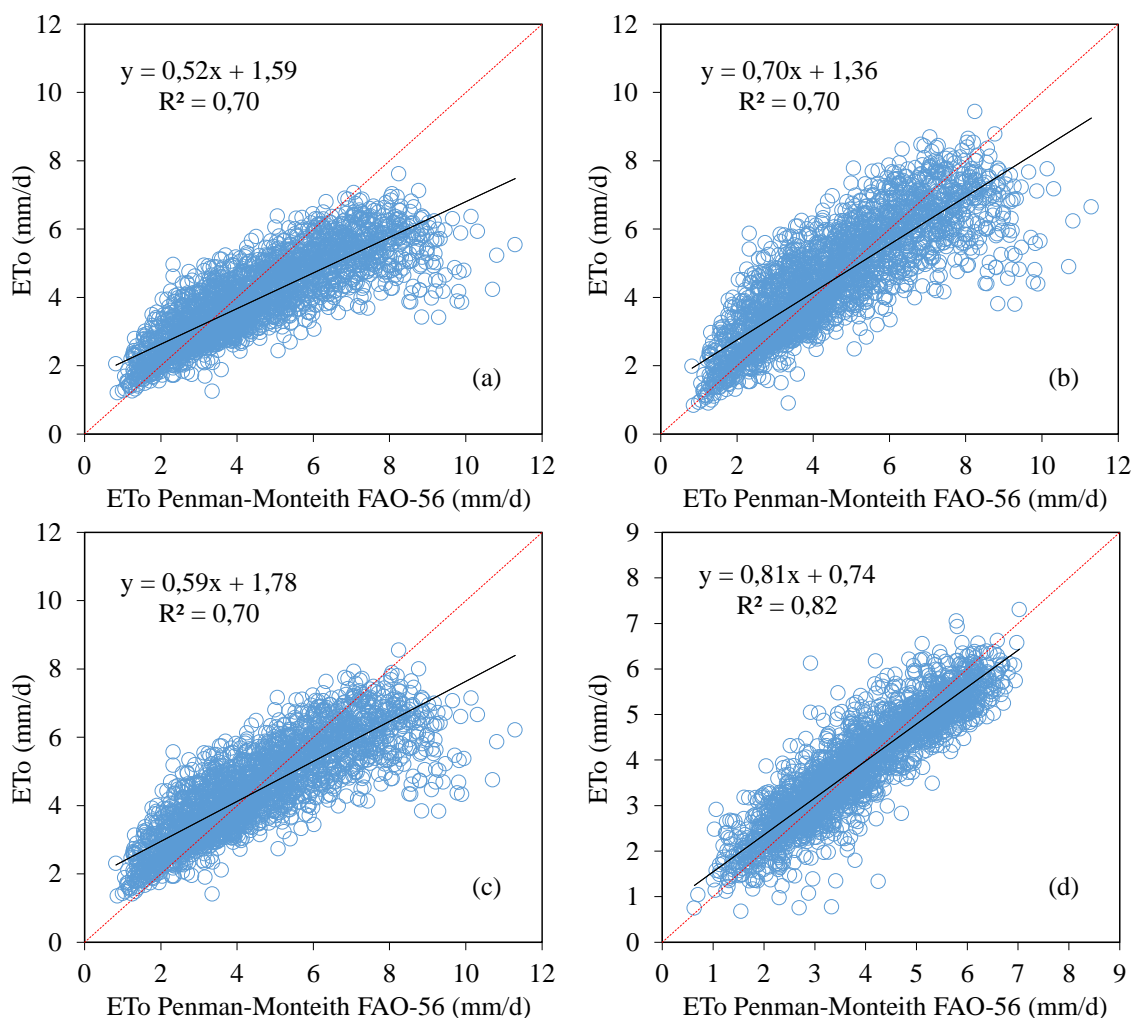


Figura 3. Dispersão da evapotranspiração de referência calculada pela equação de Hargreaves-Samani original (a), calibrada com regressão linear (b), com ajuste apenas de H_c (c), e com ajuste de H_c , H_e e H_t (d), em relação ao método de Penman-Monteith FAO-56, para a estação meteorológica de Presidente Kennedy (piores resultados).

Embora o método de calibração por ajuste simultâneo de todos os parâmetros da equação de HS tenha proporcionado melhores resultados (Tabela 3), sua eficiência não diferiu expressivamente dos demais métodos. Além disso, trata-se de um método mais complexo, que necessita de ajustes de regressão não-linear, e que apresenta parâmetros mais discrepantes entre as estações estudadas, sobretudo dos valores de H_t . Outra característica desse método, também supostamente incoerente, refere-se ao ajuste até mesmo do expoente da amplitude térmica da equação de HS (H_c), que na realidade se trata de uma raiz quadrada.

Dessa forma, devido à inexpressiva diferença apresentada entre os métodos de calibração testados, considera-se que o ajuste usando regressão linear (Equação 2) seja o método mais indicado, recomendado por (ALLEN et al., 1998). Trata-se de um método ainda pouco utilizado, sendo o estudo realizado por Lima et al. (2013) um exemplo desse tipo de aplicação. Como segunda opção, considera-se a calibração a partir do ajuste somente do parâmetro H_c da equação de HS, sendo este, segundo (MARTÍ et al., 2015), o método utilizado na maioria dos casos.

No presente estudo foram testados diferentes métodos de calibração da equação de HS a partir de ajustes locais, utilizando os dados meteorológicos de cada estação individualmente. Pelos resultados obtidos (Tabela 2) usando regressão linear e usando o ajuste único do parâmetro H_c , constatou-se a existência de certa similaridade nos resultados obtidos para as diversas localidades estudadas, indicada pelos baixos valores do erro padrão da média calculados. Esses resultados indicam a viabilidade de realização de futuros estudos visando a calibração regional da equação de HS para o estado do Espírito Santos, ou até mesmo para a região Sudeste do Brasil e, ou outras regiões, como por exemplo o trabalho realizados por Fernandes et al. (2012), no estado de Goiás, e outros estudos internacionais relevantes (MARTÍ et al., 2015; SAMANI, 2000; VANDERLINDEN et al., 2004).

CONCLUSÃO

A equação original de Hargreaves-Samani tende a superestimar a ET_0 no estado do Espírito Santo, em relação ao método padrão de Penman-Monteith FAO-56.

Embora o método de calibração por ajuste simultâneo de todos os parâmetros da equação de Hargreaves-Samani tenha proporcionado melhores resultados, sua eficiência não diferiu expressivamente dos outros métodos testados. Dessa forma, considerando as limitações desse método, conclui-se que a calibração usando regressão linear seja o método mais indicado, embora pouco utilizado. Como segunda opção, considera-se a calibração usando o ajuste somente do parâmetro H_c da equação de Hargreaves-Samani (método atualmente mais utilizado).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUILAR, C.; POLO, M. J. Generating reference evapotranspiration surfaces from the Hargreaves equation at watershed scale. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 15, n. 8, p. 2495–2508, 2011.
- ALENCAR, L. P. DE; SEDIYAMA, G. C.; MANTOVANI, E. C. Estimativa da evapotranspiração de referência (ET_0 padrão FAO), para Minas Gerais, na ausência de alguns dados climáticos. **Engenharia Agrícola**, v. 35, n. 1, p. 39–50, 2015.
- ALLEN, R. G. et al. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Roma: FAO, 1998.
- ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 1 dez. 2013.
- 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, n. 3, p. 293–300, 2007.

CARVALHO, D. F. DE et al. Estimativa da evapotranspiração de referência a partir de dados meteorológicos limitados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, n. 1, p. 1–11, 2015.

CONCEIÇÃO, M. A. F. Ajuste do modelo de Hargreaves para estimativa da evapotranspiração de referência no noroeste paulista. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 7, n. 5, p. 306–316, 2013.

FERNANDES, D. S. et al. Calibração regional e local da equação de Hargreaves para estimativa da evapotranspiração de referência. **Revista Ciência Agronômica**, v. 43, n. 2, p. 246–255, 2012.

GHAMARNIA, H. et al. Time and Place Calibration of the Hargreaves Equation for Estimating Monthly Reference Evapotranspiration under Different Climatic Conditions. **Journal of Agricultural Science**, v. 4, n. 3, p. 111–122, 2011.

HARGREAVES, G. H.; ALLEN, R. G. History and Evaluation of Hargreaves Evapotranspiration Equation. **Irrigation and Drainage Engineering**, v. 129, n. 1, p. 53–63, 2003.

HARGREAVES, G. H.; SAMANI, Z. A. Reference crop evapotranspiration from ambient air temperature. 1985.

LIMA, J. R. S. et al. Calibration of Hargreaves-Samani equation for estimating reference evapotranspiration in sub-humid region of Brazil. **Journal of water resources and protection**, v. 5, p. 1–5, 2013.

MARTÍ, P. et al. Parametric expressions for the adjusted Hargreaves coefficient in Eastern Spain. **Journal of Hydrology**, v. 529, p. 1713–1724, out. 2015.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia: Fundamentos e Aplicações Práticas**. Lavras: Agropecuária, 2002.

SAMANI, Z. Estimating solar radiation and evapotranspiration using minimum climatological data. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 126, n. 4, p. 265–267, 2000.

SPERNA WEILAND, F. C. et al. Selecting the optimal method to calculate daily global reference potential evaporation from CFSR reanalysis data for application in a hydrological model study. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 16, n. 3, 2012.

TRAJKOVIC, S. Hargreaves versus Penman-Monteith under Humid Conditions. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 133, n. 1, p. 38–42, 2007.

VANDERLINDEN, K.; GIRÁLDEZ, J. V.; VAN MEIRVENNE, M. Assessing Reference Evapotranspiration by the Hargreaves Method in Southern Spain. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 130, n. 3, p. 184–191, jun. 2004.