

CALIBRAÇÃO DA EQUAÇÃO DE HARGREAVES-SAMANI PARA A SUBBACIA DO RIO DAS VELHAS, MINAS GERAIS

A. L. M. OLIVEIRA¹, J. C. BORGES JÚNIOR²

RESUMO: O método padrão para o cálculo da evapotranspiração de referência (ET_o) é o método FAO Penman-Monteith. Porém, muitas localidades não possuem uma série de dados completa, ou por falhas no registro ou por não dispor de equipamentos suficientes. Dessa forma, o método Hargreaves-Samani, que requer apenas dados de temperatura e radiação no topo da atmosfera, se torna uma alternativa, sendo geralmente necessária a calibração local. O objetivo deste estudo foi calibrar os coeficientes e o expoente do método Hargreaves-Samani para três estações meteorológicas convencionais da Subbacia do Rio das Velhas, por meio da minimização do erro absoluto médio (EAM). Após a calibração, observamos uma redução do EAM em 12,69%, 56,54% e 27,37% para as estações meteorológicas 1, 2 e 3, respectivamente. Com base no índice de confiança (C), classificou-se o método como de desempenho “bom” e “muito bom” para as estações meteorológicas 2 e 3. Assim, quando apenas dados de temperatura estiverem disponíveis, recomenda-se o uso do método Hargreaves-Samani calibrado para os locais analisados.

PALAVRAS-CHAVE: evapotranspiração de referência, calibração, erro absoluto médio.

CALIBRATION HARGREAVES-SAMANI EQUATION FOR RIVER BASIN VELHAS, MINAS GERAIS

SUMMARY: The standard method for calculating reference evapotranspiration (ET_o) is the FAO Penman-Monteith method. However, many localities do not have a full range of data, or for failure to record or not having sufficient equipment. Thus, the Hargreaves-Samani method, which requires only temperature data, and radiation at the top of the atmosphere becomes an alternative, being the local calibration usually required. The objective of this study was to calibrate the coefficients and the exponent of the Hargreaves-Samani method for three conventional weather stations River Basin Velhas, by minimizing the mean absolute error (MAE). After calibration, a decrease of AMI in 12,69%, 56.54% and 27,37% for the weather stations 1, 2, 3, respectively. Based on the confidence index (C), ranked the method as performance "good" and "very good" for weather stations 2 and 3. Thus, when only temperature data are available, it is recommended the use of Hargreaves-Samani method calibrated to local analyzed.

KEYWORDS: reference evapotranspiration, calibration, mean absolute error.

¹Mestranda em Ciências Agrárias, Depto. de Ciências Agrárias, UFSJ, Campus Sete Lagoas-CSL, Caixa Postal 56, CEP 35701-970, Sete Lagoas, MG. Fone (31) 3697-2016. e-mail: aline.oliveira_eaa@yahoo.com.br.

²Prof. Doutor, Depto. de Ciências Agrárias, UFSJ, Campus Sete Lagoas-CSL, MG.

INTRODUÇÃO

A evapotranspiração de referência (ET_o) é a evapotranspiração de uma cultura hipotética com 0,12m de altura, albedo de 0,23 e uma resistência de superfície de 70 s m⁻¹. O método padrão para seu cálculo é o FAO Penman-Monteith, o qual inclui aspectos aerodinâmicos e termodinâmicos em sua dedução, além da parametrização da cultura de referência (ALLEN et al., 1998). Para calcular a ET_o pelo método FAO Penman-Monteith, necessita-se dados de temperatura, radiação solar, umidade relativa e velocidade do vento. Porém, algumas séries de dados podem apresentar falhas nos registros, o que acarreta dificuldades para aplicação do método padrão. Nesse caso, pode-se utilizar a metodologia descrita por ALLEN et al. (1998), para superar a falta dos parâmetros radiação solar, velocidade do vento e umidade relativa. Considerando-se a possibilidade de disponibilidade limitada de dados, diversas metodologias foram propostas, incluindo-se algumas que requerem apenas dados de temperatura.

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. Porém, esse método tende a superestimar o valor de ET_o, principalmente em climas úmidos, sendo necessária uma calibração regional ou local.

Neste trabalho objetivou-se calibrar a equação de Hargreaves-Samani, em função do erro absoluto médio (EAM), para três estações meteorológicas localizadas na Unidade de Planejamento e gestão de Recursos Hídricos do Rio das Velhas (Subbacia do Rio São Francisco).

MATERIAL E MÉTODOS

Foram empregados dados meteorológicos em base diária entre o período de 1961 a 2014, disponibilizados pelo Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP), de três estações meteorológicas convencionais que estão caracterizadas na Tabela 1. Os dados meteorológicos utilizados foram: temperatura máxima (T_{max}, °C), mínima (T_{min}, °C) e média (T_{med}, °C), que foi a média entre a temperatura máxima e a mínima; horas de brilho solar diário (n, h); velocidade do vento média diária a dois metros de altura (U₂, m s⁻¹) e umidade relativa do ar média diária (UR, %).

Os dados foram tabulados em planilha eletrônica, em que se procedeu a uma análise de consistência, visando identificar anomalias nos dados de temperatura, umidade relativa, horas de brilho solar e velocidade do vento. No caso de se identificar inconsistências, por exemplo, com número de horas de brilho solar superior à duração astronômica do período diurno (N), o dia foi eliminado da série. A análise gráfica complementou a análise de consistência. Eliminou-se também, todas as linhas nas quais faltavam no mínimo um dado dos quatro parâmetros climáticos necessários ao cálculo da ETo pelo método FAO Penman-Monteith. O número total de dias analisados para cada estação meteorológica são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Caracterização das estações meteorológicas convencionais e descarte de dados.

Cidade	Estação	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Conjunto de dados (dias)	Clima*
Belo Horizonte	1	-19,934370	-43,952320	915	17586	Cwa - Clima temperado úmido com inverno seco e verão quente.
Ibirité	2	-20,031448	-44,011284	814,54	9170	
Sete Lagoas	3	-19,484540	-44,173687	732	15708	

* Conforme zoneamento apresentado por SÁ JÚNIOR (2009).

Após essa verificação, procedeu-se ao cálculo da ETo em base diária pelo método FAO Penman-Monteith, conforme descrito por ALLEN et al. (1998), e pelo modelo proposto por HARGREAVES & SAMANI (1985), sendo que os valores iniciais dos coeficientes, conforme Equação 1, foram $A_{HS} = 0,0023$ e $C_{HS} = 17,8$ e o expoente $B_{HS} = 0,5$. A calibração consistiu na modificação dos coeficientes A_{HS} e C_{HS} e do expoente B_{HS} , obtendo-se valores que proporcionassem a minimização de EAM, por meio do uso da ferramenta Solver (Excel), ao se confrontar os resultados obtidos com o método Hargreaves-Samani frente ao método padrão.

$$ETo = A_{HS} R_a (T_{max} - T_{min})^{B_{HS}} (T_{med} + C_{HS}) \quad (1)$$

Para comparação do desempenho do método de Hargreaves-Samani em relação ao método padrão FAO Penman-Monteith, além do EAM, foram utilizados as seguintes estatísticas e indicadores: a raiz quadrada do erro quadrático médio (REQM), a raiz quadrada do erro quadrático médio sistemático (REQMs), a raiz quadrada do erro quadrático médio não sistemático (REQMns), as proporções do erro quadrático médio sistemático e não sistemático, o índice de concordância (d), o índice de confiança (C) conforme critérios sugeridos por CAMARGO & SENTELHAS (1997), o coeficiente de correlação (r), o coeficiente determinação (r^2) e os coeficientes linear e angular da reta de regressão. As expressões das

estatísticas e indicadores foram empregadas conforme WILLMOTT (1982), CAMARGO & SENTELHAS (1997) e WILLMOTT & MATSUURA (2005). Foram calculadas também as médias, os desvios padrão (Sd), o coeficiente de variação (CV), os máximos e mínimos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O resultado da calibração do método de Hargreaves-Samani pode ser visualizado na Tabela 2. Os valores foram truncados para seis, três e quatro casas decimais para os coeficientes A_{HS} e C_{HS} e para o expoente B_{HS} , respectivamente.

Tabela 2. Coeficientes e expoentes do método de Hargreaves-Samani-calibrado.

Cidade	Estação	A_{HS}	B_{HS}	C_{HS}
Belo Horizonte	1	0,002551	0,5275	8,465
Ibirité	2	0,002396	0,5198	5,031
Sete Lagoas	3	0,001661	0,6484	9,071

As comparações dos resultados obtidos com os métodos FAO Penman-Monteith (FAO PM), Hargreaves-Samani (HS) e Hargreaves-Samani-calibrado (HS calib.), em base diária, são apresentados na Tabela 3. A calibração do método HS reduziu o EAM em 12,69%, 56,54% e 27,37% para as estações meteorológicas 1, 2 e 3, respectivamente. PANDEY et al. (2014) (PANDEY; PANDEY; MAHANTA, 2014), calibraram o coeficiente C_{HS} e o expoente B_{HS} para um conjunto de dados em base diária para Gangtok na Índia (região de clima húmido), tendo obtido uma redução no EAM em 51,30%.

A calibração proporcionou um ligeiro aumento no valor do coeficiente de correlação (r) e uma elevação mais significativa no índice de concordância (d), sendo esse o maior responsável pela melhora no índice de confiança (C), que passou de 0,695, 0,542 e 0,689 para 0,719, 0,675 e 0,774 para as estações meteorológicas 1, 2 e 3, respectivamente. Considerando-se os valores de C , conforme CAMARGO & SENTELHAS (1997), o método HS calibrado foi classificado como de desempenho “bom”, para as estações meteorológicas 1 e 2, e “muito bom” para a estação meteorológica 3. Observa-se que a dispersão em torno da média após calibragem se aproximou dos valores observados para o método padrão: o coeficiente de variação (CV) aumentou de 25,737 para 27,488%, de 24,206 para 26,956% e de 23,630 para 26,633%, para as estações meteorológicas 1, 2 e 3, respectivamente, aproximando-se dos valores de CV obtidos com o método padrão para as respectivas localidades.

Observa-se também, que a calibração do método HS resultou em uma grande alteração nas proporções sistemáticas e não sistemática do EQM. A porção sistemática foi reduzida de 35,89 para 23,20%, 74,33 para 33,28% e de 69,18 para 25,73%, para as estações meteorológicas 1, 2 e 3. Como considerado por WILLMOTT (1982), para uma simulação ser considerada boa, a diferença sistemática deve se aproximar de zero, enquanto a diferença não sistemática deve se aproximar de REQM, como foi observado neste estudo.

Tabela 3. Comparação dos métodos de HS e HS calb.com o método padrão FAO PM.

	BELO HORIZONTE			IBIRITÉ			SETE LAGOAS		
	FAO PM	HS	HS calib.	FAO PM	HS	HS calib.	FAO PM	HS	HS calib.
Média (mm)	3,66	4,01	3,64	3,33	4,48	3,31	3,72	4,50	3,70
Sd (mm)	1,13	1,03	1,00	1,09	1,08	0,89	1,14	1,06	0,99
CV	30,90	25,74	27,49	32,68	24,21	26,96	30,68	23,63	26,63
Máximo (mm)	7,70	6,94	6,64	6,95	7,70	5,95	8,72	7,71	7,04
Mínimo (mm)	1,03	1,04	0,82	1,11	1,39	0,91	1,16	1,22	0,73
r		0,80	0,81		0,77	0,78		0,84	0,85
r²		0,64	0,65		0,59	0,60		0,70	0,72
EAM (mm)		0,61	0,53		1,19	0,52		0,66	0,48
EQM (mm²)		0,60	0,46		1,86	0,47		0,79	0,37
REQM (mm)		0,77	0,68		1,37	0,69		0,89	0,61
EQMs (mm²)		0,21	0,11		1,39	0,16		0,55	0,10
EQMns (mm²)		0,38	0,35		0,48	0,32		0,27	0,27
REQMs (mm)		0,46	0,33		1,18	0,40		0,74	0,31
REQMns (mm)		0,62	0,59		0,69	0,56		0,52	0,52
EQMs/EQM (%)		35,89	23,20		74,33	33,28		69,18	25,73
EQMns/EQM (%)		64,11	76,80		25,67	66,72		34,16	74,27
d		0,87	0,89		0,70	0,87		0,82	0,91
C		0,69	0,72		0,54	0,68		0,69	0,77

BERTI et al. (2014), observaram que o método Hargreaves-Samani superestimou o método padrão FAO-PM em 18,9%. Porém, após a calibração do coeficiente da equação A_{HS} e do expoente B_{HS} , para uma base de dados diária de estações meteorológicas localizadas na planície de Veneto na Itália, a superestimativa foi reduzida em 2,6%. Em nosso estudo, observamos que o método HS superestimou o método FAO Penman-Monteith em 9,50%, 34,53% e 20,93% para as estações meteorológicas 1, 2 e 3, respectivamente. Mas, após a calibração houve uma subestimativa do método padrão em 0,58%, 0,68% e 0,61% para as respectivas estações.

CONCLUSÕES

A calibração dos coeficientes A_{HS} e C_{HS} e do expoente B_{HS} do método Hargreaves-Samani, para estações meteorológicas da Subbacia do Rio das Velhas, acarretou melhoria no desempenho do método, gerando valores de erro absoluto médio (EAM) de 0,53, 0,52 e 0,48 mm d⁻¹ para as estações meteorológicas 1, 2 e 3, respectivamente, e reduziu drasticamente a tendência de sobreestimativa verificada com a aplicação do método sem calibração.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. Rome: FAO, Irrigation and Drainage, Paper 56, 1998. 301p.
- BERTI, A.; TARDIVO, G.; CHIAUDANI, A.; RECH, F., BORIN, M. Assessing reference evapotranspiration by the Hargreaves method in north-eastern Italy. *Agricultural Water Management*, v. 140, p.20–25, 2014.
- CAMARGO, Â.P. de; SENTELHAS, P.C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no estado de São Paulo, Brasil. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v. 5, n. 1, p.89–97, 1997.
- HARGREAVES, G.H.; SAMANI, Z.A. Reference Crop Evapotranspiration from Temperature. *Applied Engineering in Agriculture*, St. Joseph, v. 1, n. 2, p.96–99, 1985.
- PANDEY, V.; PANDEY, P. K.; MAHANTA, A. P. Calibration and performance verification of hargreaves samani equation in a humid region. *Irrigation and Drainage*, v. 63, n. 5, p.659–667, 2014.
- SÁ JÚNIOR, A. de. Aplicação da classificação de Köppen para o zoneamento climático do Estado de Minas Gerais. Lavras, 2009. 101p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Lavras, UFLA.
- WILLMOTT, C.J. Some comments on the evaluation of model performance. *Bulletin American Meteorological Society*, v. 63, n. 11, p.1309–1313, 1982.
- WILLMOTT, C.J.; MATSUURA, K. Advantages of the mean absolute error (MAE) over the root mean square error (RMSE) in assessing average model performance. *Climate Research*, v. 30, n. 1, p.79–82, 2005.