

AJUSTE DA EQUAÇÃO DE HARGREAVES E SAMANI A PARTIR DE DADOS LISIMÉTRICOS PARA O MUNICÍPIO DE JUAZEIRO-BA

EDGO JACKSON PINTO SANTIAGO¹; VINÍCIUS EVANGELISTA ALVES OLIVEIRA²; RODRIGO RAFAEL DA SILVA³; IRIS SANTANA GONÇALVES⁴ E GERTRUDES MACÁRIO DE OLIVEIRA⁵

¹ Mestrando, PPHI, Depto de Tecnologia e Ciências Sociais, UNEB, Juazeiro, BA. Av. Edgard Chastinet, SN, São Geraldo, 48900-000, Juazeiro, BA. Fone (74)36117248. Email: edgoj@hotmail.com

² Mestrando, PPHI, Depto de Tecnologia e Ciências Sociais, UNEB, Juazeiro, BA.

³ Bolsista PIBIC, Graduando Eng. Agrônômica, Depto de Tecnologia e Ciências Sociais, UNEB, Juazeiro, BA.

⁴ Bolsista FAPESB, Graduanda Eng. Agrônômica, Depto de Tecnologia e Ciências Sociais, UNEB, Juazeiro, BA.

⁵ Doutora, Professora, Depto de Tecnologia e Ciências Sociais, UNEB, Juazeiro, BA.

1 RESUMO

O conhecimento preciso da evapotranspiração é fundamental para um manejo eficiente da irrigação; e para medida direta da mesma, são utilizados tanques lisimétricos. Entretanto, diante da dificuldade de instalação e operação desses instrumentos, recorre-se a estimativas, e entre os métodos de estimativas, destacam-se os métodos empíricos, difundidos e largamente utilizados por sua simplicidade. O objetivo deste trabalho foi calibrar a equação de Hargreaves e Samani, como base em dados lisimétricos. Foram utilizados dados diários de evapotranspiração da grama e temperatura do ar referente ao período de 2007 a 2015. O ajuste dos coeficientes empíricos da equação de Hargreaves e Samani foi realizado por meio de regressão linear. Para análise comparativa foi utilizado coeficiente de desempenho (c) proposto por Camargo e Sentelhas. Obteve-se para os parâmetros α e β os respectivos valores: 0,0018 e 0,38; valores inferiores aos parâmetros originais. A utilização da equação de Hargreaves e Samani parametrizada com base em dados lisimétricos apresentou desempenho ruim para as condições climáticas de Juazeiro, BA.

PALAVRAS-CHAVE: evapotranspiração; temperatura; manejo da irrigação.

SANTIAGO, E. J. P.; OLIVEIRA, V. E. A.; SILVA, R. R. da; GONÇALVES, I. S.; OLIVEIRA, G. M. de

ADJUSTING THE HARGREAVES AND SAMANI EQUATION TO THE LYSIMETER DATA FROM THE JUAZEIRO-BAHIA MUNICIPALITY

2 ABSTRACT

The precise knowledge of evapotranspiration is essential for the efficient irrigation management; and for the direct measurement thereof, lysimeter tanks are used. However, given the difficulty involving the installation and operation of these instruments, the Group uses estimates and different methods for estimating the stand-empirical methods, disseminated and widely used for its simplicity. The objective of this study was to calibrate

the Hargreaves & Samani equation, based on lysimeter data. We used daily data of evapotranspiration of grass and air temperature related to the period from 2007 to 2015. The adjustment of the empirical coefficient of the Hargreaves & Samani equation was performed by linear regression. For a comparative analysis, the coefficient of performance "c" proposed by Camargo & Sentelhas was utilized. The respective values were obtained for parameters α and β : 0.0018 to 0.38, which are lower values than the original parameters. Using the Hargreaves & Samani parameterized equation based on lysimeter data showed a poor performance for the climatic conditions of Juazeiro, BA.

Keywords: evapotranspiration; Temperature; irrigation management.

3 INTRODUÇÃO

A região do Vale do São Francisco, assim como a do norte de Minas Gerais, está compreendida dentro da região semiárida brasileira e é um dos principais polos de viticultura tropical do Brasil (CAMARGO; TONIETTO; HOFFMAN; 2011); além de destacar-se também pelo cultivo de manga e várias olerícolas. Apesar de todas as áreas vitícolas serem irrigadas, os produtores, em geral, não utilizam critérios técnicos para o manejo da irrigação (COSTA; TARSITANO; CONCEIÇÃO; 2012). Diante da crescente demanda dos recursos hídricos e os conflitos entre os múltiplos usos, seja na área agrícola, que demanda um volume bem maior do que nas atividades urbanas, exige que o planejamento e a gestão da sua utilização ocorram em termos racionais e otimizados (SILVA et al., 2015).

Nesta perspectiva, o conhecimento das reais necessidades hídricas dos cultivos torna-se extremamente importante, uma vez que informação dessa natureza é crucial no gerenciamento de água aplicado aos processos produtivos agrícolas. Segundo Minuzzi et al. (2014), uma das alternativas para se racionalizar o uso da água em projetos agrícolas, é estimar a evapotranspiração da cultura a partir da evapotranspiração de referência e do coeficiente de cultura. Para tanto, na literatura são encontrados diversos métodos de estimativas da evapotranspiração de referência, desenvolvidos para condições climáticas variadas.

Um método utilizado universalmente para quantificar a evapotranspiração de referência diária é o de Penman-Monteith FAO-56 (ALLEN et al., 1998). O principal problema desse método padrão é que requer medidas acuradas de temperatura do ar, umidade relativa do ar, radiação solar e velocidade do vento (POPOVA; KERCHEVA; PEREIRA; 2006). Todavia, de acordo com Fernandes et al. (2012), há vários métodos empíricos para a estimativa de evapotranspiração de referência que foram desenvolvidos para diferentes localidades e metodologias.

Embora muitas equações tenham sido propostas para estimar a evapotranspiração de referência, não há um consenso único para uma dada equação em um determinado clima. Assim, essas equações requerem uma calibração local (DEHGHANISANIJ; YAMAMOTOA; RASIAH; 2004). Um método empírico e alternativo que vem sendo utilizado em vários estudos é a equação de Hargreaves e Samani, baseada apenas em dados de temperatura do ar (FOOLADMAND; ZANDILAK; RAVANAN; 2008).

De acordo com Allen et al. (1998), o modelo de Hargreaves pode melhorar o seu desempenho, com ajuste de seus coeficientes conforme as condições climáticas regionais. Fooladmand e Haghghat (2007) destacam que, locais com valores de velocidade do vento maiores que dois metros por segundo, requerem o uso de coeficientes ajustados, em vez do

original, para não se obter alta disparidade dos valores corrigidos na calibração. Nesse sentido, objetivou-se neste trabalho, calibrar a equação de Hargreaves e Samani, tomando como base, dados obtidos em um lisímetro de lençol freático constante cultivado com grama.

4 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado no município de Juazeiro, localizado no norte da Bahia, na região do Submédio do Vale São Francisco. Os dados meteorológicos utilizados foram obtidos na Estação Meteorológica Automática do Departamento de Tecnologia e Ciências Sociais da Universidade do Estado da Bahia - DTCS/UNEB, no período de 2007 a 2015. Dados médios diários de temperatura máxima (T_{max}), temperatura mínima (T_{min}) e média (T_{med}) do ar foram utilizados; bem como dados diários de evapotranspiração obtidos em um lisímetro de lençol freático constante, cultivado com grama, e instalado na área da estação meteorológica do DTCS/UNEB. O gramado simulou a condição padrão e apresentava crescimento ativo cobrindo todo o solo, sem deficiência hídrica; e mantido rebaixado através de cortes periódicos.

O ajuste dos coeficientes empíricos da equação de Hargreaves e Samani (Eq.1) foi realizado por meio de regressão linear simples, após uma linearização prévia da mesma (Eq.2), considerando para tanto apenas os dados diários dos anos ímpares. O ajuste foi realizado por estação do ano e para o período anual. A partir da equação previamente de Hargreaves e Samani Ajustada (HS.Ajus) e já com seus coeficientes empíricos obtidos, para validação das mesmas, foram utilizados dados diários dos anos pares.

A evapotranspiração de referência (ET_o) estimada pelas equações ajustadas e pela equação original de Hargreaves e Samani foi comparada com medidas obtidas no lisímetro (ET.gram). Para análise comparativa, foi utilizado o índice de confiança (c) (Eq.3), proposto por Camargo e Sentelhas (1997), obtido através do produto do coeficiente de correlação (r) pelo índice de concordância (d) (Eq.4). Utilizou-se ainda a verificação do erro proporcionada pelas estimativas através do cálculo do erro padrão da estimativa (Eq.5) (JENSEN; BURMAN; ALLEN; 1990). As análises de regressão linear simples e múltipla foram realizadas pelo *software Stata*[®]/SE 12.0; e para testar a significância das estimativas dos coeficientes da regressão foi utilizado o teste t a 5% de probabilidade. Para comparar a correlação da ET_o obtida pela equação de Hargreaves e Samani, com seus coeficientes originais (HS) e Ajustados (HS.Ajus) e a evapotranspiração real da grama (ET.gram), para as diferentes estações do ano e período anual, foi realizada uma análise de correlação de Pearson a 5% de probabilidade.

$$ET_o = \alpha (T_{max} - T_{min})^\beta (T_{med} + 17,8) Ra.0,408 \quad (1)$$

em que: Ra é a radiação solar extraterrestre em MJ m⁻² dia⁻¹; α é um parâmetro empírico, sendo utilizado o seu valor original de 0,0023; β é um parâmetro empírico exponencial, sendo seu valor original de 0,5.

$$\ln \frac{ET_o}{Ra.0,408(T_{med} + 17,8)} = \ln \alpha + \beta \ln (T_{max} - T_{min}) \quad (2)$$

$$c = r.d \quad (3)$$

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^N (|P_i - O| + |O_i - O|)^2} \quad (4)$$

$$EPE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2}{N-1}} \quad (5)$$

em que: O_i é o valor estimado pelo modelo padrão; P_i é o valor estimado pelos modelos propostos; O é o valor da média obtido pelo modelo padrão; r é o coeficiente de correlação; d é o índice de concordância; N é o número de observações; EPE é o erro padrão da estimativa.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

São apresentados na Tabela 1 os coeficientes empíricos da equação de Hargreaves e Samani obtidos no processo de calibração, bem como índices que descrevem o desempenho do ajuste. Verifica-se que com exceção do outono, as demais estações apresentaram coeficientes alfa menores do que o valor original da equação (0,0023); e que os menores valores de alfa coincidem com os maiores valores de beta, evidenciando um comportamento inverso desses dois coeficientes. Resultados semelhantes foram encontrados por Lima Júnior et al. (2016), em calibração dos coeficientes da equação de Hargreaves e Samani em escala mensal para doze localidades do estado do Ceará.

Tabela 1. Valores dos coeficientes empíricos α (Alfa) e β (Beta) da equação de Hargreaves e Samani e desempenho das estimativas de evapotranspiração na validação dos modelos ajustados para região de Juazeiro-BA.

Modelo	Estação	Alfa	Beta	d	c	Desempenho	EPE mm d ⁻¹
HS	Verão	0,00230	0,5000	0,40	0,38	péssimo	2,80
	Outono	0,00230	0,5000	0,42	0,39	péssimo	1,90
	Inverno	0,00230	0,5000	0,49	0,47	mau	1,60
	Primavera	0,00230	0,5000	0,41	0,39	péssimo	2,50
	Anual	0,00230	0,5000	0,46	0,43	mau	1,99
HS.Ajus	Verão	0,00051	0,8733	0,50	0,47	mau	1,00
	Outono	0,00325	0,1145	0,31	0,29	péssimo	0,90
	Inverno	0,0022	0,35	0,49	0,47	mau	1,00
	Primavera	0,00074	0,69	0,46	0,43	mau	1,40
	Anual	0,00183	0,3831	0,48	0,45	mau	0,45

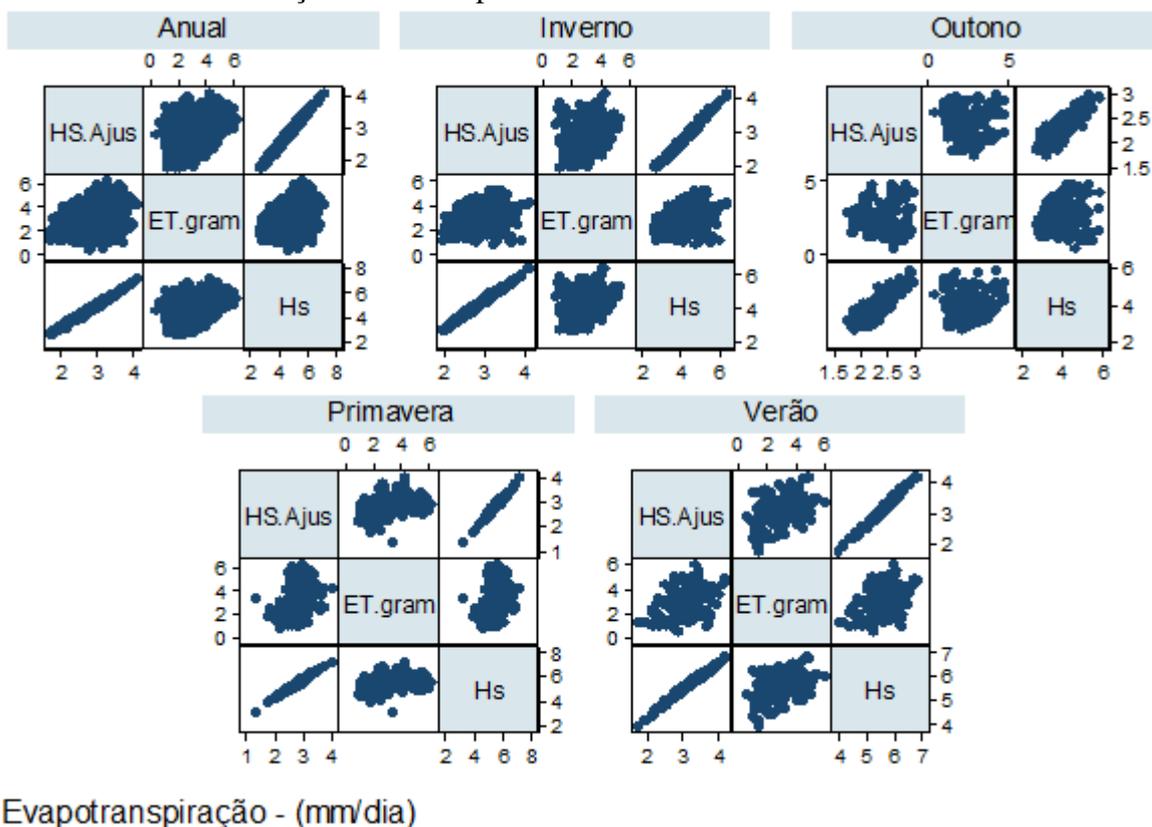
Percebe-se também pela Tabela 1 que, o índice c que mede a confiança manteve-se abaixo de 0,47 em todas as estações do ano, e também para o período anual. Tal fato indica que o processo de ajuste foi ruim e, portanto, classificado como mau ou péssimo para todo

período avaliado e ao longo de cada estação. Estes resultados, de modo geral, diferem dos encontrados por Silva et al. (2015), para as condições climáticas do Estado do Ceará; avaliando a estimativa da Eto calculada pelo método de Hargreaves e Samani em comparação ao método padrão Penman-Monteith FAO-56. Na ocasião com exceção da cidade de Fortaleza, os autores encontraram valores do índice de confiança acima de 0,58, obtendo classificação mínima de sofrível.

Devido à baixa eficiência no processo de calibração, verificou-se (Tabela 1) que de modo geral, o erro padrão de estimativa (EPE) da equação ajustada foi de no máximo 1,40 mm dia⁻¹ na primavera, mas sempre menor que o erro obtido pela equação sem ajuste, a qual atingiu valores de até 2,80 mm dia⁻¹ no verão.

Na Figura 1 é apresentado a dispersão dos valores das estimativas da evapotranspiração obtidas pela equação de Hargreaves e Samani com seus coeficientes ajustado (HS.Ajus) e original (HS), comparados aos valores da evapotranspiração da grama (ET.gram). Nota-se um comportamento não correlacionado, ou com baixíssima correlação entre estimativas e medida da ETo.

Figura 1. Comparação de nuvens de dispersão de dados da evapotranspiração de referência obtida entre as equações de Hargreaves e Samani, com seus coeficientes originais (HS) e ajustados (HS.Ajus) e a evapotranspiração real da grama (ET.gram), para a diferentes estações do ano e período anual.



Na Tabela 2 encontra-se uma análise de correlação entre as estimativas e a medida das evapotranspirações. Verificando-se a não significância da correlação no outono entre a equação ajustada e os dados lisimétricos, bem como a fraca correlação nos demais períodos.

Tabela 2. Análise de correlação da evapotranspiração de referência obtida entre as equações de Hargreaves e Samani, original (HS) e Ajustada (HS.Ajus) e a evapotranspiração real da grama (ET.gram), para a diferentes estações do ano e período anual.

		HS.Ajus	ET.gram	HS
Verão	HS.Ajus	1,00		
	ET.gram	0,3776*	1,00	
	HS	0,9915*	0,4015*	1,00
Outono	HS.Ajus	1,00		
	ET.gram	0,0421 ^{ns}	1,00	
	HS	0,8779*	0,0804 ^{ns}	1,00
Inverno	HS.Ajus	1,00		
	ET.gram	0,2601*	1,00	
	HS	0,9944*	0,2875*	1,00
Primavera	HS.Ajus	1,00		
	ET.gram	0,2122*	1,00	
	HS	0,9868*	0,1183 ^{ns}	1,00
Anual	HS.Ajus	1,00		
	ET.gram	0,2769*	1,00	
	HS	0,9963*	0,2999*	1,00

OBS: * Significativo a 5% de probabilidade; ns – não significativo a 5 % de probabilidade.

A provável causa para esse fato e também para a baixa eficiência no processo de calibração, pode estar associada a efeitos advectivos sobre a superfície gramada do lisímetro, principalmente nos períodos secos; considerando que a região de estudo é caracterizada por alta incidência de radiação solar e consequentemente, maior disponibilidade de calor sensível para o processo de evapotranspiração.

6 CONCLUSÃO

A utilização da equação de Hargreaves e Samani ajustada com base em dados lisimétricos apresentou baixo desempenho para as condições climáticas de Juazeiro, BA.

7 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.
- CAMARGO, A. P.; 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.
- CAMARGO, U.A.; TONIETTO, J.; HOFFMAN, A. Progressos na viticultura brasileira. **Revista Brasileira de Fruticultura**, volume especial, Jaboticabal-SP, p.144-149, 2011.

COSTA, T. V.; TARSITANO, M. A. A.; CONCEIÇÃO, M. A. F. Caracterização social e tecnológica da produção de uvas para mesa em pequenas propriedades rurais da região de Jales-SP. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal-SP, v.34, n.2, p.766-773, 2012.

DEHGHANISANIJ, H.; YAMAMOTOA, T.; RASIAH, V. Assessment of evapotranspiration estimation models for use in semi-arid environments. **Agricultural Water Management**, v.64, n.2, p.91-106, 2004.

FERNANDES, D. S., 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 Agronômica**, Fortaleza, v.43, n.2, p.246-255, 2012.

FOOLADMAND, H. R.; HAGHIGHAT, M. Spatial and temporal calibration of Hargreaves equation for calculating monthly ETo based on Penman-Monteith method. **Irrigation and Drainage**, v.56, p.439-444, 2007.

FOOLADMAND, H. R.; ZANDILAK, H.; RAVANAN, M. H. Comparison of different types of Hargreaves equation for estimating monthly evapotranspiration in the south of Iran. **Archives of Agronomy and Soil Science**, v.54, n.3, p.321-330, 2008.

JENSEN, M. E.; BURMAN, R. D.; ALLEN, R. G. Evapotranspiration and water irrigation requirements. New York: Committee on Irrigation Water Requirements, Irrigation and Drainage Division of ASCE, Manual nº70, ASCE, 332p., 1990.

LIMA JUNIOR, J. C.; ARRAES, F. D. D.; OLIVEIRA, J. B.; NASCIMENTO, F. A. L.; MACÊDO, K. G. 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, 2016.

MINUZZI, R. B.; RIBEIRO, A. J.; SILVA, D. O.; KUNESKI, A. C. Estimativa da evapotranspiração de referência diária por Penman-Monteith FAO com dados de temperatura do ar para Santa Catarina. **Irriga**, v.19, n.3, p.548-558, 2014.

POPOVA, Z.; KERCHEVA, M.; PEREIRA, L. S. Validation of the FAO methodology for computing ETo with limited data. **Irrigation and Drainage**, Sloough, v.55, p.201-215, 2006.

SILVA, M. G.; OLIVEIRA, I. S.; CARMO, F. F.; LÊDO, E. R. F.; SILVA FILHO, J. A. Estimativa da evapotranspiração de referência pela equação de Hargreaves-Samani no Estado do Ceará, Brasil. **Jornal Brasileiro de Engenharia e Biosistemas**, Tupã, v.9, n.2, p.132-141, 2015.