



MODELO DE HARGREAVES-SAMANI AJUSTADO AS CONDIÇÕES CLIMÁTICAS DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO PARA ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA

Anderson A.R. Santos¹, Rafael C. Delgado², Evaldo de P. Lima³, José Leonaldo de Souza⁴, Guilherme B. Lyra⁵, Gustavo B. Lyra²

1 Eng. Agrônomo, mestrando em Eng. de Biosistemas, Escola de Engenharia, UFF, Niterói - RJ, Fone: (0 xx 21) 2682-1128, e-mail: aamorimrs@gmail.com

2 Meteorologista, Prof. Adjunto, Depto. Ciências Ambientais, IF/UFRRJ, Seropédica - RJ

3 Meteorologista, Pesquisador, Centro Nacional de Pesquisa de Solos, CNPS/EMBRAPA, Rio de Janeiro - RJ

4 Meteorologista, Prof. Associado, Instituto de Ciências Atmosféricas, UFAL, Maceió, AL

5 Eng. Agrônomo, Prof. Adjunto, Centro de Ciências Agrárias, UFAL, Rio Largo, AL

Apresentado no XVIII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia – 02 a 06 de Setembro de 2013 – Centro de Convenções e Eventos Benedito Silva Nunes, Universidade Federal do Pará, Belém, PA

RESUMO: Utilizando-se como padrão para determinação da evapotranspiração de referência (ET_o) o modelo de Penman-Monteith parametrizado no boletim N° 56 de irrigação e drenagem da FAO (PM-FAO56) ajustou-se o modelo de Hargreaves-Samani (HS) para as condições climáticas do Estado do Rio de Janeiro. Nas estimativas da ET_o foram utilizadas séries climáticas de 10 estações meteorológicas convencionais pertencentes ao Instituto Nacional de Meteorologia. Os valores dos coeficientes do modelo de HS ajustados para o Estado do Rio de Janeiro não variaram significativamente (cv 3,4%), sendo indicado a utilização de um valor médio ($0,0116 \pm 0,0004$) para todo o Estado. O modelo de Hargreaves-Samani ajustado e o original apresentaram elevada precisão ($r^2 = 0,94$) das estimativas de ET_o . Contudo, a acurácia das estimativas de ET_o foram superiores com o modelo HS ajustado ($d = 0,99$ e $EPE = 0,25 \text{ mm d}^{-1}$) em relação ao original ($d = 0,93$ e $EPE = 0,65 \text{ mm d}^{-1}$).

PALAVRAS-CHAVE: evapotranspiração, radiação solar, temperatura do ar

HARGREAVES-SAMANI MODEL ADJUSTED TO THE CLIMATIC CONDITIONS OF THE STATE OF RIO DE JANEIRO TO ESTIMATES OF REFERENCE EVAPOTRANSPIRATION

ABSTRACT: The model of Hargreaves-Samani (HS) was adjusted for climatic conditions of the Rio de Janeiro State using the parameterized Penman-Monteith in FAO irrigation and drainage paper No. 56 (PM-FAO 56) as a standard model for determination of reference evapotranspiration (ET_o). Climate series of 10 conventional meteorological stations from the Meteorological National Institute were used for the estimates of ET_o climate. The HS model coefficients adjusted did not vary significantly (cv 3.4%), indicating the possibility of use of average value (0.0116 ± 0.0004) for the entire State. The Hargreaves-Samani adjusted model and the original showed high precision ($r^2 = 0.94$) to the evapotranspiration estimates. However, the accuracy by HS





adjusted ($d = 0.99$ and $SEE = 0.25 \text{ mm d}^{-1}$) were higher than the original model ($d = 0.93$ and $SEE = 0.65 \text{ mm d}^{-1}$).

KEYWORDS: evapotranspiration, solar radiation, air temperature

INTRODUÇÃO

Em cultivos agrícolas, o adequado manejo da irrigação tende a elevar a produtividade das culturas. No projeto e manejo de sistemas de irrigação é necessário o conhecimento das componentes do Balanço de Água no Solo (BAS), para melhor aproveitar os recursos hídricos disponíveis e potencializar a produtividade. Entre os componentes do BAS destacam-se a precipitação e a evapotranspiração (ET). A água restituída ao solo pela irrigação equivale a ET, pois esta componente define o consumo de água armazenada no solo. A evapotranspiração para uma cultura sem restrições de água no solo (ET_c) pode ser estimada pelo produto da evapotranspiração de referência (ET_o) por um coeficiente de cultivo empírico (K_c) (ALLEN et al., 1998). O boletim N° 56 de irrigação e drenagem da FAO recomenda para estimativa de ET_o o modelo de Penman-Monteith parametrizado para uma cultura hipotética (PM-FAO56) (ALLEN et al., 1998). O método de PM-FAO56 requer para sua aplicação medidas de alguns elementos meteorológicos (radiação solar, temperatura e umidade do ar e velocidade do vento), sendo esses difíceis de serem observados na maioria das estações agrometeorológicas. Nessas estações, geralmente, são disponíveis apenas registros de temperatura do ar, o que restringe a utilização do método PM-FAO56. Na impossibilidade de aplicação do PM-FAO56, o boletim FAO56 recomenda o uso do modelo de Hargreaves-Samani (HS) para estimar a ET_o . Contudo, o FAO56 sugere que o modelo HS seja previamente ajustado e testado às condições climáticas locais, utilizando-se para isso medidas diretas da ET_o , e na indisponibilidade dessas, considerar o método de PM-FAO56 como padrão. Este trabalho tem o objetivo de ajustar o modelo de Hargreaves-Samani para o estado do Rio de Janeiro.

MATERIAL E MÉTODOS

Utilizaram-se nas estimativas da evapotranspiração de referência mensal séries climáticas de 10 estações meteorológicas localizadas no estado do Rio de Janeiro, região Sudeste (SE) do Brasil, situado entre os meridianos $40^\circ 57' 59''$ e $44^\circ 53' 18''$ W, e os paralelos $20^\circ 45' 54''$ e $23^\circ 21' 57''$ S (Figura 1). O Estado faz divisa a nordeste com o Espírito Santo, ao norte e noroeste com o estado de Minas Gerais, e a sudoeste com São Paulo. As estações meteorológicas pertencem ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e estão distribuídas espacialmente de forma a representar as condições fisiográficas do Estado. Informações referentes às estações e séries climáticas são apresentados na Tabela 1.

Os elementos climáticos obtidos nas estações meteorológicas foram insolação (n, horas), extremos diários da temperatura do ar (máxima – t_x e mínima – t_n , °C) e umidade relativa do ar média diária (UR, %) obtidos a 1,5 m acima da superfície, e a velocidade do vento (u_{10} , m s^{-1}) medida a 10 m de altura. Nas estimativas de ET_o foram



utilizadas as médias mensais desses elementos meteorológicos, e considerou-se o dia 15 de cada mês.

O modelo de PM-FAO56 parametrizado para estimativas de ET_o é expresso da seguinte forma (ALLEN et al., 1998):

$$ET_o = \frac{0,408\Delta(Q_n - G) + \gamma \frac{900}{t_m + 273} u_2 DPV}{\Delta + \gamma(1 + 0,34 u_2)} \quad (1)$$

em que, ET_o (mm.d^{-1}) é a evapotranspiração de referência; Q_n ($\text{MJ.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$) é o saldo de radiação diário à superfície; G ($\text{MJ.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$) é o fluxo de calor no solo dado pela relação: $G_i = 0,07 (t_{m, i+1} - t_{m, i-1})$; t_m é a temperatura do ar média diária a 2 m de altura; u_2 (m.s^{-1}) é a velocidade do vento média a 2 m de altura; DPV (kPa) é a média diária do déficit de pressão de saturação do vapor d'água do ar; Δ ($\text{kPa.}^\circ\text{C}^{-1}$) é a derivada da curva de pressão de saturação do vapor do ar no ponto de t_m e γ ($\text{kPa.}^\circ\text{C}^{-1}$) é o coeficiente psicrométrico.

Como a velocidade do vento nas estações meteorológicas do INMET são obtidas a 10 metros de altura (u_{10}), transformou-se suas medidas para 2 m conforme Allen et al. (1998). As estimativas das variáveis do termo aerodinâmico e de radiação da eq. 1 seguiram as sugestões de Allen et al. (1998) e consideraram os elementos meteorológicos disponíveis.

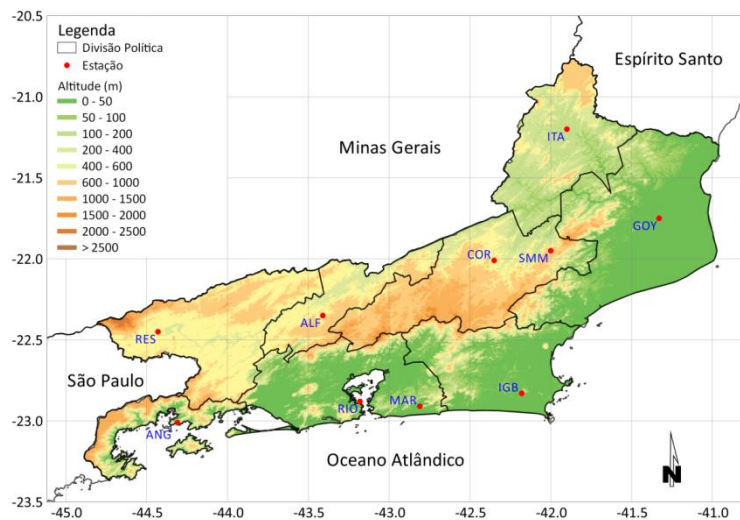


Figura 1 - Localização das estações meteorológicas no estado do Rio de Janeiro.

Tabela 1 - Informações referentes às estações utilizadas no estudo

OMM	ID	Município	Lat. (°)	Long. (°)	Alt. (m)	Período de Observações		
						Início	Fim	Total
83114	IGB	Iguaba Grande	-22,83	-42,18	5,6	1992	2003	11
83718	COR	Cordeiro	-22,01	-42,35	505,9	1971	2010	25



83696	SMM	Santa Maria Madalena	-21,95	-42,00	620,0	1961	1979	19
83788	ANG	Angra dos Reis	-23,01	-44,31	3,0	1965	1983	19
83738	RES	Resende	-22,45	-44,43	439,9	1961	2010	42
83089	MAR	Maricá	-22,91	-42,81	4,0	1993	2009	16
83743	RIO	Rio de Janeiro	-22,88	-43,18	11,1	1961	1983	23
83695	ITA	Itaperuna	-21,20	-41,90	123,6	1967	2010	31
83698	GOY	Campos dos Goytacazes	-21,75	-41,33	11,2	1961	2000	32
83049	ALF	Paty do Alferes	-22,35	-43,41	507,0	1992	2010	19

Na determinação do saldo de radiação utilizou-se a radiação solar global (Q_s) estimada pelo modelo de Angström-Prescott, conforme recomendado no boletim FAO56:

$$Q_s = \left(a_s + b_s \frac{n}{N} \right) Q_a \quad (2)$$

em que, Q_s ($\text{MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$) é a radiação solar global; n (horas) é a insolação; a_s e b_s são coeficientes adimensionais; n (horas) é a insolação; N (horas) é o número máximo de horas de brilho solar, função da latitude e época do ano; e Q_a ($\text{MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$) é a radiação solar no topo da atmosfera. Na indisponibilidade de calibração, utilizou-se os coeficientes $a = 0,29 \cos(\varphi)$ e $b = 0,52$, propostos por Glover e McCulloch (1958).

O modelo de Hargreaves-Samani considera que ET_o (mm.d^{-1}) é proporcional ao produto entre a radiação solar global e a temperatura do ar média, conforme a seguinte equação:

$$ET_o = k Q_s (17,8 + t_m) \quad (3)$$

em que, Q_s (mm.d^{-1}) é a radiação solar global calculada pela equação de Angström-Prescott, expressa em equivalente de evaporação, e o k é um coeficiente de proporcionalidade empírico, que na eq. original é de 0,0135. Esse valor foi obtido ajustando-se o modelo a medidas lisimétricas de ET_o obtidas em Davis, Califórnia.

Para cada estação o coeficiente k do modelo de HS foi ajustado por meio de uma regressão linear forçada a passar na origem ($Y = k X$). Considerou-se no ajuste da regressão ET_o PM-FAO56 como variável dependente (Y) e o termo $Q_s (17,8 + t_c)$ do modelo de Hargreaves e Samani como variável independente (X), de modo que a inclinação da reta representasse o valor de k .

Os valores de ET_o estimados pelo modelo de HS com os coeficientes ajustados e o valor original foram comparados com as estimativas do modelo de PM-FAO56 para avaliação dos coeficientes ajustados. Dessa forma, foram extraídas 60 observações das séries climáticas de cada estação, que foram utilizadas apenas nas avaliações. Nas avaliações aplicou-se a análise de regressão linear forçada a passar pela origem ($Y = \beta_1 X$) entre o modelo de PM-FAO56 (X), considerado padrão, e a ET_o (Y) estimada pelo modelo de HS com k ajustado e o valor original. Além da análise de regressão, considerou-se nas avaliações do modelo de HS o Erro Padrão de Estimativa (EPE) e o índice de concordância de Willmott (d) (WILLMOTT et al., 1985). O grau de ajustamento entre valores observados e estimados do índice de concordância apresenta valor





adimensional, sendo o ajuste nulo (nenhuma concordância) ou 1 (concordância perfeita).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os coeficientes do modelo de Hargreaves-Samani ajustados (k) e os coeficientes de determinação (r^2) do ajuste são apresentados na Tabela 2. O r^2 apresentou valores elevados, e entre 0,94 (Resende e Itaperuna) e 0,97 (Paty do Alferes, Santa Maria Madalena e Maricá), o que indicou que a relação linear entre a radiação solar e temperatura do ar representou a maior parte da variabilidade de ET_o no estado do Rio de Janeiro. O coeficiente k variou de 0,0112 (Angra dos Reis, Maricá, Cordeiro e Itaperuna) a 0,0123 (Iguaba Grande), sendo o valor médio de 0,0116 ($\pm 0,0004$) com Coeficiente de Variação (CV) de 3,2 %. O valor médio de k para o estado do Rio de Janeiro foi 14,1% inferior ao valor original (0,0135). As diferenças foram induzidas pelos diferentes tipos climáticos observados em Davis, Califórnia (semiárido) e os observados no estado do Rio de Janeiro, que na maioria do estado é subúmido, úmido ou superúmido.

Ao estimar ET_o utilizando-se o coeficiente k de 0,0135, originalmente proposto por Hargreaves-Samani (1985), obteve-se superestimativa média de 16,0% de $ET_{o,HS}$ em relação as estimativas de $ET_{o,PM}$. Apesar da superestimativa, a precisão do modelo foi elevada com r^2 de 0,94.

Tabela 2. Informações dos coeficientes ajustados (k) e de determinação (r^2)

Estação	k	r^2
Iguaba Grande	0,0123	0,96
Cordeiro	0,0112	0,96
Santa Maria Madalena	0,0115	0,97
Angra dos Reis	0,0112	0,96
Resende	0,0118	0,94
Maricá	0,0112	0,97
Rio de Janeiro	0,0118	0,96
Itaperuna	0,0112	0,94
Campos dos Goytacazes	0,0117	0,95
Paty do Alferes	0,0117	0,97

A variação nas estimativas de $ET_{o,HS}$ com k original se deve ao valor de k original ter sido obtido com medidas lisimétricas de Davis, Califórnia, região semiárida. O erro nesse caso foi sistemático proporcional, como indicado pelo elevado r^2 e coeficiente angular (WILLMOTT et al., 1985), ou seja, indicou a necessidade de ajuste do k . Como o CV dos valores ajustados de k foram baixos, como apresentado anteriormente, considerou-se na estimativa de $ET_{o,HS}$ o k médio (0,0116) para o estado do Rio de Janeiro. Quando utilizado o k ajustado, ocorreu subestimativa da $ET_{o,HS}$ em relação a $ET_{o,PM}$ de apenas 0,3%, nas regiões que apresentam os tipos de clima quente, subquente e mesotérmico brando (subúmido, úmido e superúmido).





O Erro Padrão de Estimativa (EPE) para $ET_{o,HS}$ ajustada foi de 0,25 mm comparado a 0,65 mm para $ET_{o,HS}$ estimada com o coeficiente original. O ajuste aumentou a concordância na estimativa de 0,93 para 0,99, pelo índice de concordância de Willmott.

CONCLUSÕES

O modelo de Hargreaves-Samani que apresenta elevada precisão na estimativa da ET_o . Quando ajustado às condições climáticas locais, o modelo tem sua acurácia aumentada em relação ao modelo original. O valor do coeficiente do modelo de Hargreaves-Samani não varia significativamente para o Estado do Rio de Janeiro, sendo possível utilização de um valor médio (0,0116) para todo o Estado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 300 p. (FAO – Irrigation and Drainage Paper, 56).
- GLOVER, J.; MCCULLOCH, J.S.G. The empirical relation between solar radiation and hours of sunshine. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v.84, p.172-175, 1958.
- HARGREAVES, G.H.; SAMANI, Z.A. Reference crop evapotranspiration from temperature. **Applied Engineering in Agriculture**, v.1, p.96-99, 1985.
- HARGREAVES, G.H. Defining and using reference evapotranspiration. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v.120, p.1132-1139, 1994.
- WILLMOTT, C.J.; ACKLESON, S.G.; DAVIS, R.E.; FEDDEMA, J.J.; KLINK, K.M.; LEGATES, D.R.; O'DONNELL, J.; ROWE, C.M. Statistics for the evaluation and comparison of models. **Journal of Geophysical Research**, v.90, p.8995-9005, 1985.

