

## 5.01.05 - Agronomia / Agrometeorologia

**EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA PARA O ESTADO DO CEARÁ PELA EQUAÇÃO DE HARGREAVES E SAMANI COM UTILIZAÇÃO DE DADOS DE VELOCIDADE MÉDIA DO VENTO**

Juarez C. Lima Junior<sup>1\*</sup>, Kleber G. Macedo<sup>2</sup>, Carlos N. T. Angelim<sup>3</sup>, Francisco D. D. Arraes<sup>3</sup>

1. Departamento de Ciência dos Solos - DCS-UFC, limajr.soil@gmail.com

2. Departamento de Engenharia Agrícola - DENA-UFC, kleber117@hotmail.com

3. IFSERTÃO-PE/Campus Salgueiro, carlosnatan30@gmail.com; dirceuarraes@gmail.com

**Resumo:** A evapotranspiração é um fenômeno hidrológico de suma importância para o manejo dos recursos hídricos, incluindo a agricultura irrigada. O principal modelo para estimativa da evapotranspiração de referência é Penman Monteith FAO 56, entretanto sua utilização requer elevada quantidade e qualidade de dados meteorológicos medidos, dados esses que não estão disponibilizados em todas as regiões. Sendo assim, objetivou-se com esse estudo avaliar duas equações empíricas de estimativa da evapotranspiração, que demandam somente dados de temperatura do ar e velocidade do vento, para as condições climáticas do estado do Ceará. Foram utilizados no estudo dados meteorológicos de 12 cidades. As equações avaliadas foram submetidas aos índices estatísticos: erro padrão de estimativa, erro médio, índice de Willmott, coeficiente de correlação e coeficiente "c" de Camargo e Sentelhas. De forma geral, as melhores estimativas, em comparação com o modelo padrão Penman Monteith, foram obtidas com a equação modificada por Jensen. O resultado deve-se ao fato da modificação proposta por Jensen incluir na equação de Hargreaves-Samani a velocidade do vento.

**Palavras-chave:** semiárido; agricultura irrigada; Penman Monteith.

**Introdução:**

A utilização dos recursos hídricos é um dos principais assuntos discutidos atualmente na sociedade. A principal atividade que demanda esse recurso é a agricultura irrigada, em função disso, o manejo da lâmina de irrigação aplicada deve ser o mais eficiente possível. Um dos principais parâmetros para o manejo da irrigação é a evapotranspiração, sua estimativa indica a quantidade de água requerida pela atmosfera, ou seja, a quantidade de água a ser aplicada nas plantas. O modelo utilizado como padrão mundial para estimativa da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) é Penman Monteith FAO 56, sobretudo não são todas as regiões que estão aptas a sua utilização, pois por se tratar de um modelo físico, demanda elevada quantidade e qualidade

de dados meteorológicos medidos. Porém, é frequente a não disponibilidade desses dados em algumas regiões, em função do número limitado de estações meteorológicas (FERNANDES et al., 2012)

Nestes locais o adequado seria a utilização de equações empíricas simples que requerem poucos dados de entrada, como a equação proposta por Hargreaves e Samani (1985), essa metodologia utiliza apenas dados medidos de temperatura do ar, tornando a estimativa da ET<sub>o</sub> facilitada, porém o modelo proposto por Hargreaves e Samani (HS85) possui algumas limitações, estimando a ET<sub>o</sub> de forma satisfatória em regiões áridas e semiáridas que possuam médias de velocidade do vento (U<sub>2</sub>) próximas ou inferiores a 2 m s<sup>-1</sup>. Segundo Allen et al., (1998), vários são os modelos empíricos para a estimativa da ET<sub>o</sub>, utilizando diferentes elementos climáticos. No entanto, tais métodos somente estimam de forma aceitável a ET<sub>o</sub> nas condições climáticas que foram desenvolvidos, gerando erros e diminuindo a eficiência da utilização dos recursos. Em função disso Jensen et al., (1997) propuseram uma modificação na equação HS85, incluindo a velocidade do vento à dois metros de altura no modelo.

Diante do exposto, o objetivo do presente trabalho foi avaliar a equação HS85, bem como seu ajuste com a inserção da velocidade do vento, para doze municípios do estado do Ceará.

**Metodologia:**

Foram utilizados dados provenientes de doze estações meteorológicas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), localizadas no estado do Ceará, os dados foram: temperatura máxima (T<sub>x</sub>), média (T<sub>m</sub>) e mínima (T<sub>n</sub>) do ar, velocidade do vento à dois metros de altura (U<sub>2</sub>), insolação e umidade relativa do ar (UR), dos anos de 1961 a 2016. O modelo tomado como padrão foi Penman-Monteith FAO 56 (Allen et al., 1998) que se dá pela seguinte equação:

$$ET_o = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T_m + 273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34 \cdot u_2)}$$

Para comparação foi utilizada a equação empírica proposta por Hargreaves e Samani (1985), na sua forma original (HS85) e com ajuste sugerido por Jensen et al. (1997), com a inserção do termo  $U_2$  (HSJ).

Tabela 1 – Equações empíricas de evapotranspiração de referência avaliadas no estudo.

Sigla	Equação
HS85	$0,0023 \cdot (T_x - T_n)^{0,5} \cdot (T_m + 17,8) R_a \cdot 0,408$
HSJ	$(0,66 + 0,1459 \cdot U_2) \cdot 0,0023 \cdot (T_x - T_n)^{0,5} \cdot (T_m + 17,8) R_a \cdot 0,408$

Em que “c” é o produto de  $id \cdot r$ .

Tabela 2 - Valores do coeficiente de desempenho “c” conforme Camargo e Sentelhas (1997)

Valor de "c"	Desempenho
> 0,85	Ótimo
0,66 a 0,85	Bom
0,61 a 0,65	Mediano
≤ 0.60	Mau

Fonte: Adaptado de Camargo e Sentelhas (1997)

### Resultados e Discussão:

em que,

ET<sub>o</sub>: evapotranspiração de referência, mm dia<sup>-1</sup>; R<sub>n</sub> - radiação líquida total do gramado, MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>; R<sub>a</sub> - radiação no topo da atmosfera, MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>; G - densidade do fluxo de calor no solo, MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>; T<sub>m</sub> - temperatura média diária do ar, °C; T<sub>n</sub> - temperatura mínima diária do ar, °C; T<sub>x</sub> - temperatura máxima diária do ar, °C; U<sub>2</sub> - velocidade do vento média diária a 2 m de altura, m s<sup>-1</sup>; e<sub>s</sub> - pressão de saturação de vapor, kPa; e<sub>a</sub> - pressão parcial de vapor, kPa; e<sub>s</sub>-e<sub>a</sub> - déficit de saturação de vapor, kPa; Δ - declividade da curva de pressão de vapor no ponto de T<sub>m</sub>, kPa°C<sup>-1</sup>; γ - coeficiente psicrométrico, kPa°C<sup>-1</sup>.

A análise estatística das estimativas foi realizada de acordo com os índices sugeridos por Legates e McCabe Jr (1999): Índice de Willmott (id), erro padrão da estimativa (EPE), coeficiente de correlação (r) e erro médio (EM).

$$id = 1 - \left[ \frac{\sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^N (|P_i - O| + |O_i - O|)^2} \right]$$

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

$$EM = \frac{\sum_{i=1}^N (P_i - O_i)}{N}$$

$$r = \frac{\sum_{i=1}^N (O_i - O) \cdot (P_i - O)}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (O_i - O)^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^N (P_i - O)^2}}$$

O valores de ET<sub>o</sub> obtidos foram avaliados seguindo recomendação de Camargo e Sentelhas (1997). O grau de precisão foi calculado por meio do coeficiente de correlação “r”, e a concordância avaliada pelo índice de Willmott “id” e o desempenho pelo indicador “c”.

A equação HSJ obteve valores de EPE menores que HS85 (Tabela 5), indicando que o ajuste causou diminuição do erro das estimativas, exceto para os municípios de Iguatu e Barbalha, isso demonstra que o parâmetro U<sub>2</sub> possui menor influência para estimativa da ET<sub>o</sub> nesses municípios. Ainda na mesma tabela, de acordo com EM, na maioria dos locais os valores de ET<sub>o</sub> obtidos por ambas as equações foram subestimados, apesar da equação de Hargreaves e Samani ter sido originalmente desenvolvida para regiões com clima semiárido, em locais muito secos comumente essa metodologia subestima os valores de ET<sub>o</sub>, comportamento que já foi verificado por Temesgen et al. (2005) na Califórnia, Khoob (2008) em Mahshad no Irã, Alexandris et al. (2006) em Aquila no EUA e Arraes et al. (2016) no Pernambuco.

Tabela 3 – Avaliação do desempenho das equações de Hargreaves e Samani

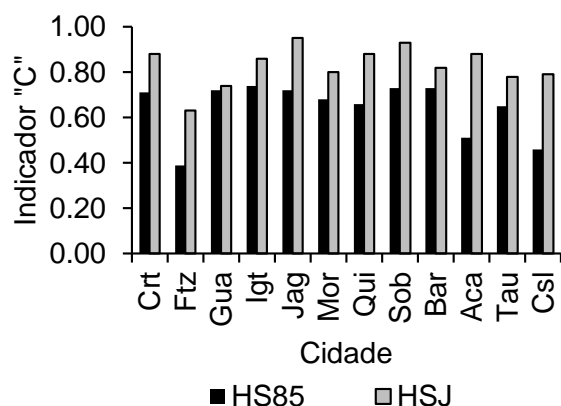
Cidade	EPE		EM	
	mm dia <sup>-1</sup>			
	HS85	HSJ	HS85	HSJ
Crateús	0,85	0,67	-0,43	-0,52
Fortaleza	1,01	0,84	-0,75	-0,69
Guaramiranga	0,46	0,38	0,29	-0,01
Iguatu	0,71	0,75	-0,37	-0,69
Jaguaruana	0,97	0,40	-0,71	-0,33
Morada Nova	0,99	0,87	-0,51	-0,62
Quixeramobim	1,24	0,84	-0,87	-0,74
Sobral	0,72	0,42	0,33	-0,27
Barbalha	0,50	0,63	0,10	-0,56
Acaraú	0,88	0,46	-0,37	0,21
Tauá	0,68	0,65	-0,24	-0,45
Campos Sales	1,23	0,66	-0,78	-0,09

Comportamento peculiar foi verificado para as estimativas de ET<sub>o</sub> no município de Guaramiranga, foram verificados os menores valores de EPE e EM para equações com e sem

o ajuste, resultado não esperado, visto que Guaramiranga encontra-se em uma região serrana, com baixas temperaturas, não sendo caracterizada por possuir clima semiárido, esse comportamento pode estar associado as características climáticas intrínsecas a região que não são consideradas nas equações avaliadas, como sua umidade relativa (UR), segundo Lima Junior et al. (2016) a UR média do município é de aproximadamente 87%.

O coeficiente de desempenho “C” aumentou em todas as cidades utilizadas no estudo (Figura 1), mostrando que a inserção da velocidade do vento da forma sugerida por Jensen et al. (1997) influencia positivamente as estimativas de ETo pela equação de Hargreaves e Samani (1985). Com exceção de Fortaleza que obteve estimativa classificada de acordo com o indicador “C” como “Mediano”, todas as cidades apresentaram classificação variando de “Bom” a “Ótimo” após o ajuste.

Figura 1 – Variação do indicador “C” de Camargo e Sentelhas (1997) com as equações HS85 e HSJ



Os maiores aumentos do indicador “C” foram verificados para os municípios de Fortaleza, Jaguaruana, Acaraú e Campos Sales, Isso se deu em função da elevada média de velocidade do vento desses locais, variando de  $3,2 \text{ m s}^{-1}$  em Fortaleza (litoral) até  $4,4 \text{ m s}^{-1}$  em Campos Sales. Justificando esses resultados, Fooladmand e Haghigat (2007) expressam que a utilização da metodologia proposta por Hargreaves e Samani em locais com velocidade do vento superior a dois metros por segundo demandam ajuste na equação, não sendo recomendada a utilização na sua forma original. Lima Junior et al. (2016) ajustando os parâmetros já existentes na equação de HS85, para o estado do Ceará, também constataram comportamentos similares para essas localidades, em que foram verificadas as maiores disparidades entre os modelos originais e calibrados para as cidades de Acaraú e Campos Sales.

A menor variação do indicador “C” foi verificada no município de Guaramiranga, mais

uma vez esse fato pode estar associado a sua UR, parte-se da hipótese que o ar úmido retirado pelo vento é substituído por uma massa de ar também úmida, em função da elevada UR, anulando o efeito advectivo sobre a ETo, ou seja, retirando parte da influência da velocidade do vento na evapotranspiração dessa região.

### Conclusões:

A inserção do termo velocidade do vento na equação de Hargreaves e Samani para o estado do Ceará é uma alternativa que aumenta a qualidade da estimativa da evapotranspiração de referência para locais com disponibilidade de dados limitada.

### Referências bibliográficas

ALEXANDRIS, S.; KERKIDES, P.; LIAKATAS, A. Daily reference evapotranspiration estimates by the “Copais” approach. **Agricultural Water Management**, v. 82, p. 371–386, 2006.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. **Irrigation and Drainage Paper 56**, p. 300, 1998.

ARRAES, F. D. D., LIMA JUNIOR, J. C., OLIVEIRA, J. B., DE MACÊDO, K. G., DE SOUSA COURAS, Y., & DE OLIVEIRA, W. C. Parametrização da equação de hargreaves-samani para o estado do pernambuco-brasil. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 10, n. 1, p. 410, 2016.

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, p.89-97, 1997.

FERNANDES, D. S., HEINEMANN, A. B., PAZ, R. L. F., & DE OLIVEIRA AMORIM, A. 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.

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

JENSEN, D. T., HARGREAVES, G. H., TEMESGEN, B., & ALLEN, R. G. Computation of ETo under nonideal conditions. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 123, n.

5, p. 394-400, 1997.

KHOOB, A. R. Comparative study of Hargreaves's and artificial neural network's methodologies in estimating reference evapotranspiration in a semiarid environment. **Irrigation Science**, v. 26, n. 3, p. 253-259, 2008.

LEGATES, D.R.; MCCABE, G.J. Evaluating the use of "goodness-of-fit" measures in hydrologic and hydro climatic model validation. **Water Resources Research**. v. 35, n. 1, p. 233-241, 1999.

LIMA JUNIOR, J. C., ARRAES, F. D., DE OLIVEIRA, J. B., NASCIMENTO, A. L., & DE 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, 2016.

TEMESGEN, B. et al. Comparison of some reference evapotranspiration equations for California. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 131, n. 1, p. 73-84, 2005.