



## **SOBRE ÁGUA NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO**

### **CALIBRAÇÃO DO MÉTODO DE HARGREAVES PARA ESTIMAR EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA EM MOSSORÓ-RN**

Rafaela dos Santos Gomes (1); Bergson Guedes Bezerra (1, 2)

(1) Departamento de Ciências Atmosféricas e Climáticas, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, (2) Programa de Pós-graduação em Ciências Climáticas, Universidade Federal do Rio Grande do Norte

#### **INTRODUÇÃO**

A região do agro-pólo Assu-Mossoró-Baraúna no estado do Rio Grande do Norte, é reconhecida pela intensa produção agrícola sobre condições irrigadas, sobretudo na produção de frutas tropicais com qualidade excepcional, as quais são destinadas em quase sua totalidade para exportação (Medeiros et al., 2012).

A principal fonte de água para irrigação na região é o aquífero Jandaíra que se localiza na porção superior da sequência carbonática da formação Jandaíra com profundidade variando de 50 a 250 m (Feitosa e Feitosa, 2011; Bezerra et al., 2012). No entanto, de acordo com Feitosa e Feitosa (2011) a crescente e desordenada exploração desse aquífero tem gerado rebaixamentos excessivos nas captações, chegando a comprometer a produção de frutas e trazendo prejuízos significativos para a economia da região. Assim, a adoção de práticas de manejo de irrigação eficiente que possa garantir a segurança hídrica da região e a sustentabilidade da atividade da agricultura irrigada é imperiosa.

De acordo com Bezerra et al. (2012) a evapotranspiração das culturas é uma variável fundamental no planejamento e execução de um manejo de irrigação. O método proposto pela FAO-56 (Allen et al., 1998) baseado no produto entre a evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ) e o coeficiente de cultura, característico de cada fase fenológica da cultura.

O método padrão para determinação da  $ET_0$  é o método de Penman-Monteith calibrado para condições de referência pela FAO (Allen et al., 1998). É o método mais completo, porém muitas vezes tem sua utilização limitada, pois requerer todos os dados meteorológicos coletados em estações meteorológicas operacionais, os quais muitas vezes não são disponíveis. Para suprir essa





## SOBRE ÁGUA NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

carência, vários métodos mais simples foram propostos a exemplo do método de Hargreaves (Hargreaves e Samani, 1985). No entanto, para a plena confiabilidade desse método o mesmo deve ser calibrado para as condições locais (Samani, 2004). Essa calibração normalmente tem sido feita a partir das estimativas do método FAO-Penman-Monteith (Gavilán et al., 2006; Bachour et al., 2013). Diante do exposto, o presente estudo tem como objetivo calibrar a equação de Hargreaves para estimar  $ET_0$  para a região de Mossoró-RN.

### MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido com dados da Estação Meteorológica de Observação de Superfície Automática pertencente ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), localizada em Mossoró (4°54'S, 37°22'W, 29m acima do nível médio do mar). A série temporal de dados meteorológicos diários é do período de 3 de junho de 2007 a 31 de dezembro de 2014. Os referidos dados incluem radiação global ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ ), temperatura média, máxima e mínima ( $^{\circ}\text{C}$ ), umidade relativa máxima e mínima (%), velocidade do vento ( $\text{m s}^{-1}$ ) e pressão atmosférica (hPa).

A evapotranspiração de referência foi estimada utilizando o método FAO-Penman-Monteith ( $ET_{0PM}$ ), (Allen et al., 1998) (Equação 01), considerado o método padrão, e pelo método de Hargreaves (Hargreaves e Samani, 1985) com os seus coeficientes originais ( $ET_{0HG}$ ) (Equação 02):

$$ET_{0PM} = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T_{med} + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34 \cdot u_2)} \quad 01$$

$$ET_{0HG} = \alpha \cdot Q \cdot (T_{med} + \beta)(T_{max} - T_{min})^{0,5} \quad 02$$

em que  $R_n$  é o saldo de radiação da grama ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ );  $G$  é a densidade do fluxo de calor no solo ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ );  $T_{med}$  é a temperatura média diária do ar ( $^{\circ}\text{C}$ );  $u_2$  é a velocidade do vento média diária a 2 m de altura ( $\text{m s}^{-1}$ );  $e_s$  é a pressão de saturação de vapor (kPa);  $e_a$  é a pressão parcial de vapor (kPa);  $e_s - e_a$  é o déficit de saturação de vapor (kPa);  $\Delta$  é a declividade da curva de pressão de vapor no ponto de  $T_m$  ( $\text{kPa}^{\circ}\text{C}^{-1}$ ) e  $\gamma$  é o coeficiente psicrométrico ( $\text{kPa}^{\circ}\text{C}^{-1}$ ),  $\alpha$  é o primeiro coeficiente empírico cujo valor original de 0,0023;  $\beta$  é o segundo coeficiente empírico, sendo o seu





## **SOBRE ÁGUA NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO**

valor original de 17,8;  $T_{\max}$  é a temperatura máxima do ar ( $^{\circ}\text{C}$ );  $T_{\min}$  é a Temperatura mínima do ar ( $^{\circ}\text{C}$ ) e  $Q$  é Radiação extraterrestre ( $\text{MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$ ).

De posse dos dados da evapotranspiração de referência diária estimados com ambas metodologias, foi feita uma análise estatística de erros utilizando para avaliar o nível de concordância existente as referidas metodologias. A referida análise estatística constou do cálculo do Erro Médio de Bias (MBE), Erro Relativo do Quadrado Médio (RMSE), Porcentagem de Erro Médio (MPE), Coeficiente de Correlação de Pearson ( $r$ ), Coeficiente de Determinação ( $R^2$ ) e pelo índice de concordância de Willmott (Willmott, 2006).

Diante das diferenças encontradas, foram determinados os coeficientes empíricos do modelo de Hargreaves para as condições climáticas da região de Mossoró-RN através de uma regressão linear utilizando o método dos mínimos quadrados.

### **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

De acordo com a Figura 1, a dispersão entre as estimativas do método de Hargreaves original  $ET_0\text{HG}$  e as estimativas do método padrão Penman-Monteith-FAO-56  $ET_0\text{PM}$  (gráfico da esquerda) evidencia que o método de  $ET_0\text{HG}$  superestimou o método padrão numa proporção de quase 2 vezes. A tendência de superestimar a  $ET_0$  do método de Hargreaves tem sido relatada na literatura, as quais são mais pronunciadas em áreas do interior ou mais afastadas do litoral (Droogers e Allen 2002; Mendicino e Senatore 2013). De acordo com Droogers e Allen (2002) as superestimativas ocorrem nessas áreas devido as diferenças de temperatura serem mais elevadas e a velocidade do vento é baixa. Na Tabela 1, esta superestimativa é evidenciada pelo MPE que apresou valores de quase 100%. O índice  $d$ , cujo valor foi 0,36, mostra que a  $ET_0$  estimadas por ambos os métodos estão fracamente aproximados. Assim, fica evidente a necessidade de determinar os coeficientes empíricos da equação de Hargreaves para as condições locais para que o método alcance confiabilidade, conforme sugere Samani (2004).

Os coeficientes do método de Hargreaves encontrados para as condições de Mossoró-RN



foram  $\alpha = 0,0053$  e  $\beta = -17,6$ . Assim, a equação de Hargreaves calibrada para as condições climáticas de Mossoró-RN, cuja evapotranspiração de referência estimada por ela passa a ser denominada de  $ET_{0(HG-C)}$ , é:

$$ET_{0(HG-C)} = 0,0053 \cdot Q \cdot (T - 17,6)(T_{\max} - T_{\min})^{0,5}$$

03

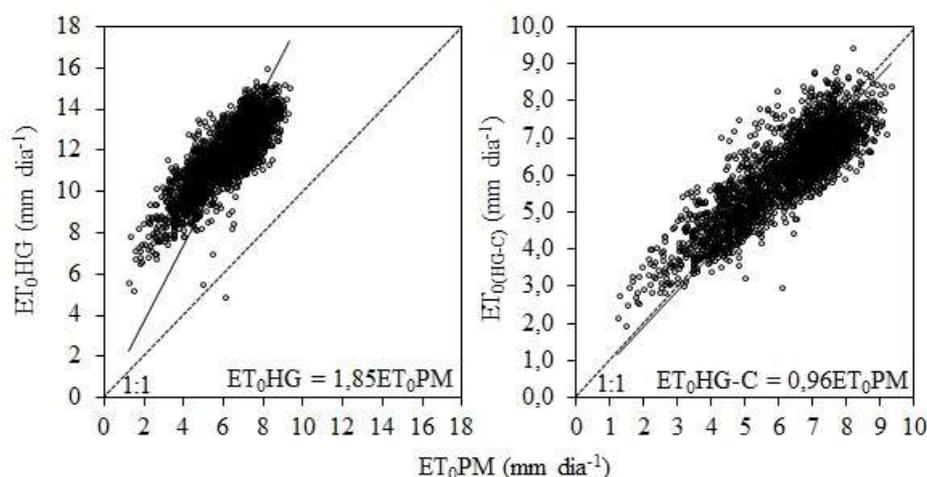


Figura 1: Dispersão entre as estimativas do método de Hargreaves original ( $ET_{0HG}$ ) e as estimativas do método padrão ( $ET_{0PM}$ ) e entre as estimativas do método de Hargreaves calibrado ( $ET_{0(HG-C)}$ ) e as estimativas do método padrão  $ET_{0PM}$

Tabela 1: Desempenho do método de Hargreaves antes e depois da calibração em relação ao método padrão Penman-Monteith-FAO-56

	Antes da Calibração	Depois da Calibração
RMSE (mm)	5,74	0,80
MBE (mm)	5,67	-0,13
MPE (%)	99,2	0,56
d (-)	0,36	0,91
R	0,83	0,86
R <sup>2</sup>	0,70	0,73

A dispersão entre as estimativas do método de Hargreaves calibrado  $ET_{0(HG-C)}$  (Equação 03) e as estimativas do método  $ET_{0PM}$  Na Figura 1 (lado direito) evidencia o bom desempenho da equação de Hargreaves Calibrada. Observa-se que os pontos se alinharam em torno da linha 1:1 e a





## **SOBRE ÁGUA NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO**

relação entre elas é igual 0,96. O RSME do método calibrado foi quase seis vezes inferior ao seu respectivo valor alcançado pelo método sem calibração (Tabela 01). O MPE, por sua vez foi inferior a 1%. Ainda de acordo com a Tabela 01, constata-se que estimativas foram fortemente concordantes, conforme o índice de concordância de Willmot cujo valor superior a 0,90. Similar desempenho foram alcançados por Bachour et al. (2013) e Gavilán et al. (2006).

### **CONCLUSÃO**

Nas condições climáticas da região do Mossoró, o método Hargreaves com os coeficientes originais ( $ET_0HG$ ) (Equação 02) superestimou  $ET_0$  em relação ao método padrão Penman-Monteith-FAO-56  $ET_0PM$  (Equação 01) numa proporção quase duas vezes superior, evidenciando a necessidade de calibrá-lo. Os coeficientes empíricos sugeridos são:  $\alpha = 0,0054$  e  $\beta = -17,6$ . Assim, a equação de Hargreaves calibrada para as condições de Mossoró-RN é:

$$ET_{0(HG-C)} = 0,0053 \cdot Q \cdot (T - 17,6)(T_{\max} - T_{\min})^{0,5}$$

Os resultados fornecidos pela equação calibrada foram fortemente correlacionados com o método padrão.

### **AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem ao INMET pelo fornecimento dos dados meteorológicos da estação de Mossoró-RN e ao CNPq pela concessão de bolsa de Iniciação Científica ao primeiro autor.

### **REFERÊNCIAS**

- ALLEN, R.G., PEREIRA, L.S., RAES, D., SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: United Nations FAO, Irrigation and Drainage Paper 56, 1998.
- BACHOUR, R.; WALKER, W. R.; TORRES-RUA A. F.; MCKEE M.; Assessment of Reference Evapotranspiration by the Hargreaves Method in the Bekaa Valley, Lebanon. **Journal of**





## **SOBRE ÁGUA NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO**

**Irrigation and Drainage Engineering**, v.139, p.933-938, 2013.

BEZERRA, B.G.; SILVA, B.B.; BEZERRA, J.R.C.; SOFIATTI, V.; SANTOS, C.A.C. Evapotranspiration and crop coefficient for sprinkler-irrigated cotton crop in Apodi Plateau semiarid lands of Brazil. **Agricultural Water Management**, v.107, p.86-93, 2012.

DROOGERS, P.; ALLEN, R. G. Estimating reference evapotranspiration under inaccurate data conditions. **Irrigation and Drainage System**, v.16, n.1, p.33–45, 2002.

FEITOSA, F.A.C.; FEITOSA, E.C. Realidade e perspectivas do uso racional de águas subterrâneas na região semiárida do Brasil. In: MEDEIROS, S.S; GHEYI, H.R.; GALVÃO, C.O.; PAZ, V.P.S. (Org.). **Recursos Hídricos em Regiões Áridas e Semiáridas**. Campina Grande: Instituto Nacional do Semiárido, 2011. Cap. 9, p.269-305.

GAVILÁN, P.; LORITE, I.; TORNERO, S.; BERENGENA, J. (2006). Regional calibration of Hargreaves equation for estimating reference ET in a semiarid environment. **Agricultural Water Management**, v.81, n.3, p.257–281, 2006.

HARGREAVES, G. H.; SAMANI, Z. A. Reference crop evapotranspiration from temperature. **Applied Engineering in Agriculture**, v.1, n.2, p.96–99, 1985.

MEDEIROS, D. C.; MEDEIROS, J. F.; BARBOSA, M. A. G.; QUEIROGA, R. C. F.; OLIVEIRA, F. A.; FREITAS, W. E. S. Crescimento do melão Pele de Sapo, em níveis de salinidade e estágio de desenvolvimento da planta. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.6, p.647-654, 2012.

MENDICINO, G., SENATORE, A. Regionalization of the Hargreaves coefficient for the assessment of distributed reference evapotranspiration in southern Italy. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v.139, n.5, p.349–362, 2013.

SAMANI, Z. Discussion of “History and Evaluation of Hargreaves Evapotranspiration Equation” by George H. Hargreaves and Richard Allen. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v.130, p.447-448, 2004.

WILKS, D.S. Statistical methods in the atmospheric science. San Diego:, Academic Press, 2006.





# SOBRE ÁGUA NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

648p.

