

## **AVALIAÇÃO DA SENSIBILIDADE DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERENCIA A MUDANÇAS NA TEMPERATURA DO AR EM CONDIÇÕES DE SEMIÁRIDO**

Tatyana Keyty de Souza Borges<sup>1</sup>, Aureo Silva de Oliveira<sup>2</sup>, Neilon Duarte da Silva<sup>3</sup>, Lidaiane Maria da Silva<sup>4</sup>

**RESUMO:** Com as mudanças no clima e a redução dos recursos hídricos no mundo, há necessidade de se intensificar e compreender a sensibilidade da evapotranspiração de referência ( $ET_o$ ) em relação a variação da temperatura do ar. Como são raros esses estudos em regiões do Brasil, o presente estudo teve por objetivo analisar a sensibilidade da equação de Hargreaves-Samani a estimativa da  $ET_o$  em função de alterações (incrementos/decrementos) na variável temperatura do ar, em Ouricuri, sertão de Pernambuco ( $7^{\circ}53' S$  e  $40^{\circ}06' W$ , 458 m anm). Incrementos/decrementos de 5% até 25% foram aplicados sobre a temperatura máxima ( $T_x$ ) e temperatura mínima ( $T_n$ ) para se determinar o efeito na  $ET_o$  em dados provenientes do ano médio (2011-2017). Verificou-se que as perturbações em  $T_x$  em contraste com  $T_n$  proporcionaram maior impacto nas estimativas da  $ET_o$ . O declive positivo da reta para o coeficiente de sensibilidade (CS) da  $T_x$  indicou um aumento na  $ET_o$ , com incremento diário do CS oscilando de 0,07 a 0,11. Valores baixos do CS para  $T_x$  foram encontrados no início do mês de maio até a metade do mês de agosto. O efeito de  $T_n$  na mudança da  $ET_o$  foi mais baixo (menor declividade), com CS na faixa de -0,06 a -0,02. O CS para temperatura mínima só aumentou durante o mesmo período da  $T_x$ , como também no final do ano.

**PALAVRAS-CHAVE:** coeficiente de sensibilidade; irrigação; balanço de energia

## **EVALUATION OF REFERENCE EVAPOTRANSPIRATION SENSITIVITY TO CHANGES IN AIR TEMPERATURE UNDER SEMIARID CONDITIONS**

<sup>1</sup>Profa. Doutora, Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano (IF Sertão-PE) – Campus Ouricuri/PE, Estrada do Tamboril, S/N, CEP: 56200-000, e-mail: tatyana.borges@ifsertao-pe.edu.br.

<sup>2</sup> Prof. PhD, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Cruz das Almas, Bahia.

<sup>3</sup> Doutorando, UFRB, PPGEA, Cruz das Almas, Bahia.

<sup>4</sup> Graduanda, Curso Técnico Subsequente em Agropecuária, IF-Sertão-PE, Ouricuri, PE.

**ABSTRACT:** With climate change and the reduction of water resources in the world, there is a need to intensify and understand the sensitivity of reference evapotranspiration ( $ET_o$ ) in relation to air temperature variation. As these studies are rare in regions in Brazil, the present study aimed to analyze the sensitivity of the Hargreaves-Samani equation to the estimation of  $ET_o$  as a function of changes (increments/decrements) in the air temperature variable in Ouricuri, semiarid of Pernambuco ( $7^{\circ}53' S$  e  $40^{\circ}06' W$ , 458 m ann). Increments/decrements of 5% up to 25% were applied over the maximum temperature ( $T_x$ ) and minimum temperature ( $T_n$ ) to determine the effect on  $ET_o$  with meteorological data from the average year (2011-2017). Disturbances in  $T_x$  were found to have a greater impact on  $ET_o$  estimates than in  $T_n$ . The positive slope of the  $T_x$  sensitivity coefficient (SC) line indicated an increase in  $ET_o$ , with a daily increase in SC ranging from 0.07 to 0.11. Low SC values for  $T_x$  were found from early May until mid-August. The effect of  $T_n$  on the change of  $ET_o$  was lower (lower slope), with SC in the range of -0.06 to -0.02. The minimum temperature SC only increased during the same period as  $T_x$ , as well as at the end of the year.

**KEYWORDS:** sensitivity coefficient; irrigation; energy balance

## INTRODUÇÃO

O tema sobre mudanças climáticas e seus impactos tem sido amplamente debatido nos últimos anos e demanda atenção dos pesquisadores em todo o mundo (Tabari & Talaei, 2014). Observações climáticas em várias estações de monitoramento em escala regional e global sinalizam para o aumento da temperatura nas últimas décadas com consequências devastadoras. O relatório do IPCC (2018) enfatiza os impactos que podem se tornar irreversíveis por meio de cenários com aquecimento de até  $1,5^{\circ}C$  no longo prazo (100 anos).

Apenas alguns estudos é que avaliam o efeito das mudanças climáticas sobre a evapotranspiração. Uma análise de sensibilidade da  $ET_o$  a perturbações associadas a uma ou mais variáveis climáticas é fundamental para melhorar a compreensão das conexões entre as condições climáticas e a  $ET_o$ , bem como entre a disponibilidade de dados e a precisão na sua estimativa (Gong et al., 2006). Tabari & Talaei (2014) investigaram a sensibilidade da  $ET_o$  à mudança climática em quatro tipos de clima (úmido, semiárido frio, semiárido e árido) usando dados de 1965-2005 (41 anos) oriundos de oito localidades diferentes do Irã. Eles simularam os efeitos de incrementos/decrementos em intervalos de 5% até 20% das variáveis meteorológicas temperatura do ar, velocidade do vento e horas de luz solar e descobriram diferenças

significativas entre os climas, tendo a maior mudança na  $ET_o$  ( $\pm 9\%$ ) encontrada em clima árido em resposta a uma mudança de  $\pm 20\%$  na velocidade do vento.

Como não são frequentes estudos sobre a sensibilidade da  $ET_o$  a mudanças em variáveis climáticas em regiões no Brasil, notadamente no semiárido, o presente trabalho teve por objetivo analisar a sensibilidade da equação de Hargreaves-Samani (1985) na estimativa da  $ET_o$  em função de alterações (incrementos/decrementos) na variável temperatura do ar.

## MATERIAL E MÉTODOS

### *Base de dados*

Este estudo baseou-se em dados históricos horários coletados por uma estação meteorológica automática da rede do INMET-Instituto Nacional de Meteorologia ([www.inmet.gov.br](http://www.inmet.gov.br)) localizada no campus do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano, em Ouricuri, PE ( $7^\circ 53' S$  e  $40^\circ 06' W$ , 458 m anm). O clima da região é semiárido, do tipo BSh, segundo a classificação de Köppen, com longos períodos de estiagem no ano (7 a 8 meses) (Arruda, 2012).

### *Descrição da análise dos dados*

A série de dados (2011-2017) foi inicialmente ajustada para hora local e depois agrupada para gerar a correspondente série em intervalo diário, com 365 linhas de dados para cada ano do período. Do período de sete anos de dados obteve-se o ano médio para todas as variáveis meteorológicas. Esse ano médio é que foi utilizado para o cálculo da  $ET_o$  e posterior análise de sensibilidade. A  $ET_o$  diária foi calculada usando-se o método de Hargreaves-Samani (1985) (HS) (Eq. 1), cujas variáveis de entrada são temperatura máxima ( $T_x$ ) e mínima ( $T_n$ ) do ar ( $^\circ C$ ) bem como a radiação solar extraterrestre ( $R_o$ ) que por sua vez depende do dia do ano (DDA) e da latitude local ( $\varphi$ , rad) (Allen et al., 1998).

$$ET_o = 0,0023R_{ext}(T_x - T_n)^{0,5} \left( \frac{T_x + T_n}{2} - 17,8 \right) \quad (1)$$

Em que,

$ET_o$  - evapotranspiração de referência de Hargreaves-Samani ( $mm d^{-1}$ )

$R_{ext}$  - radiação solar extraterrestre ( $mm d^{-1}$ )

$T_x$  - temperatura máxima do ar (°C)

$T_n$  - temperatura mínima do ar (°C)

O valor diário de  $R_{ext}$  foi obtido com auxílio das Equações 2 a 5.

$$R_{ext} = \frac{24(60)}{\pi} S_c D_r [\hat{H} \text{sen}(\varphi) \text{sen}(\delta) + \text{cos}(\varphi) \text{cos}(\delta) \text{sen}(\hat{H})] \quad (2)$$

Em que,

$S_c$  - constante solar ( $0,082 \text{ MJ m}^{-2} \text{ min}^{-1}$ )

$D_r$  - distância relativa Terra-Sol (adimensional)

$\varphi$  - latitude local (rad)

$\delta$  - declinação solar (rad)

$\hat{H}$  - ângulo horário no pôr-do-sol (rad)

$$D_r = 1 + 0.033 \text{cos} \left( \frac{2\pi}{365} DDA \right) \quad (3)$$

Em que,

DDA - número de ordem do dia do ano (1...366)

$$\delta = 0,409 \text{sen} \left( \frac{2\pi}{365} DDA - 1,39 \right) \quad (4)$$

$$\hat{H} = \text{arcos}[-\text{tg}(\varphi) \text{tg}(\delta)] \quad (5)$$

### *Análise de sensibilidade*

Para fins de análise da sensibilidade da equação de HS a mudanças nas temperaturas máximas e mínimas do ar, a  $ET_o$  calculada com os dados meteorológicos do ano médio foi denominada  $ET_o$  base ( $ET_{ob}$ ). Incrementos e decrementos de 5 até 25% foram aplicados sobre as variáveis  $T_x$  e  $T_n$ , e os efeitos das simulações sobre a  $ET_o$  automaticamente computados por meio da planilha *Sensitivity Analysis of ETo (SAETO)*.  $T_n$  era mantida constante enquanto  $T_x$  variava e vice-versa, de modo a se avaliar os efeitos de cada variável individualmente. Com ambos os valores obtinha-se a diferença  $\Delta ET_o = ET_{o(+5\%)} - ET_{ob}$ . Equação 6 mostra o coeficiente de sensibilidade da  $ET_o$  estimada pelo método de HS 1985 (Irmak et al., 2006):

$$CS = \frac{\Delta ET_o}{\Delta VC} \left( \frac{mm}{\%} \right) \quad (6)$$

Em que,

CS - coeficiente de sensibilidade da  $ET_o$  estimada (mm/%)

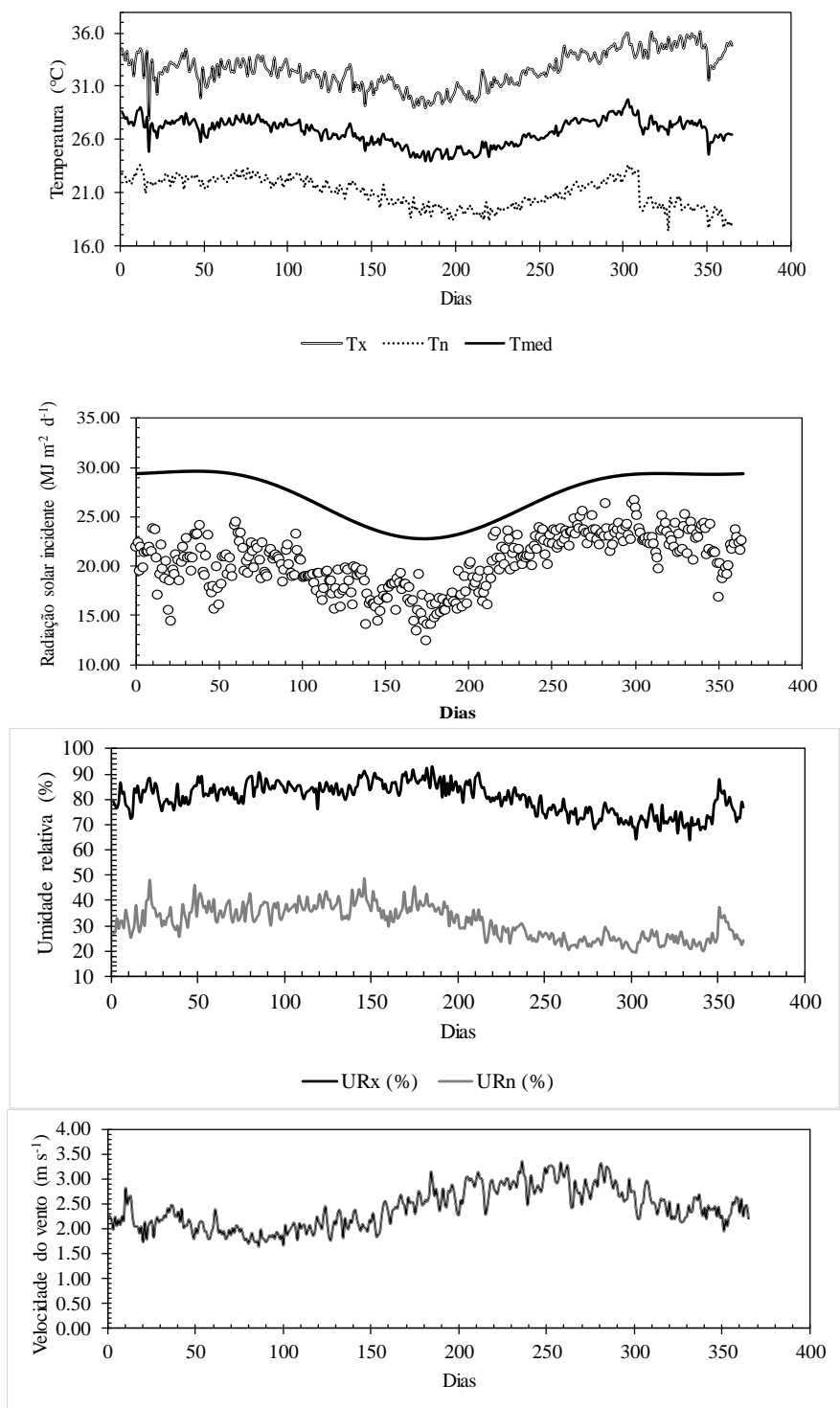
$\Delta ET_o$  - variação sobre  $ET_o$  devido à variação percentual  $\Delta VC$  ( $\pm 5\%$ ,  $\pm 10\%$ ,  $\pm 15\%$ ,  $\pm 20\%$ ,  $\pm 25\%$ ) aplicada sobre a variável climática.

Após determinação de  $\Delta ET_o$  diário obteve-se o valor médio anual ( $\Delta ET_{om}$ ) como média aritmética dos valores diários. Análise de regressão foi utilizada para determinação do CS médio, como a inclinação da reta passando pela origem dos eixos cartesianos.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### *Condições climáticas e $ET_{ob}$*

Na Figura 1 apresenta o curso anual de algumas variáveis climáticas (temperatura máxima e mínima, radiação solar incidente, umidade relativa máxima e mínima, velocidade do vento) do ano médio (2011-2017) para o município de Ouricuri, localizado no semiárido de Pernambuco. A umidade relativa máxima e mínima do ar mostraram uma maior amplitude e desvio padrão. A  $T_x$  teve uma flutuação de  $36,1\text{ }^\circ\text{C}$  a  $27,9\text{ }^\circ\text{C}$ , com média de  $32,6\text{ }^\circ\text{C} \pm 1,69\text{ }^\circ\text{C}$ . O maior valor da  $T_n$  encontrado foi de  $23,6\text{ }^\circ\text{C}$  e o menor de  $17,4\text{ }^\circ\text{C}$ , correspondendo a uma média de  $20,9\text{ }^\circ\text{C} \pm 1,4\text{ }^\circ\text{C}$ . O aumento da nebulosidade e a diminuição da radiação solar contribuíram para uma redução drástica nos valores de temperatura do ar no final do ano. O vento tem a função de remover o calor de uma superfície, e sua velocidade máxima foi de  $3,35\text{ m s}^{-1}$ .



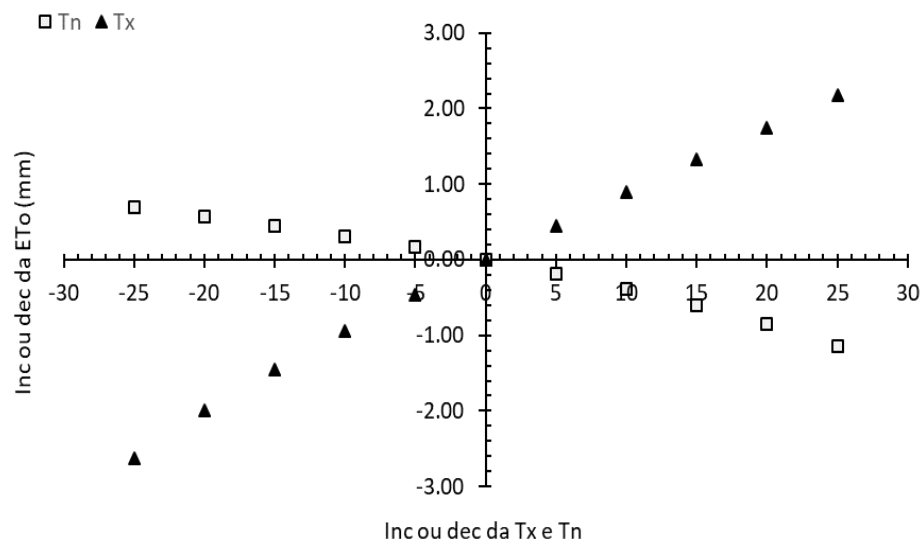
**Figura 1.** Curso anual de variáveis climáticas o ano médio (2011-2017) no município de Ouricuri, semiárido pernambucano.

A  $ET_{ob}$  ( $ET_o$  observada ou inalterada) diária foi estimada pelo método de Hargreaves-Samani com dados climáticos do município de Ouricuri para o ano médio (2011-2017). Os valores da  $ET_{ob}$  oscilaram no intervalo entre  $3,5 \text{ mm d}^{-1}$  a  $6,9 \text{ mm d}^{-1}$  com valores máximos no final do ano e mínimos no meio do ano. A  $ET_{ob}$  média foi de  $5,1 \text{ mm d}^{-1} \pm 0,82 \text{ mm d}^{-1}$ .

Pinheiro et al. (2016) esclarece que a redução significativa na precipitação e o aumento da temperatura do ar são consequências previstas para ocorrer nos próximos anos devido as mudanças climáticas. Em ambientes áridos e semiáridos onde usos consuntivos são relativamente altos e a precipitação limita o crescimento e rendimento das culturas, estimativas precisas das necessidades de água da cultura são necessárias para o planejamento e uso eficiente dos recursos hídricos (Estévez et al., 2009). Isto confirma a importância de estudos com previsões da  $ET_o$  quando ocorre uma perturbação em algum componente desse processo.

#### *Sensibilidade da $ET_{ob}$ à alterações na temperatura do ar*

Na análise de sensibilidade deste estudo, as alterações nas taxas de  $ET_o$  são resultados à mudança na temperatura do ar ( $T_x$  e  $T_n$ ) na região semiárida. Irmak et al. (2006) explicam que a magnitude do CS pode mostrar variações de um clima de uma região para outra. A temperatura é a variável que vai sofrer os impactos mais imediatos das mudanças climáticas. Assim, cenários com incremento e decremento de 5% nas  $T_x$  e  $T_n$  foram construídos para demonstrar o impacto dessa magnitude na  $ET_{ob}$  ( $\text{mm d}^{-1}$ ) conforme Figura 2.



**Figura 2.** Incremento e decremento na  $ET_o$  (mm) em função de incrementos e decrementos de 5% na temperatura máxima ( $T_x$ ) e mínima do ar ( $T_n$ ) em Ouricuri, PE.

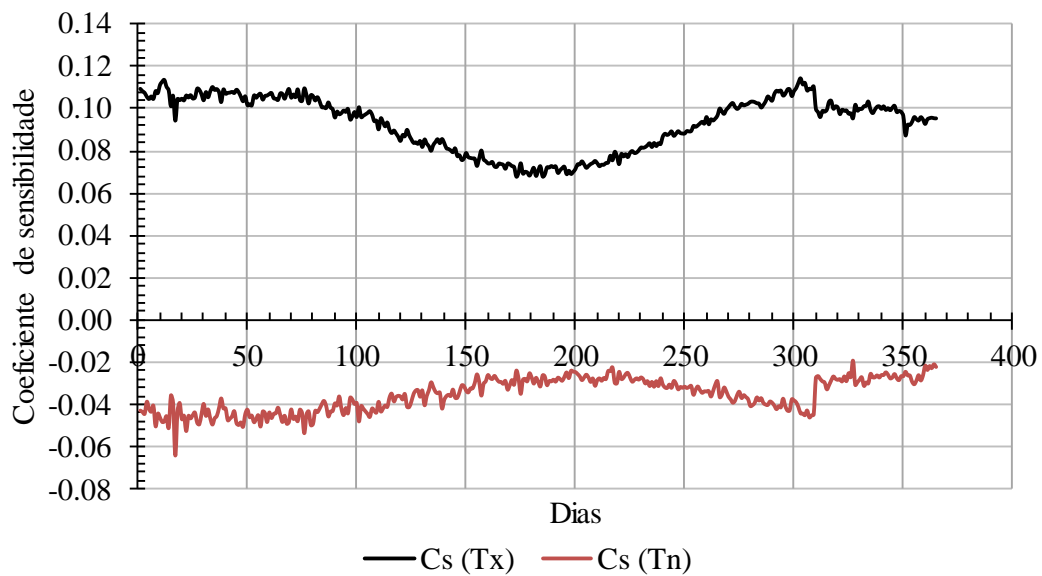
Observou-se que as variáveis tiveram comportamentos distintos, a temperatura máxima apresentou uma reta crescente a cada percentual de incremento/decremento. A inclinação negativa indica diminuição nos valores da  $ET_o$ , representado pela reta decrescente e menor inclinação. Segundo Debnath et al. (2015), a  $ET_o$  é afetada principalmente por um aumento na

temperatura devido à maior capacidade do ar em reter vapor d'água, transferir energia para a cultura e assim, exercer influência na taxa da  $ET_o$ .

#### *Variação diária do coeficiente de sensibilidade*

Os coeficientes da regressão (inclinação e intercepto da linha de regressão) entre os incremento e decremento na  $ET_{ob}$  com relação ao incremento e decremento nos valores  $T_x$  e  $T_n$  representam a inclinação da reta para todo ano. Em geral, a alteração na  $ET_{ob}$  foi uma regressão linear simples ( $ET_o = 0,094 \cdot T_x$  e  $ET_o = -0,036 \cdot T_n$ ), com valores de  $R^2$  de 0,99 e 0,96 para as variáveis de  $T_x$  e  $T_n$ , respectivamente. Valores diários dos CS foram calculados para  $T_x$  e  $T_n$  no município de Ouricuri-PE.

A Figura 3 representa a mudança diária nos coeficientes de sensibilidade das temperaturas do ar que refletiram na mudança da  $ET_o$ .



**Figura 3.** Dinâmica diária do coeficiente de sensibilidade para temperatura máxima ( $T_x$ ) e temperatura mínima ( $T_n$ ), no município de Ouricuri-PE.

A inclinação positiva para CS de  $T_x$  indicou um aumento na  $ET_{ob}$ , com incremento diário oscilando de 0,07 a 0,11. Valores baixos do CS para  $T_x$  foram encontrados no início do mês de maio até a metade de agosto. O efeito da  $T_n$  na mudança da  $ET_o$  foi menor (menor declividade), com CS na faixa de -0,06 a -0,02. O CS para  $T_n$  só aumentou durante o mesmo período da  $T_x$ , como também no final do ano. Todos os coeficientes de sensibilidade mostraram um elevado grau de flutuações e revelaram diferenças entre  $T_x$  e  $T_n$ . Verificou-se que as mudanças na  $T_x$  proporcionaram maior impacto nas estimativas da  $ET_o$  do que na  $T_n$  para região semiárida.



Resultados semelhantes foram encontrados por Koudahe et al. (2018), ao avaliar a sensibilidade da  $ET_o$  pelo método de Penman-Monteith com dados de oito estações meteorológicas sob condições úmidas e semiáridas na Costa do Marfim. Esse trabalho admite que os  $C_s$  relativamente grandes da  $T_x$  podem ser explicados pelo fato de que a  $T_x$  tem maior influência que a  $T_n$  para estimar saldo de radiação ( $R_n$ ), pressão de saturação ( $e_s$ ), declividade da curva de pressão de vapor de saturação ( $\Delta$ ) e balanço de radiação de onda longa ( $R_{nL}$ ), além de estimar a  $ET_o$ . O  $C_s$  médio anual para  $T_x$  foi de 0,093 e para  $T_n$  foi de -0,035.

Gong et al. (2006) comenta que um  $C_s$  positivo/negativo de uma variável indica que a  $ET_o$  pode aumentar/diminuir; quanto maior o  $C_s$ , maior o efeito de uma determinada variável na  $ET_o$ . Djaman et al. (2016) realizaram uma avaliação detalhada da sensibilidade da  $ET_o$  em relação a perturbações nas variáveis climáticas no sudoeste da África. O estudo constatou que a variação nos valores de temperatura máxima influenciou de maneira significativa a  $ET_o$  diária, com coeficiente de sensibilidade na faixa de 0.60-0.82, com média de 0.74; perceberam também que a temperatura máxima foi a terceira variável climática que influenciou a  $ET_o$  diária.

## CONCLUSÕES

As análises de sensibilidade e coeficientes de sensibilidade demonstram o grau de importância e a aplicabilidade prática de avaliar o papel isolado da  $T_x$  e  $T_n$  na estimativa da  $ET_o$  no semiárido de Pernambuco por meio da equação de Hargreaves-Samani. As perturbações na  $T_x$  proporcionaram maior impacto nas estimativas da  $ET_o$  do que na  $T_n$ .

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. Rome: FAO. 1998. 333p. (FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56)
- ARRUDA, K.E.C. Mapeamento geomorfológico da folha Ouricuri – Pernambuco, através da utilização de softwares de geoprocessamento. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 5, n. 5, p. 1046-1055.

DJAMAN, K.; TABARI, H.; BALDE, A. B.; DIOP, L.; FUTAKUCHI, K.; IRMAK, S. Analyses, calibration and validation of evapotranspiration models to predict grass-reference evapotranspiration in the Senegal river delta. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, v. 8, p. 82-94, 2016. DOI: 10.1016/j.ejrh.2016.06.003

ESTÉVEZ, J.; GAVILÁN, P.; BERENGENA, J. Sensitivity Analysis of a Penman-Monteith type equation to estimate reference evapotranspiration in Southern Spain. *Hydrological Processes*, v. 23, p. 3342-3353, 2009. DOI: 10.1002/hyp.7439

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

IRMAK, S.; PAYERO, J.O.; MARTIN, D.; IRMAK, A.; HOWELL, T.A. Sensitivity analyses and sensitivity coefficients of standardized daily ASCE-Penman-Monteith equation. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, v. 132, n. 6, p. 564-578, 2006.

DEBNATH, S.; ADAMALA, S.; RAGHUWANSHI, N.S. Sensitivity analysis of FAO-56 Penman-Monteith method for different agro-ecological regions of India. *Environmental Processes*, v. 2, p. 689-704, 2015.

GONG, L., XU, C. Y., CHEN, D., HALLDIN, S., & CHEN, Y. D. Sensitivity of the Penman-Monteith reference evapotranspiration to key climatic variables in the Changjiang (Yangtze River) basin. *Journal of Hydrology*, v. 329, n. 3-4, p. 620-629, 2006.

IPCC, 2018: Summary for Policymakers. In: *Global warming of 1.5°C*. World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland, 32 pp.

KOUDAHE, K.; DJAMAN, K.; ADEWUMI, J. K. Evaluation of the Penman-Monteith reference evapotranspiration under limited data and its sensitivity to key climatic variables under humid and semiarid conditions. *Modeling Earth Systems and Environment*, v. 4, n. 3, p. 1239-1257, 2018.

PINHEIRO, E. A. R.; METSELAAR, K.; VAN LIER, Q. J.; ARAÚJO, J. C. Importance of soil-water to the Caatinga biome, Brazil. *Ecohydrology*, 2016.

TABARI, H.; TALAEE, P. H. Sensitivity of evapotranspiration to climatic change in different climates. *Global and Planetary Change*, v. 115, p. 16-23, 2014.