



Análise de sensibilidade da equação de Hargreaves-Samani a mudanças na temperatura do ar em condições de semiárido

Sensitivity analysis of the Hargreaves-Samani equation to changes in air temperature under semiarid conditions

Tatyana Keyty de Souza Borges¹, Aureo Silva de Oliveira²

¹ Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano (IF Sertão-PE), Campus Ouricuri, Pernambuco, Brasil.

² Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas, Bahia, Brasil

Contato: tatyana.borges@ifsertao-pe.edu.br

Palavras-Chave

evapotranspiração
coeficiente de sensibilidade
meteorologia
mudanças climáticas
Semiárido Nordeste

RESUMO

Projeções de mudanças climáticas e escassez hídrica per capita no mundo justificam melhor compreensão da sensibilidade da evapotranspiração de referência (ET_o) a variações na temperatura do ar. O presente trabalho teve por objetivo analisar a sensibilidade da ET_o estimada pela equação de Hargreaves-Samani (HS) a alterações na temperatura do ar em Ouricuri, PE (7°53' S, 40°06' W, 458 m anm) com base no ano médio de dados meteorológicos do período 2011-2017. Incrementos e decrementos de 5% até 25% foram aplicados sobre a temperatura máxima (T_x) e mínima (T_n) do ar e o correspondente efeito sobre a ET_o avaliado por meio de um coeficiente de sensibilidade (CS) dado pela razão entre ΔET_o (mm) e ΔVC (%), sendo ΔET_o a variação em ET_o devido à alteração percentual aplicada na variável climática (ΔVC). Verificou-se que perturbações em T_x em contraste com T_n proporcionaram maior impacto nas estimativas da ET_o. O método de HS mostrou-se mais sensível a alterações em T_x com CS_{T_x} positivo e igual a 0,094 mm/%. O correspondente para T_n foi negativo e igual a -0,036 mm/%. A sensibilidade do método de HS na estimativa da ET_o foi maior no verão em relação às demais estações do ano. O CS_{T_x} diário variou de 0,07 mm/% a 0,11 mm/% ao longo do ano, com os menores valores concentrados no inverno. O CS_{T_n} diário variou de -0,06 mm/% a -0,02 mm/% com os maiores valores também restritos ao período de inverno.

Key-word

evapotranspiration
sensitivity coefficient
meteorology
climate change
Northeastern semiarid

ABSTRACT

Projections of climate change and water scarcity per capita in the world justify a better understanding of the sensitivity of reference evapotranspiration (ET_o) to variations in air temperature. The present work aimed to analyze the sensitivity of ET_o estimated by the Hargreaves-Samani (HS) equation to changes in air temperature in Ouricuri, PE (7 ° 53 'S, 40 ° 06' W, 458 m anm) based on the average year of meteorological data for the period 2011-2017. Increments and decrements from 5% to 25% were applied to the maximum (T_x) and minimum (T_n) air temperature and the corresponding effect on ET_o assessed by means of a sensitivity coefficient (CS) given by the ratio of ΔET_o (mm) and ΔVC (%), with ΔET_o being the variation in ET_o due to the percentage change applied to the climate variable (ΔVC). Results have shown that perturbations in T_x in contrast to T_n had a greater impact on ET_o estimates. The HS method was more sensitive to changes in T_x with a positive CS_{T_x} equal to 0.094 mm/%. The corresponding for T_n was negative and equal to -0.036 mm/%. The sensitivity of the HS method to estimate ET_o was higher in the summer compared to other seasons. The daily CS_{T_x} varied from 0.07 mm/% to 0.11 mm/% throughout the year, with the lowest values concentrated in winter. The daily CS_{T_n} varied from -0.06 mm/% to -0.02 mm/% with the highest values also restricted to the winter period.

Informações do artigo

Recebido: 25 de novembro, 2019

Aceito: 06 de outubro, 2020

Publicado: 30 de dezembro, 2020

Introdução

O tema sobre mudanças climáticas e seus impactos tem sido amplamente debatido nos últimos anos e exigido a atenção dos pesquisadores em todo o mundo (TABARI e TALAEE, 2014). Observações climáticas em escala regional e global sinalizam para o aumento da temperatura nas últimas décadas com consequências imprevisíveis. O relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2018) enfatiza os impactos que podem se tornar irreversíveis, via análise de cenários de aquecimento de até 1,5 °C a longo prazo (100 anos). Jiménez et al. (2014) ressaltam os impactos das mudanças climáticas, por exemplo, no ciclo hidrológico, com destaque para o componente evapotranspiração (ET).

A ET é definida como a combinação da perda de água por evaporação da superfície do solo e por transpiração do interior das plantas para a atmosfera. A estimativa da ET tornou-se um assunto comum em diversas vertentes da ciência e da tecnologia que abordam estudos relacionados ao ambiente natural e ao uso da água doce no planeta (RODRIGUES, 2020). No entanto, com as mudanças no clima e a redução *per capita* dos recursos hídricos no mundo, há necessidade de se intensificar a compreensão da sensibilidade da ET em relação a variações de temperatura do ar. A ET não pode ser medida diretamente na escala de observações e previsões climáticas, portanto o uso de modelos hidroclimáticos é necessário para se estimar o efeito das mudanças nessa componente chave do ciclo hidrológico (BORMANN, 2011).

A determinação da ETo (ET de referência) pode ser feita com métodos diretos e indiretos. No primeiro caso, estão os lisímetros de pesagem contínua (CHAGAS et al., 2013; PAIVA e SOUZA, 2016). No segundo, estão os modelos matemáticos, a exemplo do proposto por Penman (1948) e, posteriormente, o de Penman-Monteith modificado pela FAO (ALLEN et al., 1998), considerado padrão por reunir numa formulação fisicamente fundamentada aspectos energéticos, termodinâmicos e aerodinâmicos da superfície evaporante (SOUSA et al., 2010). Este método tem sido utilizado como referência para calibração de outros métodos de estimativa da ETo (SILVA et al., 2009; CARVALHO et al., 2011; SILVA et al., 2014; VENANCIO et al., 2019). Uma de suas limitações, no entanto, é maior exigência de dados meteorológicos (radiação solar, temperatura do ar, velocidade do vento e umidade relativa do ar). Isto impõe um significativo obstáculo à sua difusão, principalmente aos pequenos agricultores irrigantes para os quais os custos de aquisição de estações meteorológicas automáticas para coleta de dados são, ainda, impeditivos (BORGES JÚNIOR et al., 2012).

Quando a disponibilidade de dados é limitada faz-se necessária a adoção de métodos mais simples (BORGES JÚNIOR et al., 2012), a exemplo da equação de Hargreaves-Samani (1985) baseada apenas na temperatura do ar (máxima e mínima).

Gomes Filho et al. (2017) verificaram que o método de Hargreaves-Samani foi o que apresentou melhor desempenho e alta correlação com o método padrão Penman-Monteith FAO56 para os municípios de

Carira e Itabaianinha em Sergipe. Chagas et al. (2013) concluíram que o método de Hargreaves-Samani não apresentou desempenho satisfatório, tanto para o período seco quanto para o período úmido, no município de Rio Real-BA.

Apenas alguns estudos no Brasil, a exemplo de Lemos Filho et al. (2010) e Palaretti et al. (2014), têm avaliado o efeito de cenários de mudanças climáticas sobre a ET. Uma análise da sensibilidade da ETo a perturbações associadas a uma ou mais variáveis climáticas é fundamental para melhor compreensão das conexões entre as condições climáticas e a ET de referência, bem como entre a disponibilidade de dados e a precisão na sua estimativa (GONG et al., 2006). Tabari e Talaee (2014) investigaram a sensibilidade da ETo via equação Penman-Monteith FAO56 em quatro tipos climáticos do Irã (úmido, semiárido frio, semiárido quente e árido) usando dados de oito localidades no intervalo 1965-2005. Os autores simularam sobre a ETo os efeitos de incrementos e decrementos em intervalos de 5% até 20% aplicados sobre a temperatura do ar, velocidade do vento e horas de luz solar. Os resultados revelaram diferenças significativas entre os climas. O maior impacto sobre a ETo ($\pm 9\%$) verificou-se em clima árido em resposta a uma mudança de $\pm 20\%$ na velocidade do vento.

Estévez et al. (2009) também trabalharam com a equação de Penman-Monteith ao examinarem a sensibilidade do modelo com dados de 87 estações meteorológicas automáticas na Espanha, no período 1999-2006. Superestimativas na ETo resultaram de variações positivas aplicadas na temperatura, radiação solar e velocidade do vento, ao passo que com a umidade relativa as mesmas variações resultaram em subestimativas da ETo. Os autores verificaram diferenças na sensibilidade do modelo entre localidades para uma mesma variável climática. Bormann (2011) estudaram a sensibilidade de 18 métodos diferentes de estimativa da ET potencial (ETp) usando dados de seis estações climáticas no norte e sul da Alemanha, e concluíram que houve diferença significativa na sensibilidade da ETp às alterações climáticas aplicadas.

Diante do exposto, o presente trabalho teve por objetivo analisar a sensibilidade da estimativa da ETo pela equação de Hargreaves-Samani (HARGREAVES e SAMANI, 1985) a alterações na variável temperatura do ar em escala diária e sazonal no semiárido nordestino.

Material e Métodos

Base de dados e local

Este estudo baseou-se em dados horários coletados por uma estação meteorológica automática da rede do INMET-Instituto Nacional de Meteorologia (www.inmet.gov.br) localizada no campus do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano, em Ouricuri, PE (7° 53' S e 40° 06' W, 458 m anm). O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo BShw', semiárido, quente, com precipitação média anual de 584 mm (ARAÚJO FILHO, et al., 2002) e longos períodos de estiagem no ano (7 a 8 meses) (ARRUDA, 2012).

Descrição da análise dos dados

Uma série de dados horários de Ouricuri cobrindo o período 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 obteve-se o ano médio para todas as variáveis meteorológicas contidas no arquivo fornecido pelo INMET. Esse ano médio é que foi utilizado para o cálculo da ETo e posterior análise de sensibilidade. A ETo diária foi calculada usando-se o método de Hargreaves-Samani (HS) (Eq. 1), cujas variáveis de entrada são as temperaturas máxima (Tx) e mínima (Tn) do ar (°C) bem como a radiação solar extraterrestre (R_o) que por sua vez depende do dia do ano (DDA) e da latitude local (φ) (ALLEN et al., 1998).

$$ET_o = 0,0023R_o\sqrt{(T_x - T_n)}\left(\frac{T_x + T_n}{2} - 17,8\right) \quad (\text{Eq. 1})$$

em que:

ET_o - evapotranspiração de referência de HS (mm d⁻¹)

R_o - radiação solar extraterrestre (mm d⁻¹)

T_x - temperatura do ar máxima (°C)

T_n - temperatura do ar mínima (°C)

O valor diário de R_o foi obtido com auxílio das Equações 2 a 5 (ALLEN et al., 1998).

$$R_o = \frac{24(60)}{\pi} S_c D_r \left[\frac{\hat{H} \text{sen}(\varphi) \text{sen}(\delta) + \cos(\varphi) \cos(\delta) \text{sen}(\hat{H})}{\cos(\varphi) \cos(\delta) \text{sen}(\hat{H})} \right] \quad (\text{Eq. 2})$$

em que:

S_c - constante solar (0,082 MJ m⁻² min⁻¹)

D_r - distância relativa Terra-Sol (adimensional)

φ - latitude local (rad)

δ - declinação solar (rad)

Ĥ - ângulo horário no pôr-do-sol (rad)

$$D_r = 1 + 0,033 \cos\left(\frac{2\pi}{365} DDA\right) \quad (\text{Eq. 3})$$

em que:

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

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

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

Análise da sensibilidade

Para fins de análise da sensibilidade da equação de HS a mudanças nas temperaturas máxima e mínima do ar, a ETo calculada com os dados meteorológicos médios do período foi denominada ETo base (ET_{ob}).

Incrementos e decrementos de 5% até 25% foram aplicados sobre Tx e Tn e os efeitos na ETo

automaticamente computados na planilha SAET_o - ETo Sensitivity Analysis. Enquanto Tn era mantida constante, Tx variava e vice-versa, de modo a se avaliar os efeitos individuais de cada variável. Com ambos os valores se obteve então a diferença ΔET_o.

Por exemplo, 5% de incremento em Tn resultou em ΔET_o = ET_{o(+5%)} - ET_{ob}. Assim, com base nos incrementos e decrementos nas variáveis de entrada (Tx e Tn) e os respectivos efeitos sobre a ETo, determinou-se o coeficiente de sensibilidade (IRMAK et al., 2006):

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

em que:

CS - coeficiente de sensibilidade da ETo em milímetros por unidade percentual (mm/%)

ΔET_o - alteração na ETo (mm) devido à ΔVC (%)

ΔVC - nível percentual (±5%, ±10%, ±15%, ±20%, ±25%) aplicado sobre a variável climática, nesse caso Tx e Tn

Após a obtenção de ΔET_o diário, calculou-se para cada nível percentual o respectivo valor médio anual de CS (dez no total), como a média aritmética dos valores diários. Na sequência obteve-se um CS médio para Tx e outro para Tn como a média aritmética dos dez valores anuais.

Para análise sazonal o ano médio foi dividido nos seguintes períodos: outono (21 de março a 20 de junho), inverno (21 de junho a 22 de setembro), primavera (23 de setembro a 21 de dezembro) e verão (22 de dezembro a 20 de março).

Resultados e Discussões

Condições climáticas e ET_{ob}

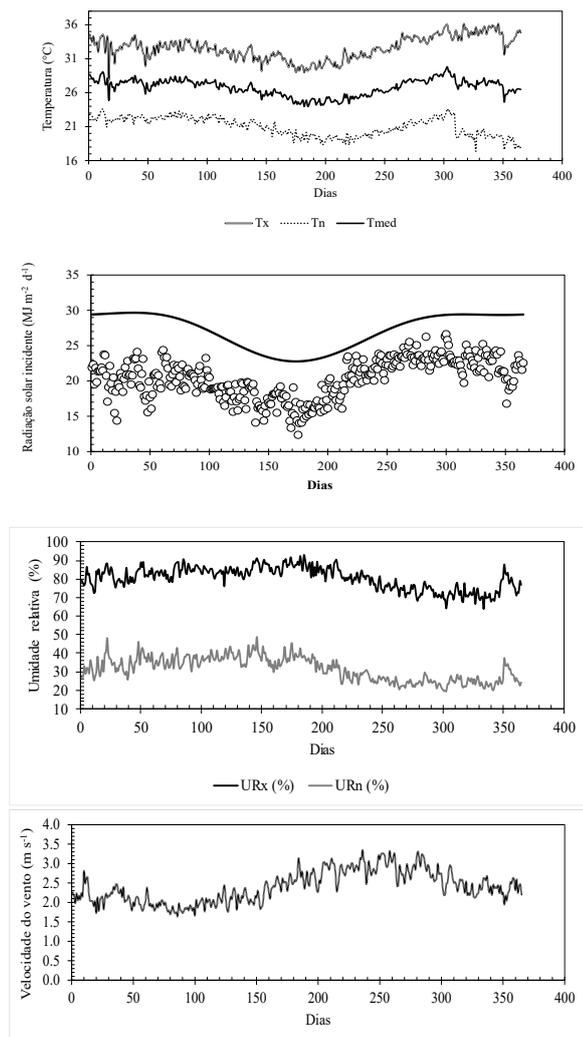
A Figura 1 mostra as condições climáticas (temperaturas máxima e mínima, radiação solar incidente (R_g), umidades relativas máxima (UR_x) e mínima (UR_n) e velocidade do vento) do ano médio do período 2011-2017 para o município de Ouricuri, localizado no semiárido de Pernambuco.

No ano médio, Tx oscilou de 27,9 °C a 36,1 °C, com média de 32,6 °C ± 1,7 °C. O maior valor de Tn encontrado foi 23,6 °C e o menor 17,4 °C (média = 20,9 °C ± 1,4 °C).

A radiação solar média incidente em Ouricuri no período foi em torno de 21 MJ m⁻² d⁻¹. No respectivo gráfico, a linha contínua é a estimativa do envelope de R_g para céu claro com base na altitude local.

Naquela localidade, as médias anuais de UR_x e UR_n no período foram 79,5% e 30,3%, respectivamente. Em relação ao vento, a velocidade média anual foi de 2,4 m s⁻¹ com máxima de 3,4 m s⁻¹.

Figura 1. Condições climáticas para o ano médio do período 2011-2017 no município de Ouricuri, semiárido pernambucano.



Legenda: Tx = temperatura do ar máxima; Tn = temperatura do ar mínima; Tmed = temperatura do ar média; URx = umidade relativa do ar máxima; URn = umidade relativa do ar mínima.

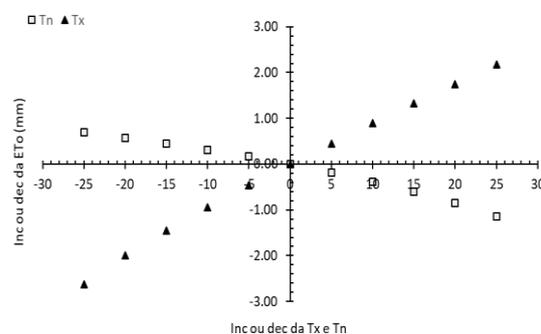
Pinheiro et al. (2016) esclarece que redução nos totais de chuva e aumento da temperatura do ar são consequências previstas para os próximos anos devido às mudanças climáticas. Em ambientes áridos e semiáridos, onde usos consuntivos são relativamente altos e a precipitação limita o crescimento e rendimento das culturas, estimativas precisas das necessidades de água são necessárias para o planejamento e uso eficiente dos recursos hídricos (ESTÉVEZ et al., 2009). O monitoramento da necessidade de água para as culturas pelo método de Hargreaves-Samani é uma alternativa para produtores rurais com baixo poder aquisitivo pelo fato de ser mais simples (ARRAES et al., 2016; FERREIRA et al., 2018; PINHEIRO et al., 2019). Isto confirma a importância de estudos com previsões da ETo quando ocorre uma perturbação em algum componente meteorológico desse processo.

Os valores da ETo_b (ETo base) do ano médio (2011-2017) oscilaram no intervalo de 3,5 mm d⁻¹ a 6,9 mm d⁻¹ com valores máximos no final do ano e mínimos no meio do ano. A ETo_b média foi de 5,1 mm d⁻¹ ± 0,82 mm d⁻¹.

Sensibilidade da ETo a alterações na temperatura do ar

Na análise de sensibilidade com dados meteorológicos médios do período 2011-2017 da localidade de Ouricuri-PE, alterações nas taxas de ETo são resultados de mudanças nas temperaturas máxima (Tx) e mínima (Tn) do ar. Irmak et al. (2006) explicam que a magnitude do coeficiente de sensibilidade (CS) pode mostrar variações entre climas de uma região para outra. A temperatura é a variável que tende a refletir os efeitos mais imediatos das mudanças climáticas. Assim, cenários com incremento e decremento de 5% em Tx e Tn foram construídos para demonstrar o impacto sobre a magnitude da ETo (mm d⁻¹) conforme Figura 2. Observa-se tendência de relação proporcional entre ΔETo (eixo y) e ΔVC (eixo x) para Tx e de relação inversamente proporcional para Tn, resultando no caso de Tx numa função crescente (CS médio = 0,094 mm/%) e numa função decrescente (CS médio = -0,036 mm/%) no caso de Tn. Em valor absoluto, o CS associado a Tx foi maior que o associado a Tn, sugerindo portanto, maior sensibilidade da equação de HS à variações na temperatura máxima do ar. Do ponto de vista prático, um aumento de 1% em Tx e Tn resultaria, respectivamente, num aumento médio de quase 0,10 mm d⁻¹ e redução média em torno de 0,04 mm d⁻¹ na ETo diária.

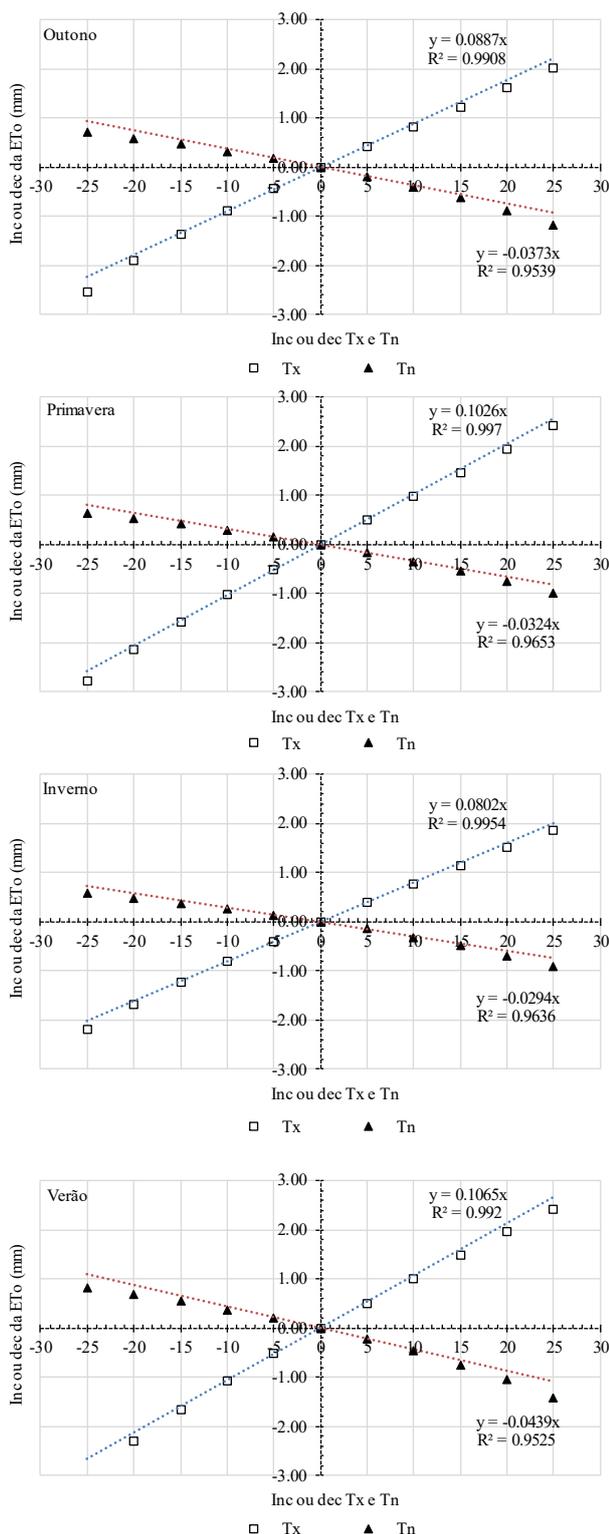
Figura 2. Variação média na ETo (mm) pela equação de Hargreaves-Samani em função de incrementos e decrementos de 5% na temperatura máxima (Tx) e mínima (Tn) do ar para o ano médio (2011-2017) em Ouricuri, PE.



Legenda: Tx = temperatura máxima; Tn = temperatura mínima.

Segundo Debnath et al. (2015), a ETo é influenciada principalmente por aumento na temperatura devido à maior capacidade do ar em reter vapor d'água e em transferir energia para a cultura. Palaretti et al. (2014) chegaram a uma superestimava de 13% da ETo mensal pela equação de Hargreaves-Samani em relação a de Penman-Monteith. Essa investigação em Bebedouro-SP demonstrou que uma variação de 5% nas temperaturas máxima e mínima do ar resultariam em erros de até 1 mm d⁻¹ na ETo, com influência maior observada para temperatura máxima. O ano médio do presente estudo foi dividido nas estações outono, inverno, primavera e verão para a análise sazonal, mostrada na Figura 3. Nas quatro estações observou-se a mesma tendência verificada na Figura 2 para todo o ano, ou seja, maior sensibilidade da ETo estimada por HS para temperatura máxima do ar em relação à temperatura mínima.

Figura 3. Variação sazonal da ETo (mm) pela equação de Hargreaves-Samani em função de incrementos e decrementos de 5% na temperatura máxima (Tx) e mínima do ar (Tn) em Ouricuri, PE.



Legenda: Tx = temperatura máxima; Tn = temperatura mínima.

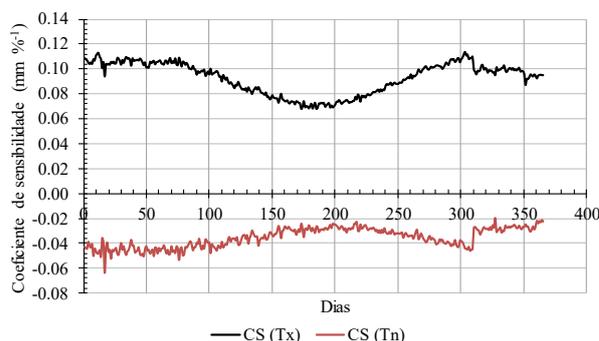
No verão a sensibilidade foi maior tanto para Tx quanto para Tn em relação às demais estações. A primavera foi equivalente ao verão no caso de Tx enquanto que o equivalente ao verão no caso de Tn foi o outono. Para ambos os casos Tx e Tn, o ajuste linear foi adequado ($r^2 > 0,90$) como era de se esperar conforme a Equação 6.

Essa relação resulta numa reta de regressão passando pela origem (Figura 3). Assim, a inclinação de cada reta corresponde ao CS médio de todo o período.

Variação diária do coeficiente de sensibilidade

Na Figura 4 são plotados os valores diários dos coeficientes de sensibilidade das temperaturas do ar que refletiram em mudanças na ETo estimada pelo método de Hargreaves-Samani. Observa-se valores positivos de CS_{Tx} (CS da ETo de HS para Tx) e negativos de CS_{Tn} (CS da ETo de HS para Tn) durante todo o ano médio do período 2011-2017 em Ouricuri-PE.

Figura 4. Dinâmica diária do coeficiente de sensibilidade para temperatura máxima (Tx) e temperatura mínima (Tn), no município de Ouricuri-PE.



Legenda: CS(Tx) = coeficiente de sensibilidade da ETo estimada via equação de Hargreaves-Samani para Tx; CS(Tn) = CS da ETo estimada via Hargreaves-Samani para a variável Tn.

O CS_{Tx} variou de 0,07 a 0,11 mm/% concentrando-se os valores mais baixos no início do mês de maio até a metade de agosto. Por outro lado, o CS_{Tn} oscilou de -0,06 a -0,02 mm/%. Percebe-se na Figura 4 tendências opostas entre CS_{Tx} e CS_{Tn}. No período final/início do ano tem-se a estação de verão, e as curvas da Figura 4 reforçam a análise sazonal da Figura 3 ao demonstrar que no verão a sensibilidade da ETo estimada pelo método de HS foi maior, em valor absoluto. Ambos os coeficientes de sensibilidade mostraram elevado grau de flutuação dia-após-dia e revelaram diferenças quanto à influência de Tx e Tn na ETo estimada por HS. Mudanças em Tx proporcionaram maior impacto nas estimativas da ETo do que em Tn para região semiárida (Figuras 2 e 4).

Resultados semelhantes foram encontrados por Koudahe et al. (2018), ao avaliarem a sensibilidade da ETo de Penman-Monteith com dados de oito estações meteorológicas sob condições úmidas e semiáridas na Costa do Marfim. O trabalho desses autores admite que os coeficientes de sensibilidade relativamente altos associados a Tx podem ser explicados pela maior influência de Tx frente a Tn para estimar em métodos combinados o saldo de radiação (R_n), a pressão de saturação (e_s), a declividade da curva de pressão de saturação (Δ) e o balanço de radiação de onda longa (R_{nL}).

No presente estudo para a região de Ouricuri-PE, o CS médio anual para Tx foi de 0,094 mm/% e para Tn foi de -0,036 mm/%. Gong et al. (2006) comentam que um CS positivo/negativo de uma variável indica que a ETo pode aumentar/diminuir; quanto maior o CS, maior o efeito de uma determinada variável na ETo.

Djaman et al. (2016) realizaram uma avaliação detalhada da sensibilidade do método de Penman-Monteith a perturbações nas variáveis climáticas no sudoeste da África.

O estudo constatou que a variação nos valores de temperatura do ar máxima influenciou de maneira significativa a ETo diária, com coeficiente de sensibilidade na faixa de 0,60 a 0,82 mm (média de 0,74 mm); perceberam também que a temperatura máxima foi a terceira variável climática que mais influenciou a ETo diária.

Conclusão

No presente estudo, dados de temperatura do ar do ano meteorológico médio de Ouricuri-PE, no semiárido, foram utilizados para se avaliar a sensibilidade da ETo estimada via equação de Hargreaves-Samani (HS) a perturbações nas temperaturas máxima e mínima do ar, respectivamente, Tx e Tn. As perturbações foram aplicadas em cada variável separadamente e na forma de incrementos e decrementos de 5 a 25%, em intervalos de 5%. As análises revelaram que o método de HS é mais sensível a perturbações em Tx (coeficiente de sensibilidade, CS_{Tx} , médio igual a 0,094 mm/%) em relação a Tn (CS_{Tn} médio igual a -0,036 mm/%). Tendências opostas de CS diário ao longo do ano mostraram que as variáveis tiveram efeitos contrários sobre as alterações em ETo. A análise sazonal mostrou que o método de Hargreaves-Samani é mais sensível a perturbações em Tx e Tn no verão. Por fim, as análises demonstraram a importância e a aplicabilidade prática de se avaliar o papel isolado de Tx e Tn na estimativa da ETo no semiárido de Pernambuco.

Agradecimentos

Ao Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano (IF Sertão-PE) pelo apoio financeiro e ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) pela disponibilidade dos dados.

Referências

- 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)
- ARAÚJO FILHO, J.A., F.C. CARVALHO, R. GARCIA E R.A.; SOUSA. 2002. Efeitos da manipulação da vegetação lenhosa sobre a produção e compartimentalização da fitomassa pastável de uma caatinga sucessional. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 31, n. 1, p. 11 - 19, 2002.
- ARRAES, F. D. D.; JUNIOR, J. C. L.; OLIVEIRA, J. B.; MACÊDO, K. G.; SOUSA COURAS, Y.; 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 - 419, 2016.
- 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, 2012.
- BORGES JÚNIOR, J. C. F.; ANJOS, R. J.; SILVA, T. J. A.; LIMA, J. R. S.; ANDRADE, C. L. T. Métodos de estimativa da evapotranspiração de referência diária para a microrregião de Garanhuns, PE. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 16, n. 4, p. 380-390, 2012.
- BORMANN, H. Sensitivity analysis of 18 different potential evapotranspiration models to observed climatic change at German climate stations. *Climatic Change*, v. 104, n. 3-4, p. 729-753, 2011.
- CARVALHO, L. G.; RIOS, G. F. A.; MIRANDA, W. L.; NETO, P. C. Evapotranspiração de referência: uma abordagem atual de diferentes métodos de estimativa. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, Goiânia, v. 41, n. 3, p. 456 - 465, 2011.
- CHAGAS, R. M.; FACCIOLI, G. G.; AGUIAR NETTO, A. O.; SOUSA, I. F.; VASCO, A. N.; SILVA, M. G. Comparação entre métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (ETo) no município de Rio Real-BA. *Irriga*, v.18, n. 1, p. 351 - 363, 2013.
- 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.
- 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.
- 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.
- FERREIRA, L. B.; CUNHA, F. F.; DUARTE, A. B.; SEDIYAMA, G. C.; CECON, P. R. Calibration methods for the *Hargreaves-Samani* equation. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 42, n.1, p: 104 - 114, 2018.
- GOMES FILHO, R. R.; SOUZA, L. G.; SANTOS, I. L. N.; SANTOS, K. V.; OLIVEIRA, D. T. B.; SILVA, D. T. Estimativa da evapotranspiração de referência do Estado de Sergipe. *Scientia Plena*, v. 13, n. 10, 2017.
- 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.
- HARGREAVES, G.H.; SAMANI, Z.A. Reference crop evapotranspiration from temperature. *Applied Engineering in Agriculture*, v. 1, n. 2, p. 96 - 99, 1985.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC: Summary for Policymakers. In: Global warming of 1.5°C. *World Meteorological Organization*, Geneva, Switzerland, 2018, 32 p.
- 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.
- JIMÉNEZ CISNEROS, B.E.; OKI, T.; ARNELL, N.W.; BENITO, G.; COGLEY, J.G.; DÖLL, P.; JIANG, T.; MWAKALILA, S.S. Freshwater resources. In: *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, p. 229 - 269, 2014.
- 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.

LEMOS FILHO, L. C. A.; CARVALHO, L. G.; EVANGELISTA, A. W. P.; ALVES JÚNIOR, J. Análise espacial da influência dos elementos meteorológicos sobre a evapotranspiração de referência em Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 12, p. 1294-1303, 2010.

PAIVA, C. M.; SOUZA, A. D. S. P. Avaliação de Métodos de Estimativa da Evapotranspiração de Referência para Fins de Manejo da Irrigação. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 39, n. 1, p. 42 - 51, 2016.

PALARETTI, L. F.; MANTOVANI, E. C.; SEDIYAMA, G. C. Análise da sensibilidade dos componentes da equação de *Hargreaves-Samani* para a região de Bebedouro-SP. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 29, n. 2, p. 299 - 306, 2014.

PENMAN, H.L. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. **Proceeding Royal Society**, London, v.193, p.120-143. 1948.

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

PINHEIRO, M. A. B.; OLIVEIRA, A. L. M.; BORGES JÚNIOR, J. C. F.; OLIVEIRA, E. C. D.; CARVALHO, L. G. D. Reference evapotranspiration based on temperature in Minas Gerais state, Brazil. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 43, 2019.

RODRIGUES, L. N. Quantidade de água utilizada na agricultura irrigada: certezas e incertezas nas estimativas. **Revista ITEM**, n. 114, p. 47-53, 2020.

SILVA, V. P. R.; CAMPOS, J. H. B. C.; AZEVEDO, P. V. Water-use efficiency and evapotranspiration of mango orchard grown in northeastern region of Brazil. **Scientia Horticulturae**, v.1, n.120, p.467 - 472, 2009.

SILVA, J. R. L.; DE ASSUNÇÃO MONTENEGRO, A. A.; DOS SANTOS, T. E. M.; DOS SANTOS, E. S. Desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para Fernando de Noronha. **Irriga**, v. 19, n. 3, p. 390 - 404, 2014.

SOUSA, I. F. D.; DA SILVA, V. D. P.; SABINO, F. G.; SILVA, B. K.; AZEVEDO, P. V. D. Evapotranspiração de referência nos perímetros irrigados do Estado de Sergipe. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.6, p.633 – 644, 2010.

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

VENANCIO, L. P.; CUNHA, F. F.; MANTOVANI, E. C.; SEDIYAMA, G. C.; EUGENIO, F. C.; ALEMAN, C. C. Penman-Monteith with missing data and Hargreaves-Samani for ETo estimation in Espírito Santo state, Brazil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 23, n. 3, p. 153 - 159, 2019.