

## **ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DA EQUAÇÃO DE PENMAN-MONTEITH PARA A ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA EM ÁREAS IRRIGADAS NO ESTADO DE SERGIPE.**

Bruce Kelly da Nobrega Silva<sup>1</sup>; Vicente de Paulo Rodrigues da Silva<sup>2</sup>, Pedro Vieira de Azevedo<sup>2</sup>, Inajá Francisco de Sousa<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Meteorologista, M.Sc, Pós-Graduando, Unid. Ac. de Ciências Atmosféricas, UFCG/Campina Grande – PB, e-mail:

[brucekellys@yahoo.com.br](mailto:brucekellys@yahoo.com.br)

<sup>2</sup> Meteorologista, D.Sc, Prof. Adjunto, Unid. Ac. de Ciências Atmosféricas, UFCG/Campina Grande – PB.

<sup>3</sup> Meteorologista, D.Sc, Prof. Adjunto, Unid. Ac. de Ciências Atmosféricas, UFCG/Campina Grande – PB.

<sup>4</sup> Meteorologista, D.Sc, Prof. Adjunto Universidade Federal de Sergipe- UFS/São Cristóvão – SE

Apresentado no XVI Congresso Brasileiro de Agrometeorologia – 22 a 25 de Setembro de 2009 – Gran Darrell Minas Hotel, Eventos e Convenções – Belo Horizonte – MG.

**RESUMO:** A análise de sensibilidade avalia a contribuição de cada variável de entrada do modelo no cálculo de outra variável. Neste estudo foram utilizadas duas áreas irrigadas do Estado de Sergipe: o perímetro Califórnia, localizado no município de Candidé de São Francisco, e o de Jacarecica, localizado em Tobias Barreto. Foi aplicada a análise de sensibilidade à equação de Penman-Monteith (FAO/56) para a estimativa da evapotranspiração (ET<sub>o</sub>) usando os dados de temperatura do ar, velocidade do vento, umidade relativa e insolação para o ano de 1993. Os resultados evidenciaram que a variável mais sensível foi o saldo de radiação, com coeficiente de sensibilidade variando de 0,94 a 0,46 e a que apresentou menor sensibilidade no cálculo da ET<sub>o</sub> foi a velocidade do vento, com valores variando entre 0,36 e 0,01.

**PALAVRAS-CHAVE:** temperatura do ar, saldo de radiação, velocidade do vento

### **SENSITIVITY ANALYSIS OF THE PENMAN-MONTEITH EQUATION TO ESTIMATE REFERENCE EVAPOTRANSPIRATION IN IRRIGATED AREAS ON SERGIPE STATE, BRAZIL**

**ABSTRACT:** Sensitivity analysis assess the contribution of each input variable of the model on the another variable. This study used two irrigated areas of the Sergipe state, Brazil: perimeter of California, located in Candidé de São Francisco, and perimeter of Jacarecica, located in Tobias Barreto. It was applied the sensitivity analysis to the Penman-Monteith (FAO/56) equation for obtaining reference evapotranspiration (ET<sub>o</sub>) using air temperature, relative humidity, wind speed and sunshine data for the 1993 year. Results showed that the more sensible variable is net radiation, with sensitivity coefficient varying from 0.94 to 0.46 while the less sensible variable is wind speed, with sensitivity coefficient varying from 0.36 to 0.01.

**KEYWORDS:** air temperature, net radiation, wind speed

**INTRODUÇÃO:** A evapotranspiração potencial é uma das mais importantes variáveis hidrológicas para a programação de sistemas de irrigação e preparação de entrada de dados para o uso eficiente de água (XU et al., 2006). A evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) pode ser obtida através de medidas diretas ou métodos empíricos. As medidas diretas são extremamente trabalhosas e onerosas, porque exigem estruturas apropriadas e de alto custo financeiro. A equação de Penman-Monteith (PM) é o método padrão de estimativa da evapotranspiração de referência recomendado pela FAO (*Food Agricultural Organization*). Esse método tem sido usado em diferentes locais e climas, usando apenas dados de temperaturas máximas e mínimas do ar, velocidade do vento, umidade relativa e insolação. A análise de sensibilidade procura determinar o efeito de uma determinada variável no cálculo de outra variável. Ela pode ser um instrumento bastante útil em diferentes áreas do conhecimento para determinar a importância de uma variável sobre o resultado final de outra. Os dados das variáveis climáticas são submetidos a diferentes tipos de erros. A primeira fonte de erro é devido às propriedades dos sensores, calibração e manuseio dos instrumentos (BEVEN, 1979; MEYER et al., 1989; RITCHIE et al., 1996). A segunda fonte de erros é devida a estimativa de certa variável climática em função de outra (THOMPSON, 1976; LINDSEY e FARNSWORTH, 1997). E, finalmente, a terceira fonte de erros é relacionada com a frequência temporal de coleta dos dados climáticos, que segundo HUPET e VANCLOOSTER (2001) essa fonte de erros é muito pouco citada na literatura. Diante do exposto, este trabalho teve o objetivo de aplicar a análise de sensibilidade ao método de Penman-Monteith e avaliar quais variáveis meteorológicas mais sensíveis no cálculo da estimativa da evapotranspiração de referência em áreas irrigadas do Estado de Sergipe.

**MATERIAL E MÉTODOS:** Os perímetros irrigados analisados neste estudo foram Califórnia e Jacarecica, localizados em pontos diferentes do Estado de Sergipe. Foi aplicada a análise de sensibilidade à equação de Penman-Monteith (FAO/56) para a estimativa da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>). Os dados usados neste estudo foram os valores diários de temperatura do ar, velocidade do vento, umidade relativa e insolação para o ano de 1993.

As equações para a determinação da evapotranspiração de referência pelo método de PM podem ser expressas genericamente da seguinte forma:

$$ET = f(v_1, v_2, v_3, \dots, v_n) \quad \text{Eq. 1}$$

em que  $v_1, v_2, v_3, \dots, v_n$  são as variáveis climáticas de qualquer um dos modelos. Considerando que  $\Delta v_i$  é a perturbação da variável climática, logo a perturbação de  $\Delta ET$  devida à perturbação das variáveis climáticas é obtida pela seguinte equação:

$$\Delta ET = f(v_1 + \Delta v_1, v_2 + \Delta v_2, v_3 + \Delta v_3, \dots, v_n + \Delta v_n) \quad \text{Eq. 2}$$

A equação 2 expandida em série de Taylor e desprezando os termos de segunda ordem, obtêm-se:

$$\Delta ET = \frac{\partial ET}{\partial v_1} \Delta v_1 + \frac{\partial ET}{\partial v_2} \Delta v_2 + \frac{\partial ET}{\partial v_3} \Delta v_3 + \dots + \frac{\partial ET}{\partial v_n} \Delta v_n \quad \text{Eq.3}$$

As derivadas parciais da Eq. [3] definem a sensibilidade de estimativa de cada variável  $v_i$ . Logo, esses coeficientes de sensibilidade variam de acordo com as magnitudes de ET e  $v_i$ . O coeficiente de sensibilidade relativa não-dimensional de cada variável pode ser obtido pela seguinte equação (McCUEN, 1974):

$$S_i = \frac{\partial ET}{\partial v_i} \frac{v_i}{ET} \quad \text{Eq.4}$$

Os coeficientes de sensibilidade obtidos pela Eq. (4) representam a fração de variação de  $v_i$  transmitida à variação de ET. As derivadas parciais necessárias para a determinação dos coeficientes de sensibilidade serão calculadas analiticamente através do software Matlab. Os coeficientes de sensibilidade serão obtidos para os intervalos de tempo descrito na seção anterior. Os valores positivos/negativos do coeficiente de sensibilidade de uma variável indicam que ET aumenta/decrece quando o valor da variável aumenta. Na forma gráfica, o coeficiente de sensibilidade representa a inclinação da curva de sensibilidade, que é suficientemente preciso dentro de certo intervalo linear (GONG et al., 2006).

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** Na Figura 1 são apresentados os valores diários da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) estimada pelo método PM dos perímetros irrigados Jacarecica (A) e Califórnia (B) no Estado de Sergipe, Observa-se que os valores de ET<sub>o</sub> nesses perímetros irrigados apresentam valores máximos em torno de 6 mm/dia, no ano estudado, em seu início e fim, que corresponde ao período seco, e mínimos nos meses de junho a agosto, que corresponde ao período chuvoso da região.

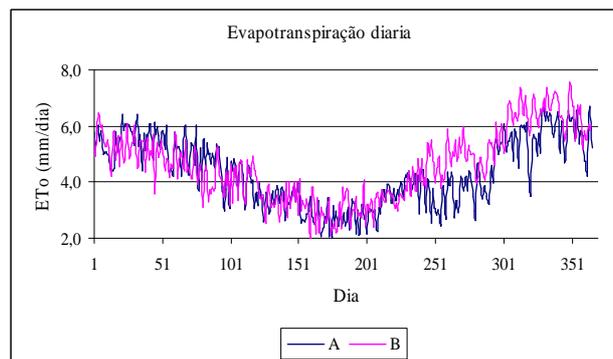


Figura 1 - Valores diários da evapotranspiração de referência nos perímetros irrigados de Jacarecica (A) e Califórnia (B), Sergipe (1993).

Na Figura 2 são apresentados os valores dos coeficientes de sensibilidade das variáveis meteorológicas: saldo de radiação ( $S_{RN}$ ), temperatura do ar ( $S_T$ ), umidade relativa ( $S_{UR}$ ) e velocidade do vento ( $S_U$ ). Observa-se que os valores maiores do coeficiente de sensibilidade são para o saldo de radiação, variando de 0,94 e de 0,46 (Figura 2A). Por

outro lado, os valores de  $S_T$  chegam 0,7, no final do ano, e atinge o valor mínimo de 0,04, no período chuvoso (Figura 2B). Já os valores dos coeficientes de sensibilidade para a umidade relativa ( $S_{UR}$ ) variam entre 0,5 e 0,05 (Figuras 2C e 2D). Porém, os menores valores de coeficiente de sensibilidade variam entre 0,36 e 0,01, respectivamente, nos períodos chuvoso e seco da região.

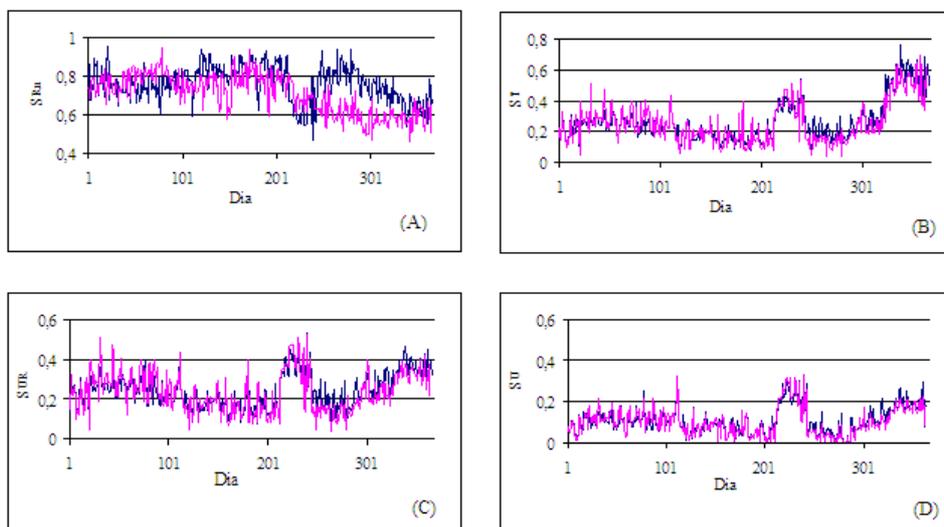


Figura 2 - Valores diários dos coeficientes de sensibilidade do saldo de radiação ( $S_{Rn}$ ), temperatura ( $S_T$ ), umidade relativa ( $S_{UR}$ ) e velocidade do vento ( $S_U$ ), nos perímetros irrigados de Jacarecica e Califórnia (Sergipe, 1993).

Esses resultados concordam com os valores obtidos por HUPET e VANCLOOSTER (2001), os quais evidenciaram que a radiação solar é a variável atmosférica que mais influencia o cálculo da evapotranspiração na região de estudo. Por outro lado, XU et al. (2006) utilizaram a mesma técnica para analisar os impactos das variáveis meteorológicas no cálculo da evapotranspiração de referência pelo método de (PM) na bacia hidrográfica de Changjian. Eles obtiveram que a variável mais sensível à equação de (PM) na área de estudo foi a umidade relativa do ar, seguida pela radiação de ondas curtas e temperatura do ar. Já a velocidade do vento apresentou os menores valores de coeficiente de sensibilidade que foram explicados pela sua grande variabilidade espacial na região durante o período de estudo.

**CONCLUSÕES:** De acordo com os resultados obtidos para o local e ano estudado, pôde-se concluir que a variável mais sensível à estimativa da evapotranspiração de referência foi o saldo de radiação, seguida pela temperatura do ar, umidade relativa e velocidade vento.

#### REFERÊNCIAS:

BEVEN, K. A sensitivity analysis of the Penman–Monteith actual evapotranspiration estimates. *Journal of Hydrology*, v.44, p.169–190. 1979

HUPET, F., VANCLOOSTER, M. Effect of the sampling frequency of meteorological variables on the estimation of the reference evapotranspiration. *Journal of Hydrology* 243, 192–204, 2001.

LINDSEY, D., FARNSWORTH, R. Sources of solar radiation estimates and their effect on daily potential evaporation for use in stream flow modeling. *Journal of Hydrology* 201, p. 348±366, 1997.

MEYER, S., HUBBARD, K., WILHITE, D. Estimating potential evapotranspiration: the effect of random and systematic errors. *Agricultural and Forest Meteorology* 46, p. 285±296, 1989.

RITCHIE, J.T., HOWELL, T.A., MEYER, W.S., WRIGHT, J.L. Sources of biased errors in evaluating evapotranspiration equations. *Proceedings of the International Conference on Evapotranspiration and Irrigation Scheduling, San Antonio, USA*, p. 147±157, 1996.

THOMPSON, E.S. Computation of solar radiation from sky cover. *Water Resources Research* 12, p. 859±865, 1976.

XU, C. Y.; HALLDIN, S.; GONG, L.; CHEN, D.; CHEN, Y. D. Sensitivity of the Penman-Monteith reference evapotranspiration to key climatic variables in the Changjiang (Yangtze River)