

# EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA COM BASE NOS DADOS DE TEMPERATURA PARA MINAS GERAIS

RAFAEL ALDIGHIERI MORAES<sup>1</sup>, GILBERTO CHOHAKU SEDIYAMA<sup>2</sup>, ARISTIDES RIBEIRO<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Engenheiro Agrícola, D. Sc., Pós-Graduando, Depto. de Engenharia Agrícola, Faculdade de Engenharia Agrícola, UNICAMP/Campinas – SP, e-mail: [rafagricola@gmail.com](mailto:rafagricola@gmail.com).

<sup>2</sup> Engenheiro Agrônomo, Prof. Titular Ph.D, Depto. de Engenharia Agrícola, UFV/Viçosa - MG

<sup>2</sup> Engenheiro Agrônomo, Prof. Titular Ph.D, Depto. de Engenharia Agrícola, UFV/Viçosa - MG

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

**RESUMO:** A evapotranspiração (ET) é um processo muito importante do ponto de vista agrometeorológico, sendo de valor fundamental no manejo da água. O método dado como padrão para estimar a ET de referência (ET<sub>o</sub>) é o Penman-Monteith FAO 1998 (PM-FAO). Este método necessita de dados de radiação solar, umidade do ar, temperatura e velocidade do vento, obtidos em estações automáticas ou convencionais. De modo a simplificar a obtenção da ET por PM-FAO, foi proposto estimar os dados de entrada apenas com a temperatura máxima e mínima, com o uso de modelos devidamente calibrados e testados. Foram estudadas 12 cidades em Minas Gerais, com dados meteorológicos fornecidos pelo INMET para o ano de 2007. Para a estimativa da radiação solar global foram utilizados os modelos Bristow e Campbell (BC), 1984, Donatelli e Campbell (DC), 1998 e Donatelli e Bellochi (DB), 2001, e para estimativa do déficit de pressão de vapor o DPV-1. A estimativa da ET apresentou resultados satisfatórios, com r acima de 0,85 e índice d acima de 0,90.

**PALAVRAS-CHAVE:** manejo de água, energia.

## REFERENCE EVAPOTRANSPIRATION BASED ON AIR TEMPERATURE DATA FOR THE STATE OF MINAS GERAIS

**ABSTRACT:** The evapotranspiration (ET) is a fundamental parameter in water management in various sectors. Currently, the standard method recommended for estimating the reference evapotranspiration (ET<sub>o</sub>) is the Penman-Monteith FAO 1998 (FAO-PM). The method needs data from solar radiation, air humidity, temperature and wind speed, from automatic or conventional climatological stations. In order to simplify the daily ET<sub>o</sub> estimates, it was proposed to use the maximum and minimum temperatures as input data properly calibrated and tested. It was studied 12 locations in the state of Minas Gerais, with meteorological data provided by INMET for the year of 2007. To estimate the solar radiation on the surface, the Bristow and Campbell (BC - 1984), Donatelli and Campbell (DC - 1998) and Donatelli and Bellochi (DB - 2001) models were used. To estimate the vapor pressure deficit (DPV), the DPV equation was adapted. The estimated evapotranspiration rates showed satisfactory results, with r over 0.85 and d index over 0.90.

**KEYWORDS:** water management, energy.

**INTRODUÇÃO:** A evapotranspiração indica a perda de água pela vegetação e pela superfície do solo. A quantificação desse processo vem sendo estudada com diversos objetivos: classificações climáticas, quantificação das disponibilidades hídricas de regiões por intermédio da comparação com a precipitação, estimativa da quantidade de água necessária para irrigação e ainda, racionalização das regas de acordo com as exigências das culturas nos diferentes estádios fenológicos (LIMA, 1991). A evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>), segundo ALLEN et al. (1998), é a evapotranspiração de uma cultura hipotética que cobre todo o solo, em crescimento ativo, sem restrição hídrica nem nutricional mais importante é a radiação solar, que é a fonte de energia para a ocorrência do processo. Um modo aproximado de se estimar a radiação global é utilizando a temperatura máxima e mínima, baseado fisicamente na cobertura de nuvens. Assim, o objetivo deste trabalho foi estimar a radiação solar, o déficit de pressão de vapor e a evapotranspiração de referência a partir de dados de temperatura máxima e mínima.

**MATERIAL E MÉTODOS:** A região do presente estudo abrange o estado de Minas Gerais, utilizando dados de estações meteorológicas automáticas do INMET em 12 cidades (Carangola, Contagem, Formiga, Monte Verde, Montes Claros, Muriaé, Ouro Branco, Passos, Serra dos Aimorés, Timóteo, Varginha e Viçosa) para o ano de 2007, conforme Figura 1. Foram utilizados dados diários de temperatura máxima (T<sub>máx</sub>), temperatura mínima (T<sub>mín</sub>), umidade relativa (UR), velocidade do vento e radiação solar global (R<sub>g</sub>).

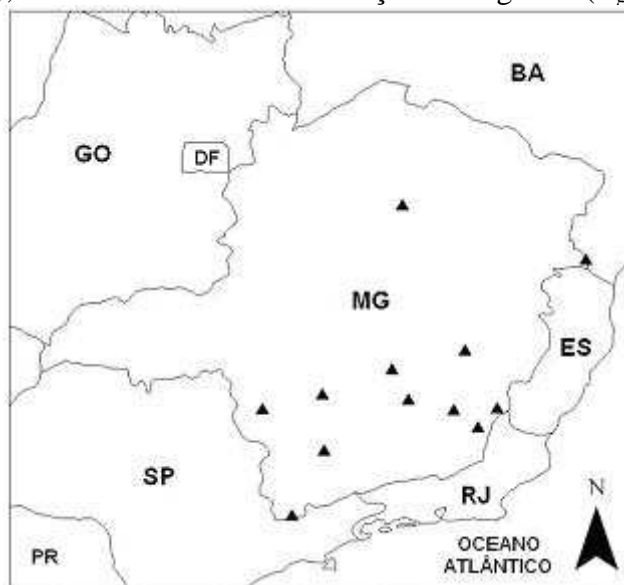


Figura 1 - Localização geográfica das estações automáticas do INMET no estado de Minas Gerais utilizadas neste trabalho, representadas por triângulos preenchidos.

A obtenção da radiação solar global (R<sub>g</sub>) a partir de dados de temperatura máxima e mínima foram a partir dos seguintes modelos: BRISTOW e CAMPBELL (1984), DONATELLI e CAMPBELL (1998) e DONATELLI e BELLOCCHI (2001).

SAVAGE et al. (2008) citam os modelos utilizados para a obtenção da radiação global, sendo:

$$R_g = tt_i R_a \quad \text{Eq. 1}$$

em que, R<sub>g</sub> (MJ m<sup>-2</sup>) é a radiação global, R<sub>a</sub> (MJ m<sup>-2</sup>) a radiação no topo da atmosfera e tt<sub>i</sub> o coeficiente do respectivo modelo utilizado, conforme citado anteriormente. Já o déficit de pressão de vapor foi utilizado um modelo de estimativa analisado por DELGADO (2007),

segundo CASTELLVÍ (1996), e o que melhor representou os dados observados na presente análise foi o método DPV, apresentado a seguir:

$$DPV = \frac{e_s(T_{\max}) + e_s(T_{\min})}{2} - e_s(T_{po}) \quad \text{Eq. 2}$$

em que,  $e_s(T_{\max})$  é o valor da pressão de vapor de saturação à temperatura máxima (kPa),  $e_s(T_{\min})$  é o valor da pressão de vapor de saturação à temperatura mínima (kPa) e  $e_s(T_{po})$  é o valor da pressão de vapor de saturação à temperatura no ponto de orvalho (kPa). A partir dos dados de  $R_g$  e  $DPV_1$ , obtidos a partir da  $T_{\max}$  e  $T_{\min}$ , estimou-se segundo ALLEN et al. (1998), o saldo de radiação ( $R_n$ ). Este saldo é estimado a partir da soma do balanço de ondas curtas com o balanço de ondas longas. LIMA (2005) estimou a evapotranspiração de referência para o estado de Minas Gerais utilizando apenas  $T_{\min}$  e  $T_{\max}$  e fixou valores de velocidade do vento com 1, 2, 3, 4 e 5 m/s. Após comparar com dados observados, a evapotranspiração que melhor correlacionou foi utilizando a velocidade do vento de 2 m/s. Assim, a velocidade do vento neste trabalho foi fixada em 2 m/s. A evapotranspiração de referência (ET<sub>0</sub>) foi estimada com base em dados diários a partir da equação a seguir (ALLEN et al., 1998):

$$ET_0 = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34u_2)} \quad \text{Eq. 3}$$

em que, ET<sub>0</sub> é a evapotranspiração diária (mm d<sup>-1</sup>), T é a temperatura média do período (°C), ( $e_s - e_a$ ) o déficit de pressão de vapor (kPa),  $\Delta$  é a declividade da curva de pressão de saturação do vapor de água (kPa °C<sup>-1</sup>),  $R_n$  o saldo de radiação (MJ m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>), G o fluxo de calor no solo (MJ m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>),  $\gamma$  o coeficiente psicrométrico (kPa °C<sup>-1</sup>) e  $u_2$  a velocidade do vento a 2 m de altura (m s<sup>-1</sup>). Assim, equação anterior, dada como padrão para obtenção da ET<sub>0</sub>, foi utilizada para fornecer a evapotranspiração estimada a partir de dados de  $T_{\max}$  e  $T_{\min}$  e a partir de dados observados em estações meteorológicas. Para a avaliação da estimativa da ET<sub>0</sub> foram utilizados os índices de concordância de Willmott (d), a correlação de Pearson (r), o viés médio (MBE) e a média dos erros absolutos (MAE).

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** A avaliação da evapotranspiração de referência FAO-56, obtidos a partir da temperatura máxima e mínima do ar em base diária ( $T_{\max}$ ,  $T_{\min}$ ) com a utilização dos modelos de estimativa de radiação global [Bristow-Campbell (BC), Campbell-Donatelli (CD), e Donatelli-Bellochi (DB)] e déficit de pressão de vapor (Delgado, 2007) em 12 locais para o ano de 2007 no estado de Minas Gerais, foi feita utilizando o índice d de Willmott, o coeficiente de correlação de Pearson (r), o Erro Absoluto Médio (MAE) e o Viés Médio (MBE). A estimativa da evapotranspiração apresentou resultados satisfatórios, com r acima de 0,85, índice d acima de 0,90 e erro na estimativa de no máximo 1,05 mm. Apresenta-se, na tabela 1, o resultado da análise para as cidades de Muriaé e Viçosa, obtidos para cada modelo de estimativa da radiação solar.

Tabela 1 - Avaliação da evapotranspiração de referência (FAO-56) obtidos a partir da temperatura máxima e mínima do ar em base diária ( $T_{\max}$ ,  $T_{\min}$ ) com a utilização dos modelos de estimativa de radiação global [Bristow-Campbell (BC), Campbell-Donatelli (CD), e Donatelli-Bellochi (DB)] e Déficit de pressão de vapor (Delgado, 2007) em 12 locais para o ano de 2007 utilizando o índice d de Willmott, o coeficiente de correlação de Pearson (r), o Erro Absoluto Médio (MAE) e o Viés Médio (MBE).

Locais	Modelo	r	d	MAE	MBE
Muriaé	ET <sub>0BC</sub>	0.907	0.948	0,44	-0,15
	ET <sub>0CD</sub>	0.915	0.952	0,42	-0,15

	ET <sub>ODB</sub>	0.901	0.944	0,45	-0,16
	ET <sub>BC</sub>	0.849	0.872	0,61	-0,50
Viçosa	ET <sub>CD</sub>	0.840	0.869	0,61	-0,48
	ET <sub>ODB</sub>	0.850	0.868	0,60	-0,51

**CONCLUSÕES:** Conclui-se com este trabalho que é possível a obtenção da evapotranspiração de referência a partir apenas da temperatura máxima e mínima, utilizando a equação de Penman-Monteith padrão FAO (1998). Esta estimativa, apesar de possuir dois elementos meteorológicos, baseia-se em uma equação que descreve a física do processo evapotranspirativo.

**AGRADECIMENTOS:** Agradecimento à agência de fomento à pesquisa, FAPEMIG, pelo apoio financeiro e ao Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa.

#### **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:**

- ALLEN, R.G., PEREIRA, L.S., RAES, D., SMITH, M. **Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements.** Rome: FAO, 1998. 300 p. (FAO – Irrigation and Drainage Paper, 56).
- CASTELLVÍ, F., PEREZ, J. M., ROSELL, J. I. Analysis of methods for estimating vapor pressure deficits and relative humidity. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 82, p. 29-45, 1996.
- DONATELLI, M., BELLOCCHI, G. New methods to estimate global solar radiation. In: Proc. Int. Crop Sci. Conf., 3rd, Hamburg, Germany. Eur. Soc. for Agron., Hamburg, p. 186, p. 17-22, 2000.
- DELGADO, R. C. **Avaliação de modelos físico-matemáticos para estimativa da umidade relativa do ar e déficit de pressão de vapor a partir de dados de temperatura do ar.** 2007. 89f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.
- LIMA, E. P. **Evapotranspiração de referência de Penman-Monteith, padrão FAO (1998), a partir de dados de temperaturas máxima e mínima de Minas Gerais.** 2005. 67f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.
- LIMA, S. F. F. **Comparação de Métodos de Estimativa de Evapotranspiração Potencial para o Município de Ribeirão Preto-SP.** 1991. 69f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, SP.
- SAVAGE, M. J., ABRAHA, M. G. Comparison of estimates of daily solar radiation from air temperature range for application in crop simulations. **Agricultural and Forest Meteorology**, South Africa, v. 148, p. 401-416, 2008.
- WILLMOTT, C. J. On the validation of models. **Physycal Geography**, v.2, p. 184-194, 1981.
- WILLMOTT, C. J., MATSUURA, K. Advantages of the mean absolute error (MAE) over the root mean square error (RMSE) in assessing average model performance. **Climate Research**, v. 30, p. 79-82, 2005.