

# ANÁLISE DA ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA DIÁRIA PARA A REGIÃO DE MONTES CLAROS-MG

E.C. OLIVEIRA<sup>1</sup>, M.AV. SILVA<sup>2</sup>

**RESUMO:** O presente trabalho teve como objetivo avaliar sete equações empíricas para estimativa da evapotranspiração de referência em comparação ao método universal padrão Penman-Monteith FAO 56 para as condições climáticas do município de Montes Claros, nas regiões Norte do Estado de Minas Gerais. Foram utilizadas as variáveis climáticas referentes ao ano de 2006 obtidas via estações automatizadas de dados do SIMGE. Para comparar os valores de ETo estimados por meio das equações empíricas com os do método universal padrão Penman-Monteith (FAO56) foram considerados os coeficiente de determinação ( $r^2$ ), coeficiente de correlação ( $r$ ), índice de concordância ( $d$ ) e índice de confiança ou desempenho ( $c$ ). Para as condições climáticas de onde se realizou o trabalho, os melhores métodos pela ordem foram: Penman 63 (Pen), FAO-Penman corrigido (24Pn), FAO-Blaney-Criddle (24BC), Makkink (Makk), Priestley-Taylor (Tylr). **PALAVRAS-CHAVE:** Evapotranspiração de referência, comparação entre métodos

## ANALYSIS OF THE ESTIMATED DAILY REFERENCE EVAPOTRANSPIRATION IN THE REGION OF MONTES CLAROS, MG

**ABSTRACT:** The aim of this work was to evaluate seven empirical equations for the estimated of the reference evapotranspiration in comparison to Penman-Monteith FAO 56 universal standard method for the climate conditions from Montes Claros city, in the North regions of Minas Gerais. The climate variables used were from 2006 obtained from data automated stations of SIMGE. To make a comparison between the values of ETo estimated by the empirical equations and the universal standard method Penman-Monteith (FAO 56) it was considered the determination coefficient ( $r^2$ ), correlation coefficient ( $r$ ), the agreement index ( $d$ ), confidence or performance index ( $c$ ). For the climatic conditions of where the work was done, the best methods were: Penman 63 (Pen), FAO-Penman corrigido (24Pn), FAO-Blaney-Criddle (24BC), Makkink (Makk), Priestley-Taylor (Tylr). **KEY WORDS:** Reference evapotranspiration, comparison of methods

## INTRODUÇÃO

Uma das análises climáticas de fundamental importância visando o manejo de irrigação se refere à estimativa da evapotranspiração de referência, uma vez que uma medida direta da demanda evapotranspirométrica é extremamente difícil e onerosa. Tal dificuldade se evidencia pois exige instalações e equipamentos especiais, e torna-se onerosa porque as estruturas são de alto custo, justificando-se apenas em condições experimentais (PEREIRA et al., 1997).

---

<sup>1</sup>Pós-Graduando em Meteorologia agrícola, Universidade Federal de Viçosa, DEA, Campus Universitário, Viçosa, MG, CP 36570-000. Telef. (31) 3899-1901, e-mail: evandro.chaves@ufv.br

<sup>2</sup>Prof. UNEB, Doutorando em Meteorologia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, DEA, Campus Universitário, Viçosa, MG.

O cálculo diário da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) é a base para se determinar o valor da lâmina de irrigação a ser aplicada. O método de Penman-Monteith-FAO é considerado padrão para o cálculo de ET<sub>o</sub> (SEDIYAMA, 1996; ALLEN et al., 1998) e, para a sua utilização, são empregados dados de temperatura e umidade relativa do ar, radiação solar e velocidade do vento. Os produtores rurais, contudo, nem sempre dispõem desses dados, sendo necessária a utilização de métodos mais simples para o cálculo de ET<sub>o</sub>, com um menor erro de estimativa.

Este trabalho teve por objetivo avaliar sete métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (Penman 63, FAO-Penman corrigido, FAO-Radiação, FAO-Blaney-Criddle, Hargreaves e Samani, Priestley-Taylor e Makkink), comparando-os com o método de Penman-Monteith, recomendado pela Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura (FAO) como método padrão para estimativa da ET<sub>o</sub>, para Montes Claros, MG.

## METODOLOGIA

Os dados meteorológicos foram obtidos em uma Estação Meteorológica automática do Sistema de Meteorologia e Recursos Hídricos de Minas Gerais (SIMGE), em Montes Claros-MG, cujas coordenadas geográficas são: 16.75° de latitude Sul, 43.78° de longitude Oeste e altitude de 701m. A estação armazenou a cada 5 minutos as seguintes variáveis meteorológicas: temperaturas máxima e mínima absolutas diárias, em graus celsius; umidade relativa do ar média diária, em %; velocidade do vento média diária em m/s; radiação solar acumulada diária, em MJ/m<sup>2</sup>, e total de precipitação diária, em mm, para o ano de 2006.

Para a estimativa da evapotranspiração de referência utilizou-se o programa *Reference Evapotranspiration Calculator* (REF-ET) (Allen, 2000). O programa estima a demanda evapotranspirométrica de referência pelos métodos: Penman-Monthieith (56PM), Penman 63 (Pen), FAO-Penman corrigido (24Pn), FAO-Radiação (24Rd), FAO-Blaney-Criddle (24BC), Hargreaves e Samani (Harg), Priestley-Taylor (Tylr) e Makkink (Makk). Sendo que o método de Penman-Monteith, considerado padrão, é o modelo recomendado pela FAO e apresentado no Boletim 56 da FAO (Tabela 1). Os testes utilizados nesta comparação foram: coeficientes de determinação (r<sup>2</sup>), e de correlação (r); índice de concordância (d) de WILLMOTT et al. (1985):

$$r_{X,Y} = \frac{Cov(X,Y)}{S_X \cdot S_Y} \quad \text{e} \quad d = 1 - \left[ \frac{\sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^N (|P'_i| + |O'_i|)^2} \right]$$

onde: X= valor da variável estimada por PM56; Y= valor da variável estimada pelos demais métodos; N= numero de observações; PI= valor da ETo estimado pelos demais métodos; Oi = valor estimado padrão (PM56),  $p_i = P_i - M$  e  $O_i = O_i - M$ , sendo M a média da variável estimada pelo PM56. Quanto mais próximo da unidade, melhor a concordância entre duas variáveis comparadas e vice-versa. Foi utilizado o índice “c”, para indicar o desempenho dos métodos, reunindo os índices de precisão “r” e de exatidão “d”, sendo expresso da seguinte forma (CAMARGO e SENTELHAS, 1997):

$$c = r * d$$

Tabela 1. Equações utilizadas para estimativa da ETo.

Método	Equação
Penman-Monteith (56PM)	$ET_o = \frac{0.408s(Rn - G) + \gamma \left( \frac{900}{T_{med} + 273} \right) U_2 (e_s - e_a)}{s + \gamma (1 + 0.34 U_2)}$
Penman 63 (Pen),	$ET_o = \left( Rn \frac{S}{S + \gamma} \right) + \left( \frac{\gamma}{S + \gamma} \right) Ea$
FAO-Penman corrigido (24Pn),	$ET_o = -0,3 + CWRs$
FAO-Radiação (24Rd),	$ET_o = c [W.Rn + (1 - w).f(U).(e_s - e_a)]$
FAO-Blaney-Criddle (24BC),	$ET_o = c [p(0,46.T_{med} + 8)]$
Hargreaves e Samani (Harg)	$ET_o = 0,0023(T_{max} - T_{min})^{0,5} . (T_{med} + 17,8) Ra$
Priestley-Taylor (Tylr)	$ET_o = \alpha \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} (Rn + G)$
Makkink (Makk)	$ET_o = RS \left( \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \right) + 0,12$

ETo = evapotranspiração de referencia em mm/dia;  $\alpha$  = fator de ajustamento ao termo advectivo (varia entre 1,26 a 1,35);  $\Delta$  = declividade da curva de saturação de vapor;  $\gamma$  = coeficiente psicrométrico; Rn = saldo de radiação; G = fluxo do calor do solo; RS = radiação solar convertida em unidades de água evaporada, mm;  $e_s$  = pressão de saturação;  $e_a$  = pressão atual de vapor;  $(S/S+\gamma)$  = função da temperatura do ar e do coeficiente psicrométrico; Ea= termo aerodinâmico; Tmax= temperatura máxima; Tmin=Temperatura mínima; Tmed= Temperatura média; Ra = radiação extraterrestre; U<sub>2</sub>= velocidade do vento a 2.0m; C= fator de calibração dependente da umidade realtiva do ar e da velocidade média do vento; W= fator de ponderação, que varia em função da temperatura do ar e do coeficiente psicrométrico; Rs = Radiação solar global; c= fator de correção que depende do valor mínimo da umidade relativa diária, horas de brilho solar e da velocidade do vento; e p= percentagem de horas de luz solar real em relação ao total anual para um dado mês e latitude.

## RESULTADOS E DISCUSSAO

A Figura 1 apresenta a variação da ETo estimada pelos métodos estudados, ao longo do ano, para a região de Montes Claros, MG. Observa-se um comportamento semelhante nas ETo estimadas pelas diferentes metodologias, com um decréscimo da ETo nos meses de abril, maio e junho e uma elevação a partir do mês de agosto.

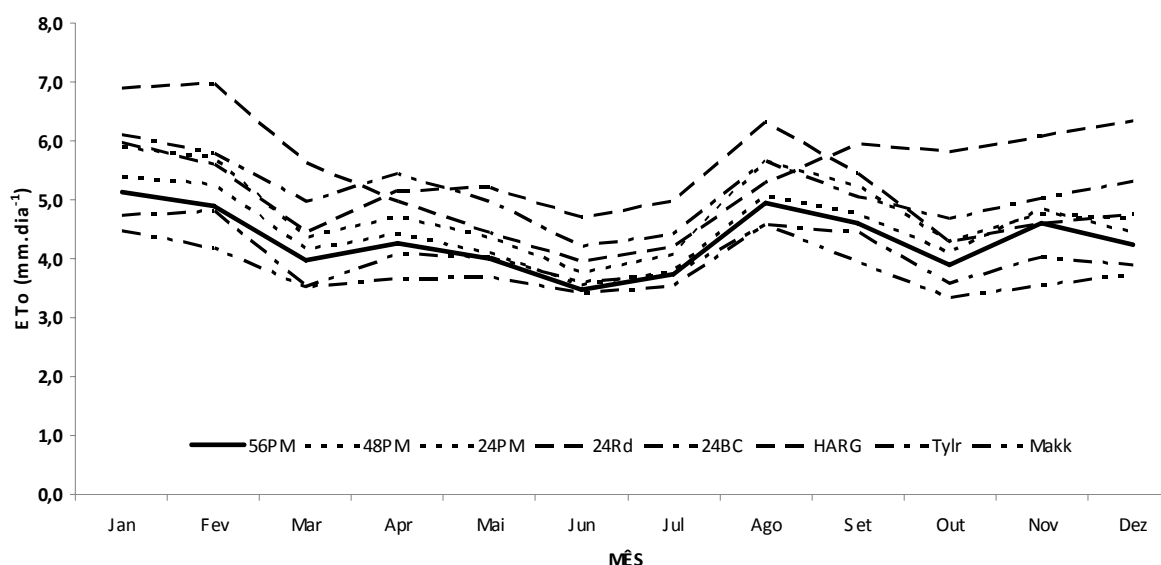


Figura 1. Média mensal da evapotranspiração de referência (ETo), em mm dia-1, estimados segundo o método de Penman-Montheith (56PM), Penman 63 (Pen), FAO-Penman corrigido (24Pn), FAO-Radiação (24Rd), FAO-Blaney-Criddle (24BC), Hargreaves e Samani (Harg), Priestley-Taylor (Tylr) e Makkink (Makk), para a região de Montes Claros - MG, para o ano de 2006.

As relações entre 56PM e Pen, 56PM e 24Pn, 56PM e 24Rd, 56PM e 24BC, 56PM e Harg, 56PM e Tylr, 56PM e Makk estão apresentadas nas Figuras 2a, 2b, 2c, 2d, 2e, 2f e 2g, respectivamente. Verifica-se que os coeficientes angulares das retas de regressão, aproximaram-se de 1,0, significando que os métodos Penman 63 (Pen), FAO-Penman corrigido (24Pn), FAO-radiação (24Rd), FAO-Blaney-Criddle (24BC), Priestley-Taylor (Tylr) e Makkink (Makk), apresentaram boa acurácia, o mesmo não ocorrendo com Hargreaves e Samani que não apresenta ajuste satisfatório. Os valores de  $r^2$ , contudo, demonstraram que o método de Penman 63 (Pen) e Hargreaves-Samani apresentaram a maior e menor precisão com valores iguais a 0,97 e 0,38, respectivamente.

Na Tabela 2 encontram-se o índice de concordância (d), coeficiente de correlação (r), índice de confiança ou desempenho (c) e valores da ETo média diária, para o de 2006, para a região de Montes Claros. Por meio dos resultados obtidos, em escala diária, todas os métodos estudados apresentaram altos índices de precisão “r”, de desempenho “c”, índice de concordância “d” próximo da unidade, caracterizando concordância quase perfeita, exceto para os métodos de Hargreaves e Samani ( $r=0,42$  e  $c=0,36$ ) e FAO-Radiação ( $c=0,69$ ), consenquenciando em desempenho não satisfatório. Portanto as demais metodologias de estimativa poderão ser utilizadas no cálculo da ETo para as condições climáticas onde foi conduzido o trabalho, ajustadas ao padrão PM FAO 56.

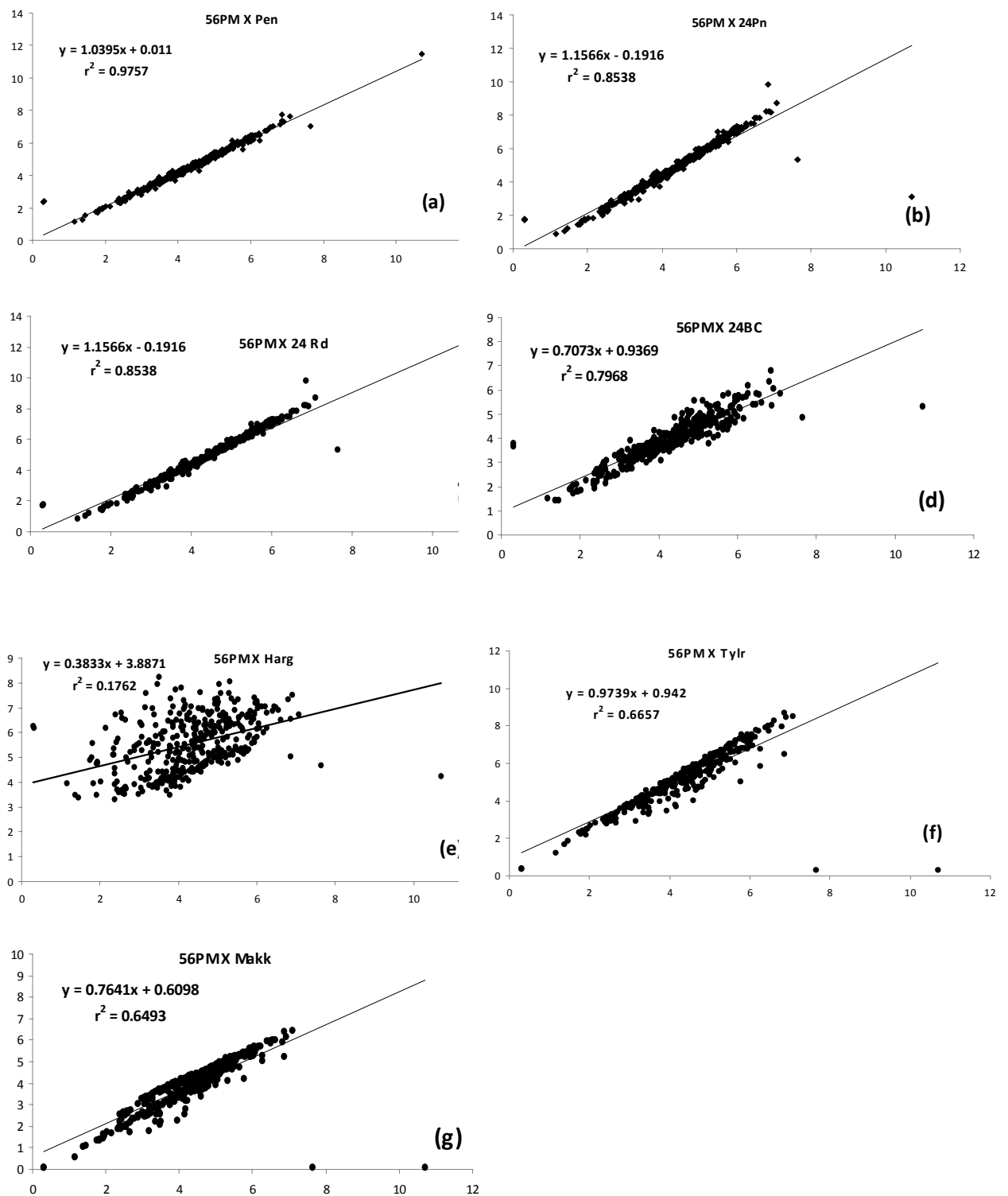


Figura 2. Regressão linear entre valores diários da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>), em mm dia<sup>-1</sup>, estimados segundo o método de Penman-Monteith (56PM), em relação ao método de Penman 63 (Pen), FAO-Penman corrigido (24Pn), FAO-Radiação (24Rd), FAO-Blaney-Criddle (24BC), Hargreaves e Samani (Harg), Priestley-Taylor (Tylr) e Makkink (Makk), para a região de Montes Claros – MG, para o ano de 2006.

Tabela 2. Índice de concordância (d), coeficiente de correlação (r) e índice de confiança (c) para valores diários de evapotranspiração de referência calculada pelos métodos de estimativa Penman 63 (Pen), FAO-Penman corrigido (24Pn), FAO-Radiação (24Rd), FAO-Blaney-Criddle (24BC), Hargreaves e Samani (Harg), Priestley-Taylor (Tylr) e Makkink (Makk) comparados com o método de Penman-Monteith (56PM), para a região de Montes Claros – MG, para o ano de 2006.

MODELO EMPIRICO	Média mm.dia <sup>-1</sup>	d	r	c	Desempenho
56PM	4.30				
Pen	4.48	0.94	0.99	0.93	Ótimo
24Pn	4.78	0.87	0.92	0.80	Muito bom
24Rd	5.12	0.85	0.81	0.69	Regular
24BC	3.98	0.90	0.89	0.80	Muito bom
Harg	5.54	0.86	0.42	0.36	Ruim
Tylr	5.14	0.86	0.82	0.71	Bom
Makk	3.90	0.90	0.80	0.72	Bom

## CONCLUSÃO

Os resultados obtidos permitem concluir que os melhores métodos de estimativa da ETo em comparação ao PM, para a região de Montes Claros, podem ser classificados em ordem decrescente da seguinte maneira: Penman 63 (Pen), FAO-Penman corrigido (24Pn), FAO-Blaney-Criddle (24BC), Makkink (Makk), Priestley-Taylor (Tylr). O desempenho desses métodos variaram entre bom e ótimo. Essa inferência é importante pois da flexibilidade de calculo em função das variáveis climáticas disponíveis na propriedade.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEN R.G.; PEREIRA, L.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. Rome: FAO, 1998. (FAO:Irrigation and Drainage Paper, 56).
- ALLEN, R.G. **REF-ET Reference Evapotranspiration Software**. Kimberly:University of Idaho 2000. Disponível em: <http://www.kimberly.uidaho.edu/ref-et/>. Acesso em 14 de abril de 2009.
- CAMARGO, A.P.; SENTELHAS, P.C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 5, n. 1, p.89-97, 1997.
- PEREIRA, A.R.; VILLA NOVA, N.A.; SEDYAMA, G.C. Evapo(transpi)ração. Piracicaba: FEALQ, 1997.183p.
- SEDIYAMA, G.C. Estimativa da evapotranspiração: histórico, evolução e análise crítica. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.4, n.1, p.i-xii, 1996.
- WILLMOTT, C. J.; AKLESON, G. S.; DAVIS, R. E.; FEDDEMA, J. J.;KLINK, K. M.; LEGATES, D. R.; O'DONNELL, J.; ROWE, C. M. Statistic for the evaluation and comparison of models. **Journal of Geophysical Research**, v.90, p.8995-9005, 1985.