

# ANÁLISE DA ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA DIÁRIA PARA A REGIÃO DE SÃO MATEUS-ES

Evandro Chaves de Oliveira<sup>1</sup>; Leonardo de Oliveira Neves<sup>2</sup>; Marcos Antônio Vanderlei Silva<sup>3</sup>; Paulo Henrique Gonçalves<sup>4</sup>; Leonardo José Gonçalves Aguiar<sup>5</sup>; Douglas da Silva Lindemann<sup>6</sup>; Rafael Ávila Rodrigues<sup>7</sup>; Felipi Tiago Lozano de Lacerda<sup>8</sup>; Mauricio Paulo Rodrigues<sup>9</sup>;

<sup>1</sup>Meteorologista, Doutorando em Meteorologia Agrícola, DEA, UFV, Professor, Instituto Federal do Espírito Santo, IFES, Campus Itapina – ES, Fone: (0xx27) 3723 1200, evandro.oliveira@ifes.edu.br;

<sup>2</sup>Meteorologista, Professor, Instituto Federal Catarinense – Campus Rio do Sul – IFC;

<sup>3</sup>Eng. Agrônomo, Prof. Adjunto, UNEB, Barreiras – BA;

<sup>4</sup>Meteorologista, Doutorando em Meteorologia Agrícola, DEA, UFV;

<sup>5</sup>Matemático, Doutorando em Meteorologia Agrícola, DEA, UFV;

<sup>6</sup>Meteorologista, Mestrando em Meteorologia Agrícola, DEA, UFV;

<sup>7</sup>Geógrafo, Doutorando em Meteorologia Agrícola, DEA, UFV;

<sup>8</sup>Graduando em Agronomia, Instituto Federal do Espírito Santo, IFES.

<sup>9</sup>Graduando em Física, Universidade Federal de Viçosa, UFV.

Apresentado no XVII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia  
18 a 21 de julho de 2011

**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 São Mateus, na região Norte do Estado de Espírito Santo. Foram utilizadas as variáveis climáticas referentes ao ano de 2009 obtidas via estações automatizadas de dados do INMET. 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-Blaney-Criddle (24BC), Priestley-Taylor (Tylr), FAO-Radiação (24Rd), FAO-Penman corrigido (24Pn), Makkink (Makk) e Hargreaves e Samani (Harg).

**PALAVRAS-CHAVE:** Evapotranspiração de referência, comparação entre métodos

## ANALYSIS OF THE ESTIMATED DAILY REFERENCE EVAPOTRANSPIRATION IN THE REGION OF SÃO MATEUS-ES

**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 region of Espírito Santo. The climate variables used were from 2009 obtained from data automated stations of INMET. 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-Blaney-Criddle (24BC), Priestley-Taylor (Tylr), FAO-Radiação (24Rd), FAO-Penman corrigido (24Pn), Makkink (Makk) e Hargreaves e Samani (Harg).

**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). 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 São Mateus, ES.

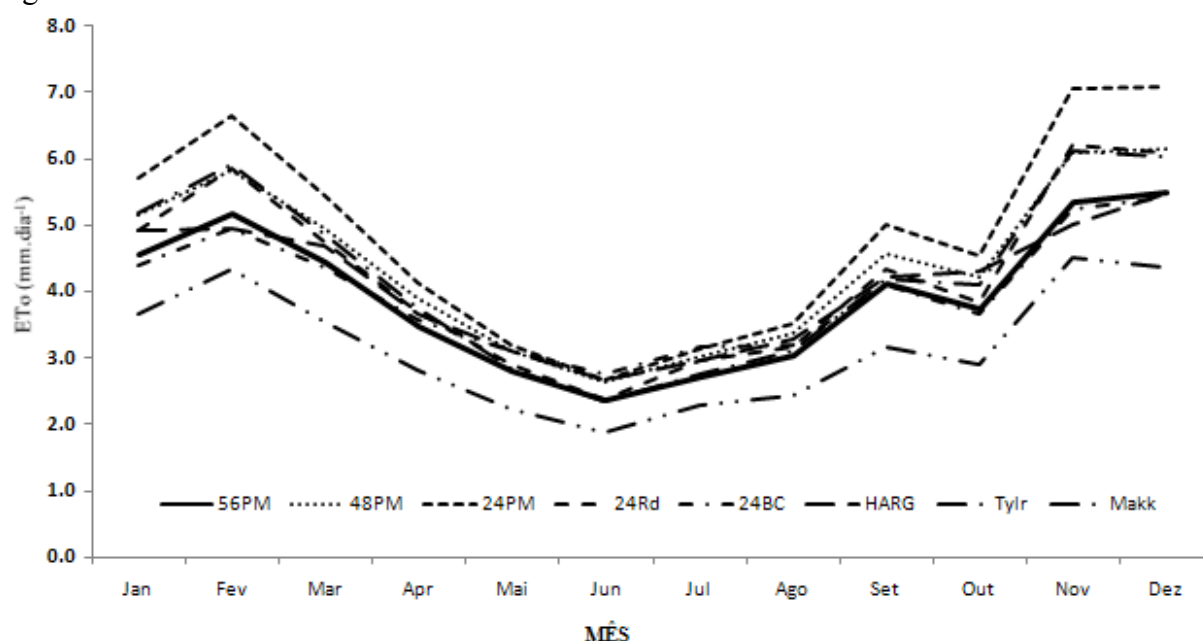
**MATERIAL E MÉTODOS:** Os dados meteorológicos foram obtidos em uma Estação Meteorológica automática do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), em São Mateus, ES, cujas coordenadas geográficas são: 18.96° de latitude Sul, 39.84° de longitude Oeste e altitude de 39 metros. A estação armazenou a cada hora as seguintes variáveis meteorológicas: temperaturas máxima e mínima do ar, em graus celsius; umidade relativa do ar, em %; velocidade do vento em m.s<sup>-1</sup>; radiação solar acumulada, em kJ.m<sup>-2</sup>, e total de precipitação, em mm, para o ano de 2009. 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-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). 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) e o índice “c”, para indicar o desempenho dos métodos (CAMARGO e SENTELHAS, 1997).

Tabela 1. Equações utilizadas para estimativa da ET<sub>o</sub>.

Método	Equação
Penman-Monteith (56PM)	$ET_o = \frac{0.408s(Rn - G) + \gamma \left( \frac{900}{T_{med} + 273} \right) U_2 (e_s - e_a)}{s + \gamma(1 + 0.34U_2)}$
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 referência 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 = pressão de saturação; ea = 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 realativa 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 = porcentagem de horas de luz solar real em relação ao total anual para um dado mês e latitude.

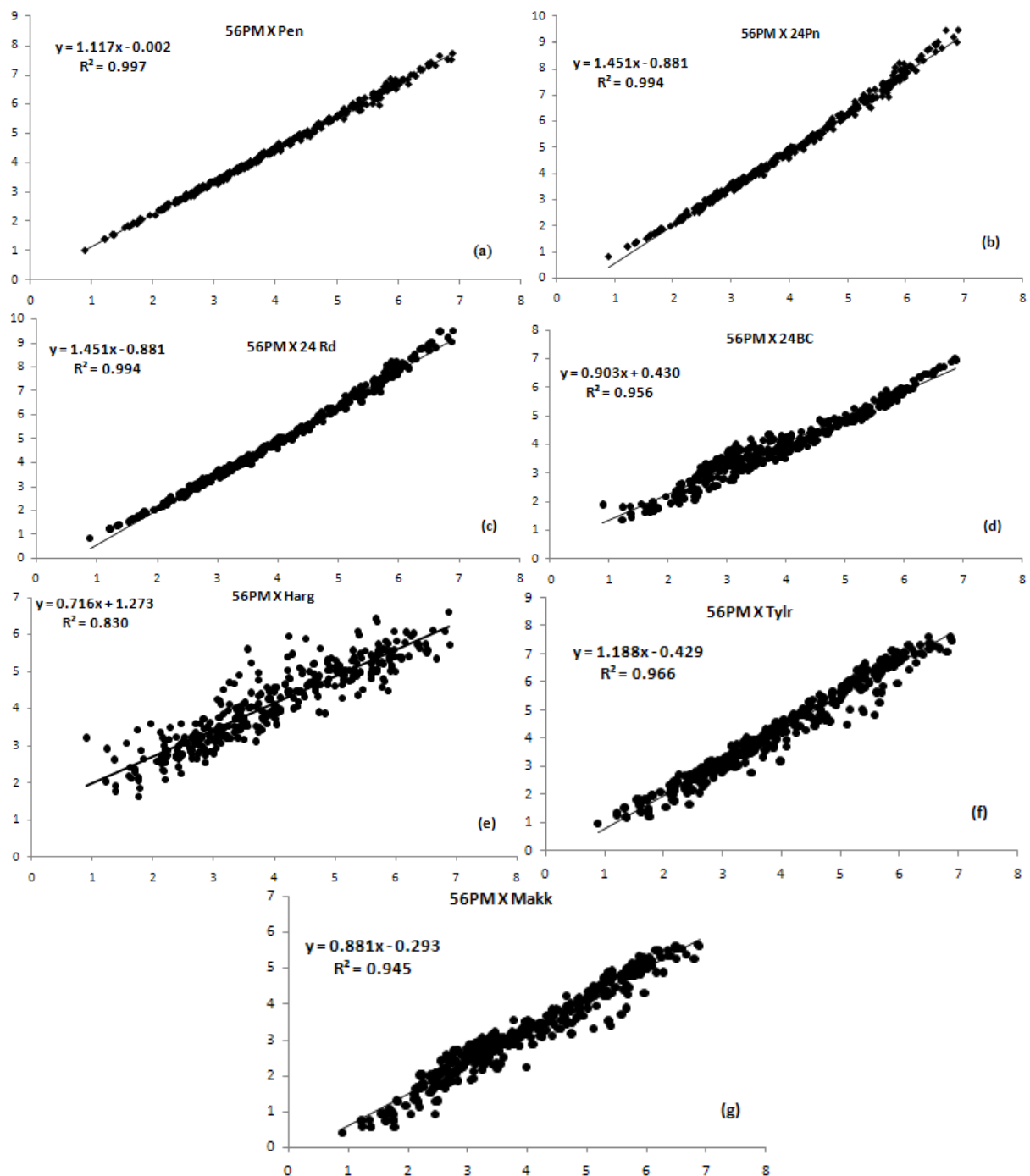
**RESULTADOS E DISCUSSAO:** A Figura 1 apresenta a variação da ETo estimada pelos métodos estudados, ao longo do ano, para a região de São Mateus, ES. Observa-se um comportamento semelhante nas ETo estimadas pelas diferentes metodologias, com um decréscimo da ETo nos meses de abril, maio e junho e uma 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 São Mateus - ES, para o ano de 2009.

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), Hargreaves e Samani (Harg) Priestley-Taylor (Tylr) e Makkink (Makk), apresentaram boa acurácia. 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 0,99 e 0,83, 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 ano de 2009, para a região de São Mateus. Por meio dos resultados obtidos, em escala diária, todos os métodos estudados apresentaram altos índices de precisão “r”, de desempenho “c”, índice de concordância “d” próximo da unidade, caracterizando concordância quase perfeita, consenquenciando em

desempenho satisfatório. Portanto as essas 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 (ETo), em  $\text{mm}\cdot\text{dia}^{-1}$ , 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 São Mateus - ES, para o ano de 2009.

**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 São Mateus - ES, para o ano de 2009.

MODELO EMPIRICO	Média mm.dia <sup>-1</sup>	d	r	c	Desempenho
56PM	3.95				
Pen	4.41	0.97	0.99	0.97	Ótimo
24Pn	4.85	0.90	0.99	0.90	Muito bom
24Rd	4.26	0.96	0.98	0.95	Ótimo
24BC	4.00	0.98	0.99	0.97	Ótimo
Harg	4.10	0.94	0.91	0.85	Muito bom
Tylr	4.26	0.98	0.97	0.96	Ótimo
Makk	3.19	0.97	0.90	0.88	Muito bom

**CONCLUSÕES:** Os resultados obtidos permitem concluir que os melhores métodos de estimativa da ETo em comparação ao 56PM, para a região de São Mateus, podem ser classificados em ordem decrescente da seguinte maneira: Penman 63 (Pen), FAO-Blaney-Criddle (24BC), Priestley-Taylor (Tylr), FAO-Radiação (24Rd), FAO-Penman corrigido (24Pn), Makkink (Makk) e Hargreaves e Samani (Harg). O desempenho desses métodos variou entre muito bom e ótimo. Essa inferência é de importância, pois dá uma flexibilidade de cálculo em função das variáveis climáticas disponíveis na propriedade.

## REFERENCIAS 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. **Jounal of Geophysical Research**, v.90, p.8995-9005, 1985.