

FAO-17 PENMAN: ESTIMATIVA DA ET_0 E COMPARAÇÃO COM O MÉTODO DE PENMAN-MONTEITH FAO 56

Glaucio L. Araujo¹, Leonardo C. Lacerda², Camila Aparecida da S. Martins³, Rogério R. Rodrigues¹, Aline A. Nazário³, Venilton Santos³, Edvaldo F. dos Reis¹

¹Universidade Federal do Espírito Santo /Departamento de Engenharia Rural, Alto Universitário Centro 29500-000 - Alegre, ES - Brasil – Caixa Postal: 16, glaucio_araujo@yahoo.com.br; rogeriorr7@hotmail.com; edreis@cca.ufes.br

²Universidade Federal do Espírito Santo/Centro de Ciências Agrárias/Departamento de Engenharia Florestal, Alto Universitário Centro 29500-000 - Alegre, ES - Brasil – Caixa Postal: 16, leocassani@hotmail.com

³Universidade Federal do Espírito Santo/Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, Alto Universitário s/nº, Alegre-ES, CEP: 29.500-000, Caixa Postal 16, camila.cca@hotmail.com; aline.a.n@hotmail.com; vsantos50@gmail.com

Resumo- A evapotranspiração pode ser definida como a quantidade de água evaporada e transpirada de uma superfície vegetada durante determinado período de tempo. A evapotranspiração de referência pode ser estimada por diversos métodos, sendo o método de Penman-Monteith-FAO 56, considerado o método padrão de referência. Este trabalho teve o objetivo de comparar o desempenho do método FAO-17 Penman em relação ao método padrão proposto pela FAO, Penman-Monteith-FAO 56, em intervalos de um (1), três (3), cinco (5), sete (7) e dez (10) dias, nas condições climáticas do Município de Alegre-ES. O método de FAO-17-Penman subestimou a ET_0 em 1,71; 1,71; 1,73; 1,71 e 1,73% para os intervalos de 1, 3, 5, 7 e 10 dias, respectivamente.

Palavras-chave: Evapotranspiração de referência, Irrigação, Manejo da irrigação.
Área do Conhecimento: Ciências Agrárias

Introdução

A evapotranspiração de referência (ET_0) pode ser definida como a quantidade de água utilizada por uma superfície vegetada com grama, com altura entre 8 e 15 cm, em crescimento ativo, cobrindo totalmente a superfície do solo e sem restrição hídrica. Assim, a ET_0 é um valor indicativo da demanda evapotranspirativa da atmosfera de um local, em um período, geralmente utilizado para estimar a evapotranspiração potencial da cultura, visando a determinação das necessidades hídricas da cultura durante o manejo da irrigação (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2006).

A ET_0 pode ser obtida por meio de medidas diretas ou por métodos empíricos. As medidas diretas exigem estruturas apropriadas e normalmente são utilizadas em condições de pesquisa. Além disso, existem diversos métodos empíricos que são classificados de acordo com os princípios envolvidos em seu desenvolvimento em: aerodinâmicos, balanço de energia, combinados, entre outros (LIMA et al., 2009).

Assim, em regiões com disponibilidade suficiente de dados climáticos, a estimativa da ET_0 pelo método padrão de referência, Penman-Monteith FAO 56 (ALLEN et al., 1998), que

pondere as diferentes variáveis climáticas, é recomendado. Mas, em condições de manejo da irrigação em locais distantes de estações meteorológicas completas, a utilização de métodos simplificados baseados em dados de temperatura do ar e irradiância solar extraterrestre justifica-se devido a sua fácil utilização e interpretação dos resultados. Neste sentido, em condições que se dispõe de dados de temperatura do ar e irradiância solar extraterrestre, frequentemente se utilizam métodos como FAO-17 Penman (FRERES; POPOV, 1979).

Diante do exposto, este trabalho teve o objetivo de estimar a evapotranspiração de referência pelo método de Priestley-Taylor e comparar os resultados com o método padrão de referência para a estimativa da ET_0 , método de Penman-Monteith FAO 56, em intervalos de 1, 3, 5, 7 e 10 dias nas condições climáticas do Município de Alegre-ES.

Metodologia

Os elementos meteorológicos utilizados para os cálculos da evapotranspiração de referência (ET_0) pelos métodos FAO-17-Penman (FRERES; POPOV, 1979) e de Penman-Monteith FAO 56 (ALLEN et al., 1998) foram coletados durante o

período de 15 de março de 2009 a 14 de março de 2010, por meio de uma estação meteorológica automática pertencente ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), localizada na área experimental do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo situada no Município de Alegre, localizado na região Sul do Estado do Espírito Santo, latitude 20°45'1,16" Sul, longitude 41°29'20,04" Oeste e altitude de 138,0 m. O clima da região é do tipo "Aw" com estação seca no inverno, de acordo com a classificação de Köppen. Os elementos climatológicos coletados a cada hora foram: temperatura do ar: máxima e mínima, umidade relativa do ar: máxima e mínima, radiação solar, precipitação e velocidade do vento a 2 m.

A ET_0 foi estimada por meio dos métodos de Penman-Monteith FAO 56 (ALLEN et al., 1998), que é considerado o padrão de referência e pelo método FAO-17-Penman (FRERES; POPOV, 1979). O método de Penman-Monteith FAO 56 foi utilizado para testar a estimativa de ET_0 obtida pelo método FAO-17-Penman, conforme proposto por Allen et al. (1998). De acordo com Reis et al. (2007) o método padrão apresenta boa estimativa da evapotranspiração para a região em estudo. Os valores de ET_0 foram calculados com uso do aplicativo computacional REF-ET (ALLEN, 2000).

A análise do desempenho do método em estudo foi realizada por meio da comparação dos valores de evapotranspiração obtidos com o método FAO-17 Penman, com os estimados pelo método de Penman-Monteith-FAO 56. A metodologia adotada para comparação dos resultados foi proposta por Allen et al. (1998), e se fundamenta na estimativa do erro-padrão (EEP), calculada pela equação 1.

$$EEP = \left(\frac{\sum (y - \hat{y})^2}{n - 1} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

onde:

- EEP - estimativa do erro-padrão, $mm\ d^{-1}$;
- y - evapotranspiração de referência, $mm\ d^{-1}$;
- \hat{y} - evapotranspiração de referência estimada pelo método a ser testado, $mm\ d^{-1}$; e
- n - número de observações.

A exatidão está relacionada com a aproximação dos valores estimados em relação aos valores observados. A aproximação dos valores de ET_0 estimados pelo método em estudo, em relação aos valores obtidos com o uso do método padrão, foi obtida por meio de um índice designado concordância ou ajuste, representado pela letra "d" (WILLMOTT; CKLESON; DAVIS, 1985), cujos valores variam de zero, onde não

existe concordância, a 1, para a concordância perfeita. O índice de aproximação é calculado com a equação 2.

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^N \left[(|P_i - \bar{O}|) + (|O_i - \bar{O}|) \right]^2} \quad (2)$$

onde:

- d - índice de concordância ou ajuste;
- P_i - evapotranspiração de referência obtida pelo método a ser testado, $mm\ d^{-1}$;
- O_i - evapotranspiração de referência obtida pelo método-padrão, $mm\ d^{-1}$;
- \bar{O} - média dos valores obtidos pelo método-padrão, $mm\ d^{-1}$; e
- N - número de observações.

A precisão foi dada pelo coeficiente de determinação (r^2) que indica o grau em que a regressão explica a soma do quadrado total. Na análise de regressão linear o coeficiente β_1 representa a razão entre a estimativa da evapotranspiração obtida no método em estudo e a evapotranspiração de referência obtida pelo método padrão, quando o β_0 é anulado. O β_1 pode ser calculado de acordo com a equação 3, quando β_0 for igual a zero.

$$\beta_1 = \frac{\sum ET_0 ET_m}{\sum ET_0^2} \quad (3)$$

onde:

- β_1 - coeficiente angular da reta de regressão linear;
- ET_0 - evapotranspiração de referência obtida pelo método padrão, $mm\ d^{-1}$;
- ET_m - evapotranspiração de referência obtida pelo método a ser testado, $mm\ d^{-1}$.

A hierarquização das estimativas da evapotranspiração foi feita com base nos valores de estimativa do erro padrão (EEP), do coeficiente de determinação (r^2), dos coeficientes β_1 , e dos coeficientes de concordância de Willmott; Ckleson; Davis (1985) (d). Sendo que a melhor alternativa foi aquela que apresentou maior r^2 , menor EEP, β_1 próximo da unidade e d mais próximo de 1.

Resultados

Nas Figuras 1 e 2 são apresentadas as variações médias mensais dos principais elementos meteorológicos utilizados para a estimativa ET_0 , durante o período de condução do experimento.

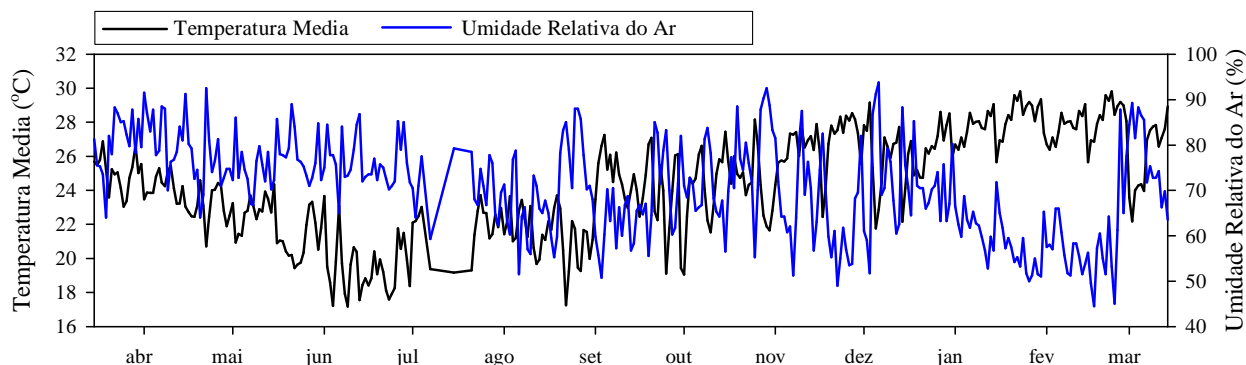


Figura 1 - Variações médias mensais dos elementos meteorológicos, Temperatura média do ar (°C) e Umidade Relativa do ar (%), para o período de março de 2009 a março de 2010.

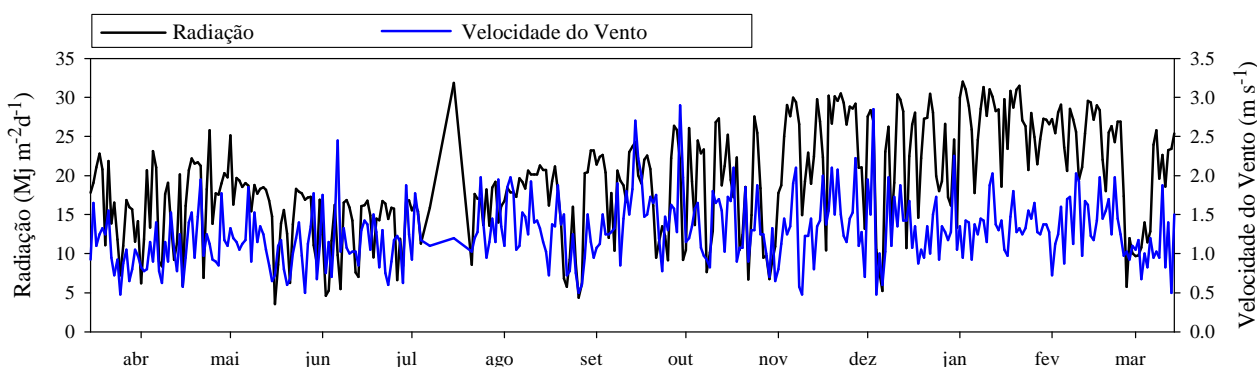


Figura 2 - Variações médias mensais dos elementos meteorológicos, Radiação (MJ m⁻² d⁻¹) e Velocidade do Vento (m s⁻¹), para o período de março de 2009 a março de 2010.

Na Tabela 1 se encontram os valores dos coeficientes β_1 , erro-padrão da estimativa, índice de concordância de Willmott; Ckleson; Davis (1985), coeficiente de determinação, obtidos das correlações entre os valores de ET_0 do método em estudo com os valores de ET_0 de Penman-Monteith-FAO 56, e valores de evapotranspiração, em mm d⁻¹, em intervalos de 1, 3, 5, 7 e 10 dias.

Tabela 1 - Valores dos coeficientes β_1 , erro-padrão da estimativa (EEP), índice de concordância de Willmott (d), coeficiente de determinação (r^2), obtidos das correlações entre os valores de ET_0 do método FAO-17 Penman com os valores de ET_0 de Penman-Monteith-FAO 56 e os valores de evapotranspiração (ET_0) mm d⁻¹ para os intervalos de 1, 3, 5, 7 e 10 dias

Intervalo	β_1	EEP	d	r^2	ET_0 F17*	ET_0 PM*
1 dia	0,987	0,327	0,995	0,950	3,483	3,544
3 dias	0,987	0,255	0,999	0,965	3,482	3,543
5 dias	0,988	0,202	0,999	0,977	3,480	3,541
7 dias	0,988	0,193	0,999	0,979	3,475	3,535
10 dias	0,988	0,176	0,999	0,983	3,480	3,541

*F17: Método FAO-17-Penman; *PM: Método de Penman-Monteith FAO 56.

Nas Figuras 3, 4, 5, 6 e 7 são apresentados os gráficos das regressões lineares entre valores diários de evapotranspiração de referência estimados pelo método FAO-17-Penman em função do método de referência Penman-Monteith-FAO 56.

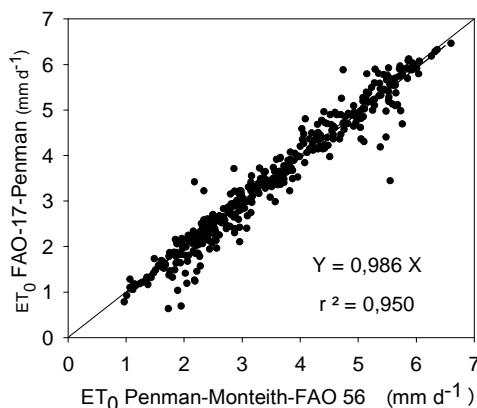


Figura 3 - Regressão linear com β_0 passando pela origem para o método FAO-17-Penman em função do método de Penman-Monteith-FAO 56 com sua equação e coeficiente de determinação (r^2), para intervalos diários.

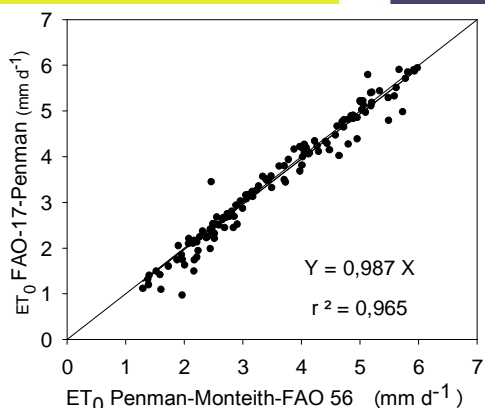


Figura 4 - Regressão linear com β_0 passando pela origem para o método FAO-17-Penman em função do método de Penman-Monteith-FAO 56 com sua equação e coeficiente de determinação (r^2), para o intervalo de 3 dias.

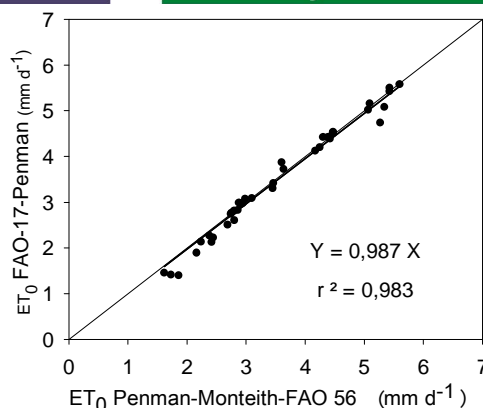


Figura 7 - Regressões lineares com β_0 passando pela origem para o método FAO-17-Penman em função do método de Penman-Monteith-FAO 56 com sua equação e coeficiente de determinação (r^2), para o intervalo de 10 dias.

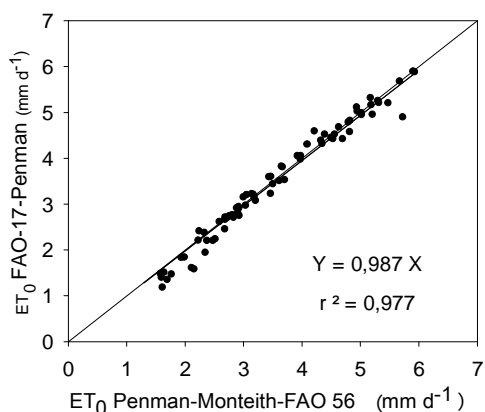


Figura 5 - Regressão linear com β_0 passando pela origem para o método FAO-17-Penman em função do método de Penman-Monteith-FAO 56 com sua equação e coeficiente de determinação (r^2), para o intervalo de 5 dias.

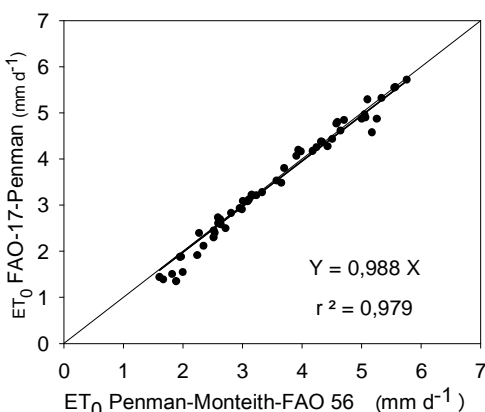


Figura 6 - Regressão linear com β_0 passando pela origem para o método FAO-17-Penman em função do método de Penman-Monteith-FAO 56 com sua equação e coeficiente de determinação (r^2), para o intervalo de 7 dias.

Discussão

Os elementos meteorológicos apresentados nas Figuras 1 e 2 são os de maior influência na estimativa de evapotranspiração de referência, além de serem essenciais para o uso do método de Penman-Monteith-FAO 56.

Pela Tabela 1, observa-se que o método em estudo apresentou valores abaixo de 1 para o coeficiente β_1 , indicando a ocorrência de subestimativa dos valores de ET_0 , independentemente do intervalo estudado.

O método FAO-17 Penman apresentou 1,71% de subestimativa da ET_0 em comparação ao método de Penman-Monteith FAO 56 no intervalo diário. Enquanto, que nos intervalos de 3, 5, 7 e 10 dias o método apresentou 1,71; 1,73; 1,71 e 1,73% de subestimativa da evapotranspiração de referência, respectivamente.

O método apresentou valores reduzidos para estimativa do erro padrão, sendo que a estimativa do erro diminuiu com a ampliação do intervalo para a estimativa da evapotranspiração de referência.

O método FAO-17 Penman apresentou elevados valores para índice de concordância, sendo que a concordância aumentou na medida em que o intervalo para estimativa foi ampliado, indicando maior exatidão para maiores intervalos. Além disso, o coeficiente de determinação aumenta com a ampliação do intervalo para a estimativa da evapotranspiração de referência, indicando maior precisão para o método em maiores intervalos.

Pelas Figuras 3, 4, 5, 6 e 7 verifica-se que não ocorre grande dispersão dos dados de evapotranspiração de referência, indicando elevada precisão do método. Além disso, é possível verificar as retas, estimada e de calibração (reta 1:1) estão muito próximas, o que

indica alta exatidão para a estimativa da evapotranspiração de referência pelo método FAO-17 Penman em função do método de Penman-Monteith FAO 56 nos intervalos em estudo. Resultados semelhantes foram obtidos por Tagliaferre et al. (2010) em um estudo comparativo de diferentes metodologias para determinação da evapotranspiração de referência nas condições climáticas do Município de Eunápolis - BA.

A não-verificação da adequação dos métodos de estimativa da evapotranspiração de referência às condições climáticas, a falta de precisão na estimativa, bem como o erro, devido ao uso de instrumentos de medidas inadequados, em geral, conduzem ao manejo inadequado da água, afetando muitas vezes a produção agrícola. Aplicações insuficientes ou em excesso resultam em perdas e prejuízos consideráveis às plantas e ao solo, diminuindo, dessa forma, a eficiência do uso da irrigação.

Conclusão

O método FAO-17-Penman por apresentar pequena subestimativa da evapotranspiração de referência nas condições climáticas da cidade de Alegre-ES, independentemente do intervalo analisado. O método pode ser utilizado para o manejo da água na agricultura nas condições estudadas.

Referências

- ALLEN, R. G.; Pereira, L. S.; Raes, D.; Smith, M. **Guidelines for computing crop water requirements. Irrigation and Drainage Paper, 56.** Rome: FAO, 1998. 310p.
- ALLEN, R. G. **REF-ET: Reference evapotranspiration calculator, Version 2.1.** Idaho: Idaho University, 2000. 82p.
- BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação.** 8. Ed. Viçosa, MG: UFV, 2006. 265p.
- BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação.** 8. Ed. Viçosa, MG: UFV, 2006. 265p.
- FRERE, M.; POPOV, G. F. **Agrometeorological crop monitoring and forecasting. FAO Plant Production and Protection Paper 17.** FAO, United Nations, Rome, p. 36-43. 1979.
- LIMA, E. P.; SEDIYAMA, G. C.; ANDRADE, R. G.; DELGADO, R. C.; SOARES, V. P.; GLERIANI, J. M. Estimativa da evapotranspiração em áreas

irrigadas utilizando imagem do Landsat 5 - TM. In: XIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 25-30 abril 2009, INPE, Natal. **Anais...**, p.247-254.

- REIS, E. F.; BRAGANÇA, R.; GARCIA, G. O.; PEZZOPANE, J. E. M.; TAGLIAFERRE, C. Estudo comparativo da estimativa da evapotranspiração de referência para três localidades do estado do espírito santo no período seco. **IDESIA**, v.25, n.3, p.75-84, 2007.

- TAGLIAFERRE, C.; SILVA, R. A. de J.; ROCHA, F. A.; SANTOS, L. da C.; SILVA, C. dos S. da. Estudo comparativo de diferentes metodologias para determinação da evapotranspiração de referência em Eunápolis - BA. **Revista Caatinga**, v.23, n.1, p.103-111, 2010.

- WILLMOTT, C. J.; CKLESON, S. G.; DAVIS, R. E. Statistics for evaluation and comparisons of models. **Journal of Geophysical Research**, Ottawa, v.90, n.C5. p.8995-9005, 1985.