



Revista Brasileira de Agricultura Irrigada v.4, n.2, p.93–98, 2010
 ISSN 1982-7679 (On-line)
 Fortaleza, CE, INOVAGRI – <http://www.inovagri.org.br/rbai>
 Protocolo 610 - W – 05/04/2010 Aprovado em 12/06/2010

COMPARAÇÃO DE MÉTODOS DE ESTIMATIVA DA ETo NA ESCALA MENSAL EM FORTALEZA-CE

B. M. ALMEIDA¹, E. M. ARAÚJO², E. G. CAVALCANTE JUNIOR¹, J. B. OLIVEIRA³, E. M. ARAÚJO², B. R. C. NOGUEIRA²

¹ Mestrando em Irrigação e Drenagem, Universidade Federal do Semi Árido, Mossoró-RN, E-mail: brunomarcadealmeida@gmail.com;

² Discente do Curso de Tecnologia em Irrigação e Drenagem do IFET Campos Iguatu - CE. E-mail: eliakim.araujo@bol.com.br;

³ Prof. M. Sc. do IFET Campos Iguatu - CE. Email: joaquimbrancodeoliveira@gmail.com

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo a comparação de 11 métodos de estimativa da evapotranspiração de referência mensal da cidade de Fortaleza-CE, tomando como padrão o método de Penman-Montheith FAO 56. Os dados meteorológicos para o cálculo da ETo foram coletados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). O erro padrão de estimativa, os coeficientes de correlação e concordância de Willmont e o índice de confiança ou desempenho de Camargo foram às metodologias usadas para a avaliação dos métodos. Os métodos Kimberly-Penman 1972, FAO24-Blaney & Criddle e Kimberly-Penman 1996 foram os que melhor estimaram a ETo em Fortaleza-CE, apresentaram valores mais próximos a 1 no que se refere ao índice de concordância “*d*”(concordância quase perfeita), que expressa à exatidão das estimativas em relação ao método padrão e obtiveram desempenho ótimo considerando o índice de confiança “*c*”. Kharrufa 1985, Hargreaves 1985 e Blaney & Criddle foram os métodos de desempenho péssimo com elevado erro padrão de estimativa, 2.19, 1.17 e 1.14 mm-dia⁻¹ respectivamente.

Palavras-chave: Penman-Montheith FAO 56, Evapotranspiração de Referência, Fortaleza

ABSTRACT

METHODS COMPARISON OF ETo ESTIMATION IN MONTHLY SCALE TO FORTALEZA-CE, BRAZIL

This study aimed to compare 11 methods for estimating of monthly reference evapotranspiration of Fortaleza city, taking as standard the Penman-Montheith FAO 56 method. The meteorological data to calculate the Eto were collected from the National Institute of Meteorology (INMET). The standard error of estimate, the correlation coefficients and agreement Willmont and the index of confidence or performance of Camargo were the

COMPARAÇÃO DE MÉTODOS DE ESTIMATIVA DA ETo NA ESCALA MENSAL EM FORTALEZA-CE

methodologies used for the evaluation of methods. The Kimberly-Penman 1972, FAO24-Blaney & Criddle and Kimberly-Penman 1996 methods are the that best estimate ETo in Fortaleza, they showed values closer to unity in what it is mentioned to the index concordance “*d*”, which express the accuracy of estimates in relation to the standard method and obtained good performace considering the confidence index “*c*”. Kharrufa 1985, Hargreaves 1985, Blaney & Criddle methods were very poor performance with high standard error of estimate, 2.19, 1.17 and 1.14 mm·day⁻¹ respectively.

Keywords: Penman-Montheith FAO 56, evapotranspiration of reference, Fortaleza

INTRODUÇÃO: Um dos principais fatores de sucesso da produção agrícola é a determinação da quantidade de água perdida pela ação conjunta da evaporação da superfície do solo e da transpiração dos vegetais, sendo denominada como evapotranspiração. Com isso, informações confiáveis sobre sua estimativa tornam-se extremamente importante no manejo eficaz de áreas irrigadas.

Segundo Medeiros (2002), a evapotranspiração da cultura (ETc) é a variável mais importante em um projeto de irrigação, pois indica a quantidade de água a ser reposta à cultura de modo a garantir uma retorno satisfatório ao produtor e, sendo a ETc função da evapotranspiração de referência (ETo), a determinação desta passa a ser importante nos projetos, no planejamento e no manejo da irrigação.

Existem vários métodos para o cômputo da ETo, sendo divididos em diretos e indiretos. Para Pereira et al (1997), a medida direta é onerosa e difícil, e reforça a existência de métodos empíricos de estimativa aptos ao uso, dependendo dos dados climáticos disponíveis no local de estudo. O método de Penman-Montheith parametrizado pela FAO (ALLEN et al 1998) é o método empírico recomendado para a estimativa da evapotranspiração, e o que necessita de uma quantidade maior de elementos meteorológicos que muitas vezes não estão disponíveis, ocasionando assim, a busca de métodos de estimativa mais simples.

Diante do exposto, o objetivo do presente trabalho foi comparar com embasamento estatístico, 11 métodos de estimativa da ETo, tomando como padrão o método de

Penman-Montheith parametrizado pela FAO, afim de se obter um método que atenda satisfatoriamente a estimativa da ETo nas condições climáticas de Fortaleza-CE.

MATERIAL E MÉTODOS: O trabalho foi desenvolvido a partir de dados climatológicos coletados no período de 1974 a 2008 no Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). A cidade de Fortaleza está localizada nas seguintes coordenadas geográficas: latitude 03°45’S; longitude 38°33’W e altitude de 20 m. O clima da região segundo a classificação de Köppen é do tipo tropical chuvoso (Aw’), apresentando uma forte irregularidade pluviométrica no decorrer do ano.

Por meio do programa REF-ET versão 2.01.17 desenvolvido por Allen (2000), foi calculada a ETo na escala mensal pelos métodos: Penman-Montheith FAO 56 (padrão), Kimberly-Penman 1972, Kimberly-Penman 1996, Penman 1948, FAO24-Blaney-Cliddle, Tanque Classe A, Hargreaves & Samani 1985 e Makkink 1957 com exceção de Blaney-Criddle, Jensen-Haise 1963, Kharrufa 1985 e Linacre.

Com base nos valores de ETo calculados, foram ajustadas equações de regressão linear, onde a variável dependente foi a equação de Penman-Montheith FAO 56, e variável independente os valores de ETo estimados pelos demais métodos. Com isso, foram feitas análises comparativas usando o índice de correlação “*r*”, exatidão “*d*” (WILLMOTT et al., 1985) e desempenho “*c*” (Tabela1) sugeridos por Camargo &

COMPARAÇÃO DE MÉTODOS DE ESTIMATIVA DA ETo NA ESCALA MENSAL EM FORTALEZA-CE

Sentelhas (1997) onde $c=r*d$. O coeficiente de correlação pode variar de 0 a +1 ou 0 a -1, e foi classificado de acordo com Silva & Barros Filho (2003). Os

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

valores do coeficiente “d” variam de zero, para nenhuma concordância, a 1, para concordância perfeita, e é dado pela seguinte equação:

onde: P_i o valor estimado; P a média do valor estimado; O_i o valor observado e O é a média dos valores observados.

Tabela 1: Classificação do índice de confiança ou desempenho

Valor de “c”	Desempenho
>0,85	Ótimo
0,76 a 0,85	Muito Bom
0,66 a 0,75	Bom
0,61 a 0,65	Mediano
0,51 a 0,60	Sofrível
0,41 a 0,50	Mau
≤ 0,40	Péssimo

O conhecimento dos erros proporcionados pelas estimativas foi realizado pelo cálculo

$$EPE = \left[\frac{\sum (Y - Y_m)^2}{n-1} \right]^{0,5} \quad (2)$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO:

Observam-se na Tabela 2 as correlações entre os 11 métodos estudados e comparados com Penman-Montheit FAO 56 (variável dependente), ficando as correlações classificadas entre muito forte positiva e moderada forte positiva. A ETo calculada por Hargreaves-Samani obteve $r = 0,45$, resultado que se diferencia dos obtidos por Silva et al (2005) em Petrolina-PE, que encontrou coeficiente acima de 0,60.

do erro padrão da estimativa (EPE) conforme Jensen et al. (1990).

sendo: Y a evapotranspiração estimada pelo método avaliado (mm.dia^{-1}); Y_m a evapotranspiração estimada pelo método Penman-Montheit FAO 56 (mm.dia^{-1}); e n o número total de observações.

Os gráficos das regressões dos diferentes métodos de estimativa da ETo estão presentes na Figura 1. Percebe-se o bom resultado quanto aos valores de R^2 para Kimberly-Penman 1972, FAO24-Blaney & Criddle e Kimberly-Penman 1996, superiores a 0,80, contrariando Arraes et al. (2007) que encontraram R^2 para Kimberly-Penman 1996 em Iguatu-CE abaixo de 0,65. Kharrufa 1985, Hargreaves 1985 e Blaney & Criddle obtiveram R^2 abaixo de 0,40.

COMPARAÇÃO DE MÉTODOS DE ESTIMATIVA DA ETo NA ESCALA MENSAL EM FORTALEZA-CE

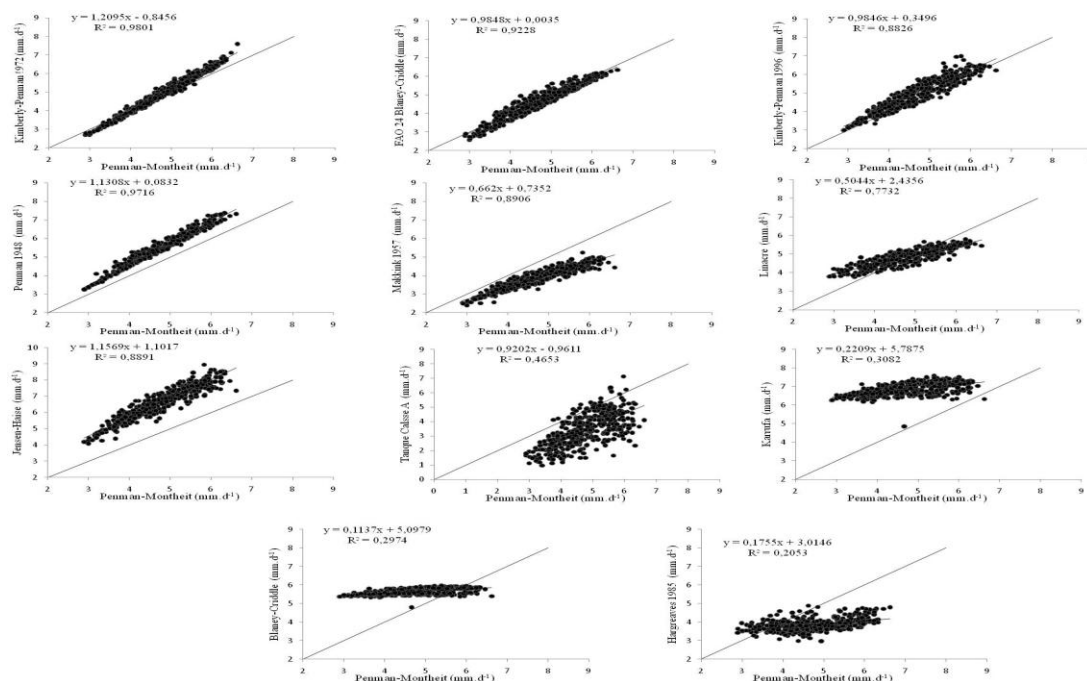


Figura 1: Análise de regressão entre os valores estimados pelos diversos modelos e os estimados por Penman-Montheit FAO56 em Fortaleza-CE.

Os métodos de Kimberly-Penman 1972, Kimberly-Penman 1996 e FAO24-Blaney & Criddle foram os que apresentaram melhor índice de desempenho e menores erros padrão de estimativa (Tabela 3). O bom resultado do método FAO24-Blaney & Criddle é explicado devido o mesmo ter sido desenvolvido em regiões áridas dos Estados Unidos, se ajustando assim as condições climáticas da região em estudo. Carvalho et al (2006), que testaram vários métodos de estimativa da evapotranspiração para região de Seropédica-RJ, apontaram o Tanque Classe A como de ótimo desempenho, o que

CONCLUSÃO

Os métodos que melhor estimaram a ETo em Fortaleza quando comparados a Penman-Montheit FAO56 foram: Kimberly-Penman 1972, FAO24-Blaney & Criddle e Kimberly-Penman 1996. Sendo recomendado o FAO24-Blaney & Criddle que é indicado pela FAO para estimativas mensais e necessita de menor quantidade dados climatológicos em relação

difere do presente estudo, ficando constatado que o desempenho desse método foi péssimo, diferença essa que pode ser explicada pelo clima totalmente diferente entre as duas regiões. Os métodos Tanque Classe A e Makkink 1957 foram os que mais subestimaram a ETo em Fortaleza-CE em 28,16 e 18,37% respectivamente. Essa subestimativa quanto a Makkink também foi encontrada por Turco (2002), o que é explicado pelo fato de que esse método foi desenvolvido em regiões frias, ocasionando subestimativa quando usado em regiões quentes.

Kimberly-Penman 1972 e Kimberly-Penman 1996.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

ALLEN, R.G. REF-ET: reference evapotranspiration calculator, Version 2.1. Idaho: Idaho University, 2000. 82p.
ALLEN,R.G.; PEREIRA,L.S.; RAES,D.; SMITH,M. **Crop evapotranspiration – Guidelines for computing crop water**

COMPARAÇÃO DE MÉTODOS DE ESTIMATIVA DA ET_o NA ESCALA MENSAL EM FORTALEZA-CE

- requirements.** Roma: FAO, 1998. 300p. (FAO Irrigation and Drainage Paper, 56).
- ARRAES, F.D.D; OLIVEIRA, J. B.; GONÇALVES, J. L. G.; CARVALHO, F. W. A; PEREIRA, A.N. Estimativa da Evapotranspiração de referência para a Cidade de Iguatu-CE. I WORKSHOP INTERNACIONAL DE INOVAÇÃO TECNOLÓGICA NA IRRIGAÇÃO. Sobral. **Anais...** 2007, (CD-ROOM)
- CAMARGO, A. P.; SENTELHAS, P. C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 5, n.1, p. 89-97, 1997.
- CARVALHO, D.F.; SILVA, L.D.B.; FOLEGATTI, M.V. COSTA, J.R., CRUZ, F.A.A. Avaliação da evapotranspiração de referência na região de Seropédica – RJ, utilizando lisímetro de pesagem. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, RS, v. 14, n.2, p. 187-195. 2006.
- JENSEN, M. E.; BURMAN, R. D.; ALLEN, R. G. **Evapotranspiration and irrigation water requirements.** New York: ASCE, 1990. 332p.
- MEDEIROS, A. T. **Estimativa da evapotranspiração de referência a partir da equação de Penman- Monteith, de medidas lisimétricas e de equações empíricas, em Paraíba, CE.** Piracicaba, 2002. 103p. Tese (Doutorado)- Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- PEREIRA, A.R.; VILLA NOVA, N.A.; SEDIYAMA, G. **Evapo(transpi)ração.** Piracicaba: FEALQ, 1997. 183 p.
- SILVA, D. da; BARROS FILHO, A. F. B.; Estatística. USP, Apostila, 2003.
- SILVA, V. de. P.R. da; FILHO, A. F. B.; SILVA, B. B. da.; CAMPOS, J. H. B. da C., Desenvolvimento de um sistema de estimativa da evapotranspiração de referência. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental.** v.9, n.4, Campina Grande. 2005.
- TURCO, J.E.P. **Influência da acurácia de instrumentos de medidas na comparação de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o).** 2002. 85 f. Livre-Docência (Eletrificação Rural) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2002.
- WILLMOTT, C.J., CKLESON, S.G., DAVIS, R.E. et al. Statistics for the evaluation and comparison of models. **Journal of Geophysical Research,** Ottawa, v. 90, n. C5, p. 8995-9005, 1985.

Tabela 2: Correlação entre os diversos métodos estudados com Penman Montheit FAO 56

Métodos	r	Correlação
Kimberly-Penman 1972	0,99	Muito forte +
FAO24-Blaney-Criddle	0,96	Muito forte +
Kimberly-Penman 1996	0,93	Muito forte +
Penman 1948	0,98	Muito forte +
Makkink 1957	0,94	Muito forte +
Linacre	0,87	Muito forte +
Jensen & Haise 1963	0,94	Muito forte +
Tanque Classe A	0,68	Moderada forte +
Hargreaves 1985	0,45	Moderada forte +
Blaney & Criddle	0,54	Moderada forte +
Kharrufa 1985	0,55	Moderada forte +

COMPARAÇÃO DE MÉTODOS DE ESTIMATIVA DA ET_0 NA ESCALA MENSAL EM FORTALEZA-CE

Tabela 3: Desempenho estatístico referente à comparação de diversos métodos em relação ao padrão.

Métodos	EPE (mm.dia ⁻¹)	%	d	c	Desempenho
Kimberly-Penman 1972	0,27	103,19	0,97	0,96	Ótimo
FAO24-Blaney-Criddle	0,24	98,55	0,97	0,93	Ótimo
Kimberly-Penman 1996	0,40	105,79	0,94	0,88	Ótimo
Penman 1948	0,72	114,82	0,85	0,84	Muito Bom
Makkink 1957	0,93	81,63	0,71	0,67	Bom
Linacre	0,46	101,56	0,73	0,64	Mediano
Jensen & Haise 1963	1,88	138,81	0,53	0,50	Mau
Tanque Classe A	1,57	71,84	0,58	0,39	Péssimo
Hargreaves 1985	1,17	80,83	0,51	0,23	Péssimo
Blaney & Criddle	1,14	118,39	0,50	0,27	Péssimo
Kharrufa 1985	2,19	143,58	0,39	0,21	Péssimo