

AVALIAÇÃO DE DIFERENTES METODOLOGIAS DE ESTIMATIVA DA ETo BASEADAS NO TANQUE CLASSE A, EM MOSSORÓ, RN¹

TAYD DAYVISON CUSTÓDIO PEIXOTO^{2*}; SÉRGIO LUIZ AGUILAR LEVIEN³; ANDRE HERMAN FREIRE BEZERRA⁴; JOSÉ ESPÍNOLA SOBRINHO⁵

RESUMO - A evapotranspiração de referência (ETo) calculada pelo tanque Classe A (TCA) é um método indireto e de uso generalizado no Brasil devido a seu baixo custo e facilidade no manuseio. Este estudo teve como objetivo determinar, por diferentes metodologias de estimativa do coeficiente do tanque (Kp) que são propostas na literatura, a ETo obtida com o auxílio da evaporação do tanque Classe A (ECA), e comparar tais resultados com a ETo estimada pelo método FAO Penman-Monteith, considerado padrão e recomendado pela FAO, usando dados de uma série histórica de 15 anos, de 1993 a 2007. Observou-se um bom desempenho do método do tanque Classe A para a estimativa dos valores mensais de ETo, considerando-se as diferentes formas de cálculo do Kp, sendo a metodologia proposta por Snyder a que apresentou o maior índice de concordância ($d = 0,80475$) e o menor erro médio absoluto ($MAE = 0,28452 \text{ mm dia}^{-1}$), indicando sua potencialidade para utilização prática na estimativa da ETo diária na região de Mossoró, Rio Grande do Norte.

Palavras-chave: Semiárido. Coeficiente do tanque. Evaporação do tanque. Manejo de irrigação.

EVALUATION OF DIFFERENT METHODOLOGIES OF CLASS A PAN ETo CALCULATION IN MOSSORÓ, RN, BRAZIL

ABSTRACT - The reference evapotranspiration (ETo) by Class A pan (TCA) is an indirect method and widely used in Brazil because of its low cost and easy handling. This work had as objective to determine, for different methodologies of determination pan coefficients (Kp) that they are proposed in literature, the ETo gotten with the aid of the evaporation Class A pan (ECA), and to compare such results of ETo of Class A pan with the ETo estimated by the FAO Penman-Monteith method which is considered the standard for the FAO, with historical series data of 15 years. There was a good performance of the Class A pan method to estimate the monthly values of ETo, considering the different ways of calculating Kp, and the methodology proposed by Snyder showed the highest rate of concordance ($d = 0.80475$) and lower mean absolute error ($MAE = 0.28452 \text{ mm day}^{-1}$), indicating its potential for practical use on the estimating of daily ETo in the region of Mossoró, Rio Grande do Norte, Brazil.

Keywords: Semiarid. Pan coefficient. Pan evaporation. Irrigation management.

*Autor para correspondência.

¹Recebido para publicação em 14/03/2012; aceito em 14/02/2014.

Trabalho de monografia de conclusão do curso de graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental do primeiro autor.

²Programa de Pós-Graduação em Manejo de Solo e Água, Bolsista CAPES, Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Mossoró, RN; e-mail: dayvisonpeixoto@hotmail.com.

³Programa de Pós-Graduação em Irrigação e Drenagem, UFERSA, Mossoró, RN, e-mail: sergiolevien@ufersa.edu.br.

⁴Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Sistemas Agrícolas, Bolsista CNPq, ESALQ/USP, Piracicaba, SP, e-mail: andre.herman@yahoo.com.

⁵Programa de Pós-Graduação em Irrigação e Drenagem, UFERSA, Mossoró, RN, e-mail: jespino@ufersa.edu.br.

INTRODUÇÃO

A preocupação mundial com os recursos hídricos e consequentemente com a quantidade de água utilizada na irrigação resultam em uma busca por um manejo racional da irrigação, que seja mais eficaz, que utilize somente o que é realmente necessário para obter altas produtividades e não desperdiçar água de boa qualidade (MOLINA MARTÍNEZ et al., 2006; KISI, 2006), principalmente na região Nordeste do Brasil que possui limitados recursos hídricos devido ao inconstante regime de chuvas.

De acordo com Carvalho et al. (2007), para um manejo eficiente da irrigação, qualquer que seja a cultura é essencial a determinação da evapotranspiração. Por outro lado, quanto mais precisa for essa determinação, melhor será a quantificação das lâminas de irrigação.

A evapotranspiração da cultura (ETc) é um fator que deve ser levado em consideração quando se fala de irrigação, pois baseado nesta podemos otimizar o uso da água. A irrigação exige grande demanda de água e essa quantidade deve ser calculada o mais corretamente possível para não haver desperdício de água ou diminuição da produtividade.

A evapotranspiração de referência (ETo), foi criada para facilitar a obtenção dos valores de ETc, pois para sua determinação direta faz-se necessário um grande número de parâmetros do solo, da planta, do clima ou mesmo de equipamentos sofisticados, o que limita a sua aplicabilidade (MENDONÇA et al., 2006).

A ETo quando multiplicada por um fator que é o coeficiente de cultura (Kc), fator esse que depende das espécies e dos estádios fenológicos, resulta no valor de ETc. A ETo calculada pelo tanque Classe "A" (TCA), que é um método indireto e bastante utilizado no Brasil devido sua facilidade no uso e baixo custo, necessita da evaporação do tanque Classe "A" (ECA) e do coeficiente do tanque (Kp), que varia de acordo com as condições climáticas e locais. As equações, que determinam o valor do Kp, na maioria das vezes são baseadas na umidade relativa média do ar (UR_m), na velocidade do vento (u_2), no comprimento da bordadura (B) e no tipo de superfície em que o tanque está colocado (TS), grama ou

solo nu. Existem diversas formas de obtenção desse coeficiente como as propostas por Cuenca (1989), Snyder (1992), Pereira et al. (1995), Orang (1998), além das propostas no Manual FAO 24 (DOORENBOS; PRUITT, 1977) e Manual FAO 56 (ALLEN et al., 1998), que podem resultar em valores diferentes, dependendo do local.

Os objetivos deste estudo foram: avaliar valores determinados, por diferentes metodologias de estimativa do coeficiente do tanque (Kp) que são propostas na literatura, da ETo obtidos com o auxílio da evaporação do tanque Classe A (ECA), e comparar tais resultados com a ETo estimada pelo método FAO Penman-Monteith, considerado padrão e recomendado pela FAO, usando dados de uma série histórica de 15 anos, de 1993 a 2007, da região de Mossoró, Rio Grande do Norte, determinando qual dos métodos melhor se ajusta para os dados avaliados.

MATERIAL E MÉTODOS

Nesse trabalho foram utilizados dados meteorológicos de uma série histórica de 15 anos, no período do ano de 1993 a 2007, obtidos junto à Estação Climatológica Convencional da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), no município de Mossoró-RN (5°11' S; 37°20' W; 18m).

Os valores de ETo, obtidos pelo método do tanque Classe A, foram calculados por meio da equação:

$$ETo = Kp \cdot ECA \quad (1)$$

em que ETo é a evapotranspiração de referência, Kp é o coeficiente do tanque Classe A, e ECA é a evaporação do tanque Classe A.

Para a estimativa dos valores de Kp foram utilizados oito diferentes métodos de cálculo propostos, citados na literatura.

Para obtenção do valor do coeficiente do tanque Classe A, pela metodologia proposta por Cuenca (1989), em que a equação é derivada da tabela do Manual FAO 24, (DOORENBOS; PRUITT, 1977), utiliza-se a seguinte equação:

$$Kp = 0,475 - 2,4 \cdot 10^{-4} \cdot u_2 + 5,16 \cdot 10^{-3} \cdot UR_m + 1,18 \cdot 10^{-3} \cdot B - 1,6 \cdot 10^{-5} \cdot (UR_m)^2 - 1,01 \cdot 10^{-6} \cdot B^2 - 8,0 \cdot 10^{-9} \cdot (UR_m)^2 \cdot u_2 - 1,0 \cdot 10^{-8} \cdot (UR_m)^2 \cdot B \quad (2)$$

em que B é a bordadura da área (m), u_2 é a velocidade do vento (km dia^{-1}), e UR_m é a umidade relativa média (%).

Snyder (1992) recomenda a seguinte equação para converter ECA em ETo:

$$Kp = 0,482 + 0,024 \cdot \ln(B) - 0,000376 \cdot u_2 + 0,0045 \cdot UR_m \quad (3)$$

em que B é a bordadura da área (m), u_2 é a velocidade do vento (km dia^{-1}), e UR_m é a umidade relativa média (%).

Pereira et al. (1995) demonstram que o Kp depende da relação entre a resistência do dossel da grama à difusão do vapor d'água e a resistência aerodinâmica para a troca do vapor d'água de uma superfície evaporante e da temperatura do ar que determina o valor de declividade da curva de pressão de saturação de vapor, e propõem a equação a seguir:

$$Kp = \frac{0,85 \cdot (\Delta + \gamma)}{\Delta + \gamma \cdot \left(1 + \frac{r_c}{r_a}\right)} \quad (4)$$

em que r_c/r_a é a relação entre a resistência do dossel da grama à difusão do vapor d'água (r_c) e a resistência aerodinâmica para a troca do vapor d'água de uma superfície evaporante (r_a) onde r_c/r_a pode ser considerado igual a $0,33 u_2$ ($m s^{-1}$), γ é a constante psicrométrica ($kPa ^\circ C^{-1}$) que varia de acordo com a altitude, e Δ é a declividade da curva de pressão de saturação de vapor ($kPa ^\circ C^{-1}$), que, segundo Allen et

al. (1998), no Manual FAO 56, é obtido pela equação:

$$\Delta = \frac{4098 \left[0,6108 \exp\left(\frac{17,27T}{T + 237,3}\right) \right]}{(T + 237,3)^2} \quad (5)$$

em que T é a temperatura média do ar ($^\circ C$), obtida por:

$$T = \frac{T_{max} + T_{min}}{2} \quad (6)$$

em que T_{max} e T_{min} são as temperaturas máxima e mínima do ar ($^\circ C$), respectivamente.

De acordo com Orang (1998), a determinação do Kp é feita pela seguinte equação:

$$Kp = 0,51206 - 0,000321 \cdot u_2 + 0,002889 \cdot UR_m + 0,031886 \cdot \ln(B) - 0,000107 \cdot UR_m \cdot \ln(B) \quad (7)$$

em que B é a bordadura da área (m), u_2 é a velocidade do vento ($km dia^{-1}$), e UR_m é a umidade relativa média (%).

A seleção do coeficiente de tanque apropriado, não deve ser somente pelo tipo de tanque, mas também é influenciado pela cobertura do solo na estação, e pelas condições ambientais como o vento e umidade, que devem ser conferidos. A localização e o ambiente do tanque também influenciam os resultados. Portanto deve ser observado onde o tanque é colocado, se localizado em solo arado ou em áreas com culturas (ALLEN et al., 1998). Os coeficientes do tanque serão diferentes dependendo do seu tipo, tamanho, estado e do sentido do vento da zona de

separação (influência). Quanto maior a zona de influência contrária ao sentido do vento, maior o movimento de ar sob o tanque em equilíbrio com a área de influência. Então se devem verificar dois casos típicos, onde com uma grande área de influência o ar contém mais vapor de água e menos calor em um caso do que no outro.

Na situação A, FAO56 (FAO A), considera-se que o tanque está situado sobre solo gramado e cercado por solo nu, e o valor do Kp é obtido pela seguinte equação:

$$Kp = 0,108 - 0,0286 \cdot u_2 + 0,0422 \cdot \ln(B) + 0,1434 \cdot \ln(UR_m) - 0,000631 \cdot [\ln(B)]^2 \cdot \ln(UR_m) \quad (8)$$

Na situação B, FAO56 (FAO B), considera-se que o tanque está situado sobre solo nu e cercado por uma cultura verde, sendo obtido, o valor do Kp, pela seguinte equação:

$$Kp = 0,61 + 0,00341 \cdot UR_m - 0,000162 \cdot u_2 \cdot UR_m - 0,00000959 \cdot u_2 \cdot B + 0,00327 \cdot u_2 \cdot \ln(B) - 0,00289 \cdot u_2 \cdot \ln(86,4 \cdot u_2) - 0,0106 \cdot \ln(86,4 \cdot u_2) \cdot \ln(B) + 0,00063 \cdot [\ln(B)]^2 \cdot \ln(86,4 \cdot u_2) \quad (9)$$

em que, em ambas citadas acima, B é a bordadura da área (m), u_2 é a velocidade do vento ($m s^{-1}$), e UR_m é a umidade relativa média (%).

O método proposto por Doorenbos e Pruitt (1977), utilizado na determinação do coeficiente do tanque Classe A se baseia em uma tabela (Tabela 1), que de acordo com a umidade relativa média, velocidade do vento e o comprimento da área de influência, resultam em um valor de Kp.

Neste trabalho foram considerados dois casos, valores médios mensais (FAO24, médio mensal) e um valor médio anual (FAO24, médio anual), para os dados avaliados, os quais são apresentados na Tabela 2.

Em uma segunda fase comparou-se os valores estimados de ETo, utilizando os diferentes métodos apresentados anteriormente, calculados pela equação (1), com valores determinados pelo método FAO

Tabela 1. Valores de coeficientes do tanque Classe A (Kp) em diferente localização e ambiente do tanque, níveis diferentes de umidade relativa média e velocidade do vento.

Caso A: tanque situado em solo gramado					Caso B: tanque situado em solo arado			
UR _m (%)		Baixa < 40	Média 40-70	Alta > 70		Baixa < 40	Média 40-70	Alta > 70
u ₂ (m s ⁻¹)	B (m)				B (m)			
Fraco < 2	1	0,55	0,65	0,75	1	0,70	0,80	0,85
	10	0,65	0,75	0,85	10	0,60	0,70	0,80
	100	0,70	0,80	0,85	100	0,55	0,65	0,75
	1000	0,75	0,85	0,85	1000	0,50	0,60	0,70
Moderado 2-5	1	0,50	0,60	0,65	1	0,65	0,75	0,80
	10	0,60	0,70	0,75	10	0,55	0,65	0,70
	100	0,65	0,75	0,80	100	0,50	0,60	0,65
	1000	0,70	0,80	0,80	1000	0,45	0,55	0,60
Forte 5-8	1	0,45	0,50	0,60	1	0,60	0,65	0,70
	10	0,55	0,60	0,65	10	0,50	0,55	0,65
	100	0,60	0,65	0,70	100	0,45	0,50	0,60
	1000	0,65	0,70	0,75	1000	0,40	0,45	0,55
Muito Forte > 8	1	0,40	0,45	0,50	1	0,50	0,60	0,65
	10	0,45	0,55	0,60	10	0,45	0,50	0,55
	100	0,50	0,60	0,65	100	0,40	0,45	0,50
	1000	0,55	0,60	0,65	1000	0,35	0,40	0,45

Fonte: Adaptado de Doorenbos e Pruitt (1997)

Tabela 2. Valores médios mensais e anual do coeficiente do tanque (Kp) para Mossoró, RN, baseados na metodologia FAO 24.

Mês	Kp médio
Janeiro	0,75
Fevereiro	0,75
Março	0,75
Abril	0,75
Mai	0,75
Junho	0,75
Julho	0,70
Agosto	0,70
Setembro	0,60
Outubro	0,60
Novembro	0,60
Dezembro	0,60
Anual	0,70

Penman-Monteith (ALLEN et al., 1998), que é considerado como método padrão.

Para cálculo da ETo diária, pelo método FAO Penman-Monteith (ALLEN et al., 1998), foi utilizado o software SEEVA (BEZERRA, 2009), que é uma ferramenta de estimativa da ETo, e que, dentre outras funções, permite estimar a mesma por cinco diferentes métodos, entre eles o método FAO Penman-Monteith, que é representado pela equação:

$$ETo = \frac{0,408 \Delta \cdot (Rn - G) + \gamma \cdot \left(\frac{900 U_2}{T + 273} \right) \cdot (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma \cdot (1 + 0,34 U_2)} \quad (10)$$

em que ETo é a evapotranspiração de referência (mm dia⁻¹); Δ é a declinação da curva de saturação de vapor d'água (kPa °C⁻¹); Rn é a radiação líquida na superfície da cultura (MJ m⁻² dia⁻¹); G é a densidade de fluxo de calor no solo (MJ m⁻² dia⁻¹); γ é a constante psicrométrica (kPa °C⁻¹); U₂ é a velocidade do

vento a 2 m de altura ($m s^{-1}$); T é a temperatura média diária do ar a 2 m de altura ($^{\circ}C$); e_s é a pressão de saturação do vapor (kPa); e e_a é a pressão de vapor atual (kPa).

Para se avaliar o desempenho dos métodos de determinação do Kp, na estimativa da ETo mensal usando o método do tanque Classe A, foram utilizados os seguintes índices estatísticos que preconizam um estudo de análise de regressão linear: coeficiente de determinação (R^2), coeficiente de correlação (r), erro médio absoluto (MAE), quadrado médio do desvio (RMSE), índice de concordância (d) proposto por Willmott (1982), índice de desempenho (c) proposto por Camargo e Sentelhas (1997), e eficiência do método ou do modelo (EF), conforme as equações mostradas a seguir.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum (O_i - E_i)^2}{\sum (O_i - \bar{O})^2} \quad (11)$$

$$r = \sqrt{1 - \frac{\sum (O_i - E_i)^2}{\sum (O_i - \bar{O})^2}} \quad (12)$$

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |O_i - E_i| \quad (13)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (E_i - O_i)^2} \quad (14)$$

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - E_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|E_i - \bar{O}| + |O_i - \bar{O}|)^2} \quad (15)$$

$$c = r \cdot d \quad (16)$$

$$EF = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2 - \sum_{i=1}^n (O_i - E_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (17)$$

em que O_i é o valor observado (ETo calculada pelo método FAO Penman-Monteith), E_i é o valor estimado (ETo calculada pelo método do tanque Classe A)

e \bar{O} é o valor médio entre os dados observados.

Os valores de R^2 e r são medidas de ajuste da relação entre os valores estimados pelo modelo e os valores observados experimentalmente (ou pelo modelo considerado como padrão). RMSE e MAE são indicadores de erro cumulativo nas simulações, e não consideram se o erro é positivo ou negativo, sendo que quanto mais próximo de 0 melhor. Para os índices d, c e EF, quanto mais próximo de 1, mais similares são os valores previstos pelo modelo aos observados experimentalmente (ou pelo modelo considerado como padrão). A diferença entre eles é que, enquanto d e c só podem assumir valores entre 0 e 1, EF pode assumir ainda valores negativos (ARBAT et al., 2003), significando que a média dos dados observados predizem melhor os resultados que os estimados pelo modelo (BEZERRA, 2012).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 1 são apresentadas as relações entre a ETo mensal estimada pelo método do tanque Classe A, utilizando-se os valores de Kp determinados pelos diferentes métodos avaliados, e a calculada pelo método FAO Penman-Monteith, considerado como método padrão.

Nos valores apresentados na Tabela 3, no entanto, houve um bom ajuste em todos os casos, com os valores de r, que indicam as precisões das estimativas para todos os métodos avaliados, variando de 0,87663 a 0,94682. Esses resultados foram menores aos obtidos por Conceição (2002), que variaram entre 0,89 e 0,93. Foram maiores, aos resultados obtidos por Mendonça et al. (2006), que obtiveram valores de r variando entre 0,87 e 0,89, ambos, comparando a ETo mensal estimada pelos métodos do tanque Classe A e a ETo obtida pela equação proposta FAO Penman-Monteith. Foram maiores aos encontrados por Sentelhas e Folegatti (2003), que para as condições de Piracicaba, SP, obtiveram valores de r situados entre 0,83 e 0,87, avaliando a estimativa de ETo diária pelo tanque Classe A em relação aos valores obtidos por um lisímetro de pesagem.

Apesar dos bons resultados de coeficiente de correlação obtidos pelos diferentes métodos propostos, constata-se, pela Tabela 3, que o valor do índice de concordância (d) que mais se aproximou de 1 foi o obtido pelo método de Snyder (1992), com valor de d igual a 0,80475. Esse resultado indica que o método estimou os valores de ETo com melhor exatidão, ou seja, ocorreu um baixo desvio entre os valores observados e estimados. A metodologia proposta obteve, também, o melhor valor do índice de desempenho, proposto por Camargo e Sentelhas (1997), considerado bom, com valor igual a 0,75275.

Esses resultados diferem dos obtidos por Braga et al. (2008) que, para as condições da região do vale submédio do São Francisco-BA, obtiveram me-

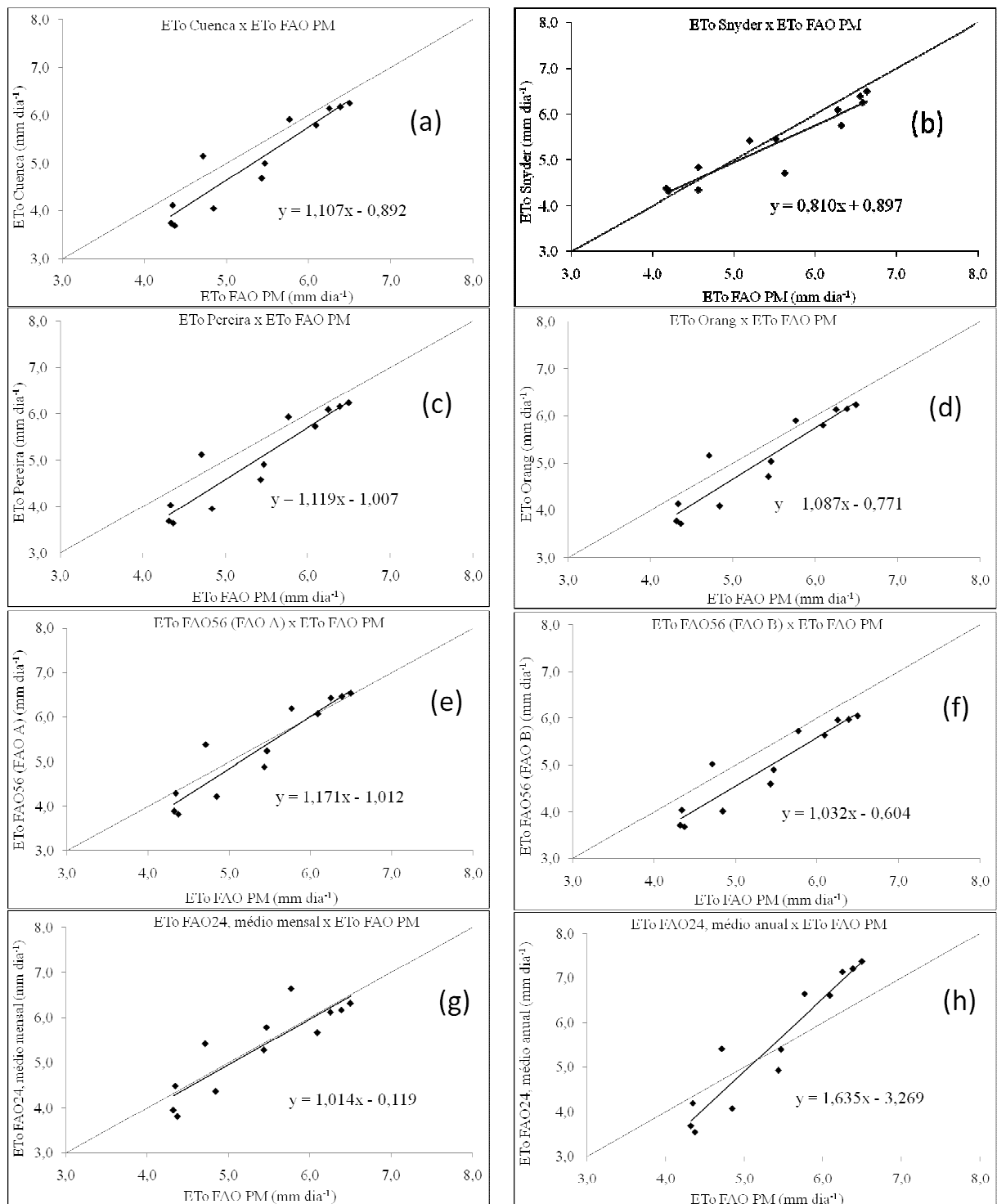


Figura 1. Relação entre a evapotranspiração de referência média mensal, calculada usando Kps estimados pelos métodos: (a) Cuenca (1989), (b) Snyder (1992), (c) Pereira et al. (1995), (d) Orang (1998), (e) Allen et al. (1998) (FAO56, FAO A), (f) Allen et al. (1998) (FAO56, FAO B), (g) Doorenbos e Pruitt (1977) (FAO24, médio mensal), (h) Doorenbos e Pruitt (1977) (FAO24, médio anual) e a ETo padrão estimada pela equação FAO Penman-Monteith (FAO PM), para o período de 1993 a 2007, Mossoró, RN

Tabela 3. Avaliação do desempenho dos métodos de cálculo de Kp para a estimativa da ETo mensal pelo método do Tanque Classe A.

Métodos	MAE (mm dia ⁻¹)	RMSE (mm dia ⁻¹)	R ²	r	d	c	EF
Cuenca (1989)	0,41236	0,47183	0,87093	0,93324	0,77751	0,72560	0,65078
Snyder (1992)	0,28452	0,36288	0,87495	0,93539	0,80475	0,75275	0,79344
Pereira et al. (1995)	0,46168	0,52303	0,85911	0,92688	0,77166	0,71523	0,57087
Orang (1998)	0,39917	0,45325	0,87259	0,93413	0,77734	0,72613	0,67773
FAO56 (FAO A)	0,32042	0,39763	0,86960	0,93252	0,72097	0,67233	0,75198
FAO56 (FAO B)	0,48259	0,53328	0,87248	0,93407	0,76580	0,71531	0,55389
FAO24 (médio mensal)	0,38251	0,44669	0,76848	0,87663	0,74395	0,65217	0,68700
FAO24 (médio anual)	0,63482	0,68894	0,89646	0,94682	0,73342	0,69441	0,25545

R² = coeficiente de determinação; r = coeficiente de correlação; MAE = erro médio absoluto; RMSE = quadrado médio do desvio; d = índice de concordância; c = índice de desempenho; EF = eficiência do método

lhores valores de d igual a 0,95, com a metodologia proposta por Pereira et al. (1995).

Já os demais métodos apresentaram valores de d variando entre 0,72097 a 0,77751. O método proposto por Snyder (1992) foi o que obteve uma melhor eficiência do método (EF), de 0,79344. Observa-se que ocorreu um ajuste satisfatório, em relação aos coeficientes de determinação (R²), com exceção do método FAO24 (médio mensal), com R² maior que 0,85, para as metodologias avaliadas, concordando com Grismer et al. (2002), Carvalho et al. (2006) e Esteves et al. (2010) que, comparando métodos para a estimativa da ETo, obtiveram coeficientes com valores superiores a estes para o método do tanque Classe A.

Em relação ao erro médio absoluto (MAE) e o quadrado médio do desvio (RMSE), na Tabela 3, percebe-se que o melhor resultado foi obtido por Snyder (1992) com o valor de MAE igual a 0,28452 mm dia⁻¹ e RMSE igual a 0,36288 mm dia⁻¹, assim como constataram Gundekar et al. (2008), que obtiveram o melhor valor de MAE igual a 0,39 mm dia⁻¹ e RMSE igual a 0,47 mm dia⁻¹, comparando a ETo mensal estimada pelos métodos do tanque Classe A e a ETo obtida pela equação FAO Penman-Monteith, para as condições da região de Marathwada, na Índia. Diferente de Irmak, Haman e Jones (2002), que obtiveram melhor valor de RMSE igual a 0,50 mm dia⁻¹, com a equação proposta por Cuenca (1989) e pior valor de RMSE igual a 0,80 mm dia⁻¹, com a equação proposta por Snyder (1992) para as condições climáticas de Gainesville no norte da Florida, Estados Unidos.

Observa-se na Figura 1, que os métodos de Cuenca (1989), Orang (1998), Pereira et al. (1995), FAO56 (FAO B) e FAO24 (médio mensal), subestimaram os valores de ETo calculados pela equação FAO Penman-Monteith. O método de Snyder (1992) superestimou os valores de ETo calculados pela equação FAO Penman-Monteith com ETo de até 5 mm dia⁻¹ e subestimou tais valores com ETo superior

a 5 mm dia⁻¹, segundo seu respectivo gráfico. O método FAO24 (médio anual) subestimou os valores de ETo calculados pela equação FAO Penman-Monteith com ETo de aproximadamente 5 mm dia⁻¹ e superestimou tais valores com ETo maior que 5 mm dia⁻¹.

CONCLUSÃO

Pelo exposto, pode-se concluir que, de um modo geral, o método de estimativa de evapotranspiração de referência pelo método do tanque Classe A, com o Kp calculado pela metodologia proposta por Snyder (1992), foi o método que apresentou melhor desempenho quando comparado com o método padrão FAO Penman-Monteith, sendo o mesmo recomendado para a região.

REFERÊNCIAS

- ALLEN, R. G. et al. Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. **FAO. Irrigation and Drainage Paper**, p. 56. Rome: FAO, 1998. 300 p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 56).
- ARBAT, G. et al. Evaluación de los modelos numéricos de flujo de agua en el suelo HYDRUS 2D y SIMDAS en riego localizado. In: ÁLVAREZ-BENEDÍ, J.; MARINERO, P. (Eds.) **Estudios de la Zona no Saturada del Suelo**, v. 6, p. 279-288.
- BEZERRA, A. H. F. **Software de simulação do coeficiente de cultura**. 2009. 60 f. Monografia (Graduação em Agronomia) - Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2009. Disponível em: <<http://ebiblio.ufersa.edu.br/Download/18898.pdf>>. Acesso em: 25 jul 2012.

- BEZERRA, A. H. F. **Modelagem do movimento de água no solo sob condições de irrigação por gotejamento superficial considerando absorção radicular e evaporação de água do solo**. 2012. 104 f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2012.
- BRAGA, M. B. et al. Coeficientes do tanque classe "A" para estimativa da evapotranspiração de referência na região do vale do submédio São Francisco, estado da Bahia. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 16, n. 1, p. 49-57, 2008.
- 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**, Santa Maria, v. 5, n. 1, p. 89-97, 1997.
- CARVALHO, D. F. et al. Avaliação da evapotranspiração de referência na região de Seropédica-RJ, utilizando lisímetro de pesagem. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 14, n. 2, p. 187-195, 2006.
- CARVALHO, L. C. C.; BEZERRA, F. M. L.; CARVALHO, M. A. R. Evapotranspiração e coeficientes de cultivo da melancia sem sementes. **Revista Científica Agrônômica**, Fortaleza, v. 39, n. 1, p. 53-59, 2007.
- CONCEIÇÃO, M. A. F. Reference evapotranspiration based on class a pan evaporation, **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 59, n. 3, p. 417-420, 2002.
- CUENCA, R. H. **Irrigation system design: an engineering approach**. New Jersey: Prentice-Hall, Englewood Cliffs. 1989. 133 p.
- DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. Crop water requirements. **FAO. Irrigation and Drainage Paper**, p. 24. Rome: FAO, 1977, 168 p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 24).
- ESTEVES, B. S. et al. Avaliação do Kt para estimativa da evapotranspiração de referência (ETo) em Campos dos Goytacazes, RJ. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 3, p. 274-278, 2010.
- GRISMER, M. E. et al. Pan evaporation to reference evapotranspiration conversion methods. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 128, n. 3, p. 180-184, 2002.
- GUNDEKAR, H. G. et al. Evaluation of pan coefficient for reference crop evapotranspiration for semi-arid region. **Irrigation Science**, v. 26, n. 2, p. 169-175, 2008.
- IRMAK, S.; HAMAN, D. Z.; JONES, J. W. Evaluation of class a pan coefficients for estimating reference evapotranspiration in humid location. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 128, n. 3, p. 153-159, 2002.
- KISI, O. Daily pan evaporation modelling using a neuro-fuzzy computing technique. **Journal of Hydrology**, v. 329, n. 3, p. 636-646, 2006.
- MENDONÇA, J. C. et al. Coeficientes do tanque classe "A" para a estimativa da evapotranspiração de referência, em Campos dos Goytacazes, RJ. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 14, n. 1, p. 123-128, 2006.
- MOLINA MARTÍNEZ, J. M. et al. A simulation model for predicting hourly pan evaporation from meteorological data. **Journal of Hydrology**, v. 318, n. 1, p. 250-261, 2006.
- ORANG, M. **Potential accuracy of the popular non-linear regression equations for estimating pan coefficient values in the original and FAO-24 tables**. California Department of Water Resources, Sacramento, 1998. 68 p.
- PEREIRA, A. R et al. A model for the class a pan coefficient. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 76, n. 1, p.75-82, 1995.
- SENTELHAS P. C.; FOLEGATTI, M. V. Class a pan coefficients (Kp) to estimate daily reference evapotranspiration (ETo), **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 7, n. 1, p. 111-115, 2003.
- SNYDER, R. L. Equation for evaporation pan to evapotranspiration conversion. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 118, n. 6, p. 977-980, 1992.
- WILLMOTT, C. J. Some comments on the evaluation of model performance. **Bulletin of American Meteorology Society**, v. 63, n. 3, p. 1309-1313, 1982.