

Coeficientes do tanque classe “A” para estimativa da evapotranspiração de referência na região do Vale do Submédio São Francisco, estado da Bahia

Class-A pan coefficients for estimating reference evapotranspiration in the San Francisco Sub-Medium River Valley, state of Bahia

Marcos Brandão Braga¹, Marcelo Calgaro², Magna Soelma Beserra de Moura³, Thieres George Freire da Silva⁴.

Resumo: O uso do tanque Classe “A” (TCA) como instrumento para determinação da lâmina de água a ser aplicada aos cultivos irrigados vem sendo adotado em todo o mundo, sendo um dos métodos recomendados pela FAO (Boletim 56). Para o uso da evaporação (EV) da água do tanque Classe “A” na estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o) e, posteriormente, para o cálculo da lâmina de irrigação, deve-se multiplicá-la por um fator conhecido como coeficiente do tanque (K_p), que depende das condições de instalação e do clima do local. Na literatura, existem diversos métodos usados na determinação do K_p, desde tabelas até funções matemáticas. Este trabalho teve como objetivos a determinação de coeficientes do tanque Classe “A” e a comparação entre os principais métodos usados na determinação de K_p para as condições do município de Juazeiro, BA. Para tanto, foram obtidos dados meteorológicos diários da estação climatológica de Mandacaru, no município de Juazeiro, BA, pertencente à Embrapa Semi-Árido, no período de 1998 a 2006. Para as condições deste estudo, concluiu-se que, entre os métodos avaliados, o proposto por PEREIRA et al. (1995), para determinação do K_p, foi o que melhor estimou a ET_o, sendo que os de CUENCA (1989), SNYDER (1992) e os descritos por ALLEN et al. (1998) (FAO caso A, FAO caso B) superestimaram os valores de K_p, e, conseqüentemente, de ET_o. O uso, na região do Submédio São Francisco, do valor de K_p fixo igual a 0,75 superestima a lâmina de irrigação em até 37%, sendo recomendados os valores de K_p médio mensal de: janeiro (0,58); fevereiro (0,57); março (0,57); abril (0,55); maio (0,54); junho (0,53); julho (0,53); agosto (0,51); setembro (0,52); outubro (0,55); novembro (0,54), dezembro (0,56); no caso de se adotar um valor médio de coeficiente do tanque Classe “A”, como é comum na região do Submédio São Francisco, quando se usa tanque Classe “A”, recomenda-se 0,55. No caso de se usar uma equação para a estimativa dos valores de K_p, recomenda-se o método proposto por PEREIRA et al. (1995).

Palavras-chave: evaporação, necessidades hídricas, manejo de irrigação.

Abstract: The use of class-A pan as instrument for determination of water requirements for irrigated crops has been widely used, and it is one of the methods recommended in the FAO-Paper 56. To convert water evaporation from class-A pan to reference evapotranspiration there is a need of a multiplying factor known as class-A pan coefficient (K_p), which is dependent on installation conditions of the equipment and local weather. In the literature there are many approaches to determine K_p, from tables to mathematical functions. This research's objective was to evaluate the performance of different approaches to estimate K_p to obtain ET_o. To do so, a series of meteorological data (1998-2006) from Mandacaru irrigated district, in the city of Juazeiro (state of Bahia, Brazil), was used to estimate K_p and

¹ Engº Agrº Dr., Embrapa Semi-Árido, BR 428, Km 152, Zona Rural - Caixa Postal 23 Petrolina, PE - Brasil - CEP 56302-970, E-mail: marcos.braga@cpatsa.embrapa.br

² Engº Agrº Dr., Embrapa Semi-Árido, BR 428, Km 152, Zona Rural - Caixa Postal 23 Petrolina, PE - Brasil - CEP 56302-970.

³ Engº Agrº Dr., Embrapa Semi-Árido, BR 428, Km 152, Zona Rural - Caixa Postal 23 Petrolina, PE - Brasil - CEP 56302-970.

⁴ Doutorando da UFV, Agronomia, Meteorologia Agrícola

ET_o. The results showed that the PEREIRA et al. (1995) approach to calculate K_p gave the best estimates of ET_o. It was also found that the methods FAO-A, FAO-B, SNYDER (1992) and CUENCA (1989) overestimated K_p and ET_o values. Many farmers from the region use a single average value for K_p (0.75) for all months, however this study showed that it overestimated ET_o by 37%. The use of monthly K_p determined by standard methodology ($K_p = ET_o / EV$), where ET_o was calculated by the Penman-Monteith approach (FAO-56) and EV is the class-A pan evaporation, resulted in the following K_p values: January (0.58); February (0.57); March (0.57); April (0.55); May (0.54); June (0.53); July (0.53); August (0.51); September (0.52); October (0.55); November (0.54) and December (0.56). Therefore, an average K_p value found for practical use was 0.55, for the studied environmental conditions.

Key words: Evaporation, water requirements, water management.

Introdução

O uso racional dos recursos hídricos preconiza a preservação e a otimização do uso da água. Segundo informações da FAO, a irrigação é uma das atividades que mais demandam água, atingindo cerca de 70% do volume utilizado no mundo. Como o consumo de água pelas plantas varia com a espécie, o estágio fenológico e o clima, deve-se determinar a quantidade exata de água a ser aplicada, a fim de se reduzir em perdas na produção, tanto por excesso quanto por déficit.

A estimativa da perda de água por meio dos processos de evaporação ou evapotranspiração, segundo MARTINEZ et al. (2006), tem relevância primária para o monitoramento, a pesquisa e o manejo de recursos hídricos, tanto em escala local (propriedade agrícola) quanto em escala regional. Em áreas áridas ou semi-áridas, em que a disponibilidade de água é limitada, a determinação das perdas de água torna-se relevante para otimizar as práticas de irrigação (KISI, 2006). No entanto, para o correto planejamento, dimensionamento e manejo de irrigação, faz-se necessária a utilização de técnicas que permitam quantificar o consumo de água pelas plantas (evapotranspiração da cultura, ET_c), as quais, na maioria dos casos, requerem um grande número de parâmetros do solo, da planta ou do clima ou mesmo de equipamentos sofisticados, o que limita a sua aplicabilidade (MENDONÇA et al., 2006).

Visando subsidiar a determinação da ET_c e o planejamento dos sistemas de irrigação, foi criada a componente evapotranspiração de referência (ET_o). Com os valores de ET_o, é possível determinar a ET_c de uma cultura, a partir

do produto com o coeficiente de cultivo (K_c), que varia entre espécies e, nessas, entre os estádios fenológicos. A ET_o, segundo BERNARDO et al. (2006), pode ser estimada por métodos diretos e indiretos. O tanque Classe "A" é um dos métodos indiretos de uso generalizado, inclusive no Brasil, em virtude do seu fácil manejo e baixo custo de implantação. Atualmente, o método padrão de estimativa dos valores de ET_o é o de Penman-Monteith, proposto no manual da FAO-56. No entanto, esse método requer a determinação de um coeficiente denominado coeficiente do tanque (K_p), que varia de acordo com o local e as condições climáticas (ALLEN et al., 1998). Os métodos para cálculo dos valores de K_p normalmente utilizam informações de umidade relativa do ar (UR), velocidade do vento (V_v), bem como do comprimento da bordadura (B) e tipo de superfície (TS, grama ou solo nu) em torno do tanque Classe "A". Porém, existem diversas formas de obtenção desse coeficiente, como as propostas por CUENCA (1989), SNYDER (1992) e PEREIRA et al. (1997), que podem resultar em valores diferentes, dependendo do local (SENTELHAS e FOLEGATTI, 2003; MENDONÇA et al., 2006).

A proposta de uma equação polinomial para estimar os valores de K_p por meio das informações de UR, V_v e B foi feita por CUENCA (1989), porém, segundo SNYDER (1992), a equação elaborada por esse autor é complexa e os resultados obtidos pela mesma, em alguns casos, diferem daqueles valores propostos originalmente por DOORENBOS e KASSAM (1979). Assim, SNYDER (1992) formulou uma equação linear múltipla, relacionando essas variáveis, para estimar os valores de K_p. Uma equação de estimativa dos

valores de Kp com limite superior de 0,85, relacionando os valores de ETo com a evaporação do tanque Classe “A”, foi proposta por PEREIRA et al. (1995). O boletim da FAO-56 propõe dois métodos de estimativa dos valores de Kp (FAO Caso A e FAO Caso B), que dependem da cobertura do solo e da localização em que o tanque se encontra instalado, bem como das condições de vento e umidade relativa do ar.

Na região de Piracicaba, SP, SENTELHAS e FOLEGATTI (2003) concluíram que os melhores métodos de determinação do Kp para estimativa da ETo foram os propostos por PEREIRA et al. (1995) e CUENCA (1989) e que o uso de um Kp arbitrário e constante de 0,71 na estimativa de ETo resultou na mesma precisão e exatidão das estimativas feitas com os valores de Kp determinados pelos métodos citados. CONCEIÇÃO (2002) concluiu que a estimativa da ETo por meio do método do tanque Classe “A”, empregando o modelo de SNYDER para a determinação de Kp foi a que proporcionou os maiores coeficientes de determinação (r^2) e índices de concordância (d) em relação a ETo – PM, para a região noroeste do Estado de São Paulo, e que o valor médio anual de Kp, determinado a partir da relação entre ETo - PM e EV, foi de 0,74. CHIEW et al. (1995) encontraram correlação positiva entre o método do tanque Classe “A” e PM; entretanto, somente recomendam o método do tanque quando os coeficientes (Kp) sejam bem determinados, pois os coeficientes são muito dependentes das condições climáticas locais. Os mesmos devem ser determinados comparando os dados do tanque com a ETo determinada por PM.

A região do Vale do Submédio São Francisco é um dos maiores pólos de fruticultura irrigada do país. Assim, como os valores de Kp variam entre locais e existem várias metodologias de estimativa, faz-se necessário avaliar ou propor valores de Kp que melhor se ajustem a essa região, uma vez que ainda existem vários produtores que utilizam o tanque Classe “A” na estimativa da lâmina de irrigação. Assim, este trabalho teve como objetivos: (a) comparar os vários métodos de estimativa dos valores dos coeficientes do tanque Classe “A” (Kp) para a região do Vale do Submédio São Francisco; (b) avaliar os efeitos dos diferentes valores de Kp obtidos na estimativa da

ETo; (c) simplificar a utilização dos valores de Kp na região, por meio da proposição de Kp médios mensais e anual.

Materiais e Métodos

Para comparar os diferentes métodos de estimativa dos valores de Kp, foram utilizados os dados meteorológicos diários do período de 1998 e 2006, pertencentes à estação climatológica do Campo Experimental de Mandacaru, da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa Semi-Árido), localizada no município de Juazeiro, BA (latitude 9° 24' S, longitude 40° 24' W e altitude de 375,5m).

Os valores diários de Kp foram calculados por meio da relação entre ETo e EV, utilizando a equação descrita em BERNARDO et al. (2006) e considerados como padrão ou estimados por meio de diferentes métodos propostos na literatura, sendo que os valores de EV (mm.dia^{-1}) foram obtidos em um tanque Classe “A” situado na mesma área da estação climatológica e os valores de ETo foram calculados por meio da equação de Penman-Monteith.

Para a estimativa dos valores de Kp, foram utilizados seis métodos comumente citados na literatura, a saber:

A) SNYDER (1992)

$$Kp = 0,482 + 0,024 \ln(B) - 0,000376 u_2 + 0,0045 UR_m \quad (1)$$

B) CUENCA (1989)

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

em que u_2 é a velocidade do vento a dois metros de altura, em km/dia; UR_m a umidade relativa média (%) e B é a bordadura da área com grama, considerada igual a 10 m.

C) PEREIRA et al. (1995)

$$Kp = \frac{0,85(\Delta + \gamma)}{\left[\Delta + \gamma \left(1 + \frac{r_c}{r_a} \right) \right]} \quad (3)$$

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).

$$D_1) \text{ FAO Caso A (FAO A) (ALLEN et al., 1998)} \\ K_p = 0,108 - 0,0286 u_2 + 0,0422 \ln(B) + 0,1434 \ln(UR_m) - 0,000631 [\ln(B)]^2 \ln(UR_m) \quad (4)$$

$$D_2) \text{ FAO Caso B (FAO B) (ALLEN et al., 1998)} \\ K_p = 0,61 + 0,00341 UR_m - 0,000162 u_2 \cdot UR_m - 0,00000959 u_2 B + 0,00327 u_2 \ln(B) - 0,00289 u_2 \ln(86,4 u_2) - 0,0106 \ln(86,4 u_2) \ln(B) + 0,00063 [\ln(B)]^2 \ln(86,4 u_2) \quad (5)$$

E) DOORENBOS e PRUITT (1977) - foi considerado o valor médio anual (0,75) obtido na tabela proposta por DOORENBOS e PRUITT (1977).

O valor médio anual de $K_p = 0,75$, obtido na tabela proposta por DOORENBOS e PRUITT (1977), tem sido comumente utilizado na estimativa da lâmina de irrigação para o manejo da água dos perímetros irrigados e fazendas da região do Vale do Submédio São Francisco.

Na estimativa da E_{To} pelo método do tanque Classe "A", utilizando os valores de K_p dos diferentes métodos, foi considerada a equação $E_{To} = K_p \times EV$, em que EV , em $mm \cdot dia^{-1}$, e K_p , em decimal. Os valores de K_p estimados pelos métodos foram comparados com os valores de K_p calculado por meio da equação de Penman-Monteith. A partir dos valores calculados por essa equação, uma análise adicional proposta neste trabalho foi ajustar os valores de K_p para a região do Vale do Submédio São Francisco, a partir do método da FAO 56 e, em seguida, propor valores de K_p médios mensais e anual, visando a simplificar a utilização dos mesmos na região, principalmente, para aqueles produtores que não dispõem de dados meteorológicos.

Esses valores de K_p , bem como os estimados por meio dos diferentes métodos citados, foram obtidos utilizando uma série de dados meteorológicos de sete anos (entre 1999 e 2005) e, posteriormente, foram utilizados para o cálculo da E_{To} pelo método do tanque Classe "A". Os resultados de K_p obtidos foram utilizados para calcular os valores de E_{To} para os anos de 1998 e 2006 e, em seguida comparados com os valores de E_{To} calculados pelo método padrão da FAO 56, para os mesmos anos. Para a avaliação dos valores de K_p , foram determinados os índices estatísticos de precisão (coeficiente de correlação, r) e o de exatidão (índice de concordância, d), propostos por WILLMOTT et al. (1985). Em seguida, foram estimados os erros estatísticos: erro

médio de estimativa (MBE) e a raiz quadrada do quadrado do erro médio (RQME). Para essa avaliação, foram considerados os valores médios mensais de K_p determinados tanto pelos métodos avaliados, quanto pelos valores calculados mediante a equação do K_p descrita em BERNARDO et al. (2006). Para as análises estatísticas dos dados de K_p estimados e calculados pela equação do K_p , foram considerados os dados médios mensais de EV e de E_{To} . Como os índices utilizados na avaliação não indicam as diferenças estatísticas dos resultados obtidos, realizou-se o teste de média, utilizando os anos como repetições e os métodos de estimativa do K_p como tratamentos e estimando os valores de K_p e E_{To} para cada mês do ano. Todos os métodos foram comparados em relação ao K_p calculado, considerado como padrão.

Resultados e Discussão

A Figura 1 mostra a correlação entre a evapotranspiração de referência média mensal (E_{To}) calculada utilizando os valores de K_p estimados e o valor médio de K_p obtido na tabela de DOORENBOS e PRUITT (1977) e a E_{To} determinada pela equação de Penman-Monteith padrão FAO (E_{To} PM-FAO).

Na Figura 1, observa-se que os coeficientes de correlação (r) variaram entre 0,91 e 0,99, indicando uma boa precisão, ou seja, um baixo desvio dos valores médios mensais da evapotranspiração de referência (E_{To}) obtidos com os valores de K_p estimados pelos métodos estudados, em relação à média dos mesmos. O menor valor de r foi obtido para os valores de E_{To} calculados com o K_p de PEREIRA et al. (1995) (Figura E); no entanto, igual a 0,91. Os valores de K_p de Snyder, FAO Caso A, FAO Caso B e Cuenca obtiveram coeficientes de correlação iguais a 0,99, enquanto, para o método do K_p fixo (0,75) de DOORENBOS e PRUITT (1977), o valor foi igual a 0,97. Esses resultados foram superiores aos obtidos por CONCEIÇÃO (2002), que variaram de 0,89 a 0,93; enquanto que SENTELHAS e FOLEGATTI (2003), para as condições de Piracicaba, SP, obtiveram valores de r situados entre 0,83 e 0,87. Apesar dos resultados satisfatórios obtidos com relação aos valores de r , constata-se, pela na Figura 1, que o índice de concordância (d) apresentou resultados

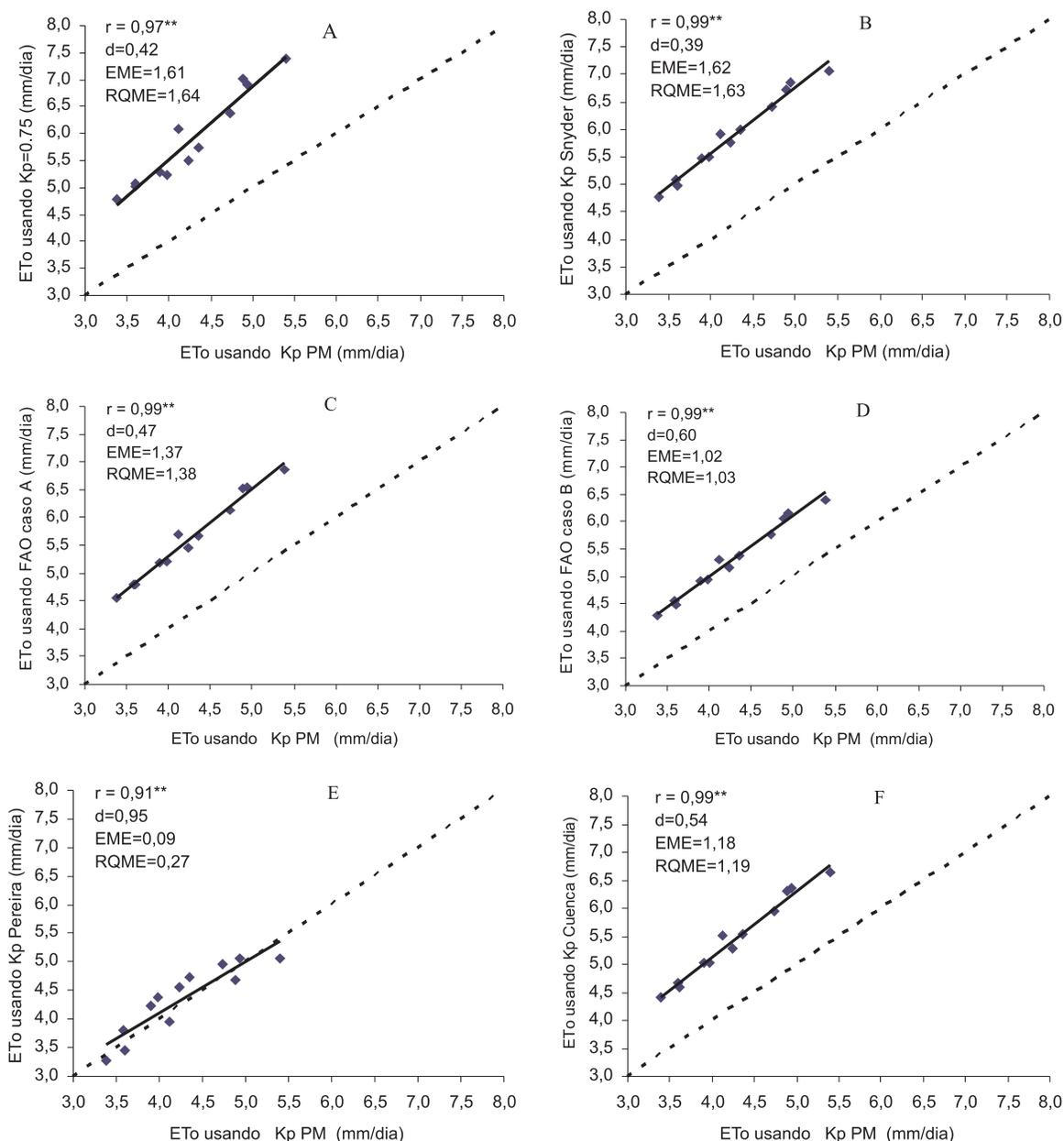


Figura 1. Correlação entre a evapotranspiração de referência (ETo) média mensal, calculada usando os Kps estimados pelos métodos A (Kp = 0,75), B (Snyder), C (FAO caso A), D (FAO caso B), E (Pereira) e F (Cuenca) e a ETo padrão estimada pela equação de Penman-Monteith, para o período de 1999 a 2005.

satisfatórios apenas quando Kp foi estimado pelo método de PEREIRA et al. (1995), com d igual a 0,95 (Figura E). Resultados semelhantes foram obtidos por SENTELHAS e FOLEGATTI (2003).

Por ter apresentado valor de d mais próximo de 1 quando comparado aos outros métodos, esse resultado indica que o método de PEREIRA et al. (1995) permitiu estimar os valores de ETo com melhor exatidão, para os anos de

1998 e 2006, ou seja, com um baixo desvio entre os valores estimados e observados. Para os demais métodos, os valores de d variaram entre 0,39 e 0,60, o que justifica as retas das regressões desses métodos se distanciarem da reta 1:1 (Figura 1). O menor valor de d foi obtido quando o Kp foi estimado pelo método de SNYDER, o qual foi igual a 0,39, diferente do que foi encontrado por CONCEIÇÃO (2002) que obteve maior valor de

índice de concordância (d) para o método de estimativa de Kp proposto por SNYDER. Possivelmente essa diferença possa ser explicada devido às condições edafoclimáticas de cada região (McVICAR et al., 2007).

Em relação aos erros de estimativa (MBE e RMSE), constata-se pela Figura 1, que os melhores resultados foram obtidos quando o Kp foi estimado pelo método de PEREIRA et al. (1995). O valor do erro médio absoluto (MBE) foi igual a 0,09 mm.dia⁻¹, informando que houve uma pequena superestimativa da ETo estimada com Kp de PEREIRA et al. (1995), em relação à ETo PM-FAO. Esses resultados foram inferiores aos obtidos por SENTELHAS e FOLEGATTI (2003) que, estimando os valores de ETo por meio dos valores de Kp de PEREIRA et al. (1995), obtiveram erros em torno de 0,426 mm.dia⁻¹. Os valores de BEM, para os demais métodos analisados, variaram de 1,02 a 1,62 mm.dia⁻¹, sendo o resultado menos satisfatório obtido pelos valores de ETo estimados por meio do valor médio de Kp (0,75) de DOORENBOS e PRUITT (1977), o que se deve à adoção de um valor único para todos os meses do ano, utilizado pelos produtores do Vale do Submédio São Francisco.

O valor de RMSE obtido para a ETo com Kp de PEREIRA et al. (1995) foi de 0,27 mm.dia⁻¹ indicando um baixo erro de estimativa obtido pelo método para um determinado mês, indicando a possibilidade do uso desse método na região, quando se dispuser de dados meteorológicos necessários à sua estimativa. Nessa condição, observou-se que os valores de ETo estimados por meio dos coeficientes do tanque Classe "A" (Kp) médio

anual resultaram em um coeficiente de correlação (r) igual a 0,95 e um índice de concordância (d) igual a 0,97, quando comparados com os valores de ETo PM-FAO. Os erros MBE e RMSE foram bastante baixos, sendo iguais a 0,04 e 0,21 mm . dia⁻¹, respectivamente. Os demais métodos apresentaram valores de RMSE variando de 1,03 a 1,64 mm.dia⁻¹. O resultado menos satisfatório novamente foi obtido quando se utilizou o valor médio de Kp (0,75).

A Tabela 1 mostra a análise estatística entre os valores médios mensais de Kp estimados por meio dos seis métodos avaliados. Observa-se que o método proposto por PEREIRA et al. (1995) não foi estatisticamente diferente em nenhum dos meses do ano, ao nível de 1%, pelo teste de Tukey, dos valores de Kp calculados a partir da ETo de PM-FAO e evaporação do tanque Classe "A".

Esses resultados mostram que para as condições climáticas do Vale do Submédio São Francisco, a equação proposta por PEREIRA et al. (1995) pode ser utilizada para a estimativa dos valores de Kp do tanque Classe "A" e, conseqüentemente, da ETo. Comparando os valores médios anuais de Kp entre os diferentes métodos e o padrão, observa-se que o método de PEREIRA et al. (1995) resultaria em um erro de apenas 2% na estimativa da lâmina de irrigação, ao longo de um ano de produção. Por outro lado, os métodos da FAO Caso A e FAO Caso B, SNYDER (1992) e CUENCA (1989) superestimaram os coeficientes do tanque Classe "A" e, conseqüentemente, poderão resultar em lâminas de irrigação com excessos de 31%, 23%, 37% e 27%, respectivamente.

Tabela 1. Média mensal dos valores do coeficiente do tanque Classe "A" (Kp), calculados por meio dos cinco métodos estudados para a série de dados, entre 1999 e 2005, em Juazeiro, BA.

Mês	Kp Padrão	Kp FAO A	Kp FAO B	Kp Snyder	Kp Pereira	Kp Cuenca	CV (%)
Janeiro	0,58 c	0,74 a	0,70 b	0,79 a	0,62 c	0,72 b	4,72
Fevereiro	0,57 c	0,74 a	0,70 b	0,78 a b	0,62 b c	0,72 b	5,49
Março	0,57 c	0,74 a	0,71 b	0,79 a	0,63 c	0,72 b	5,15
Abril	0,55 c	0,73 a b	0,69 b	0,77 a	0,60 c	0,71 a b	6,40
Mai	0,54 c	0,73 a b	0,68 b	0,76 a	0,57 c	0,70 b	4,92
Junho	0,53 c	0,71 a b	0,67 b	0,75 a	0,51 c	0,69 b	5,06
Julho	0,53 d	0,71 a b	0,66 c	0,74 a	0,51 d	0,69 b c	3,89
Agosto	0,51 e	0,70 a	0,66 d	0,73 a	0,49 e	0,68 c	2,24
Setembro	0,52 d	0,70 a b	0,65 c	0,72 a	0,50 d	0,67 b c	2,56
Outubro	0,55 d	0,70 a b	0,65 c	0,72 a	0,51 d	0,67 b c	3,77
Novembro	0,54 d	0,72 a b	0,67 c	0,74 a	0,56 d	0,69 b c	3,01
Dezembro	0,56 d	0,72 a b	0,68 c	0,76 a	0,58 d	0,70 b c	3,47
Soma	6,54	8,65	8,13	9,05	6,70	8,37	
Média	0,55	0,72	0,68	0,75	0,56	0,70	
%Kp padrão		+ 31	+ 23	+ 37	+ 2	+ 27	

* Valores médios referentes aos meses seguidos pelas mesmas letras são estatisticamente iguais pelo método de Tukey ao nível de significância de 1% ($p = 0,01$). CV é o coeficiente de variação. % Kp padrão é a porcentagem de sub ou superestimativa dos Kps estimados pelos métodos estudados em relação aos valores calculados de Kp por meio da ETo da equação de Penman-Monteith e a evaporação do tanque Classe "A".

Nas condições do Vale do Submédio São Francisco, é comum produtores e técnicos utilizarem um valor médio anual de $Kp = 0,75$, resultante da tabela de DOORENBOS e PRUITT (1977), para estimativa da ETo. Contudo, observou-se, neste estudo, que, adotando apenas esse valor, os produtores podem estar aplicando lâminas de irrigação com volumes médios de 37% acima da quantidade necessária para o bom crescimento e desenvolvimento das culturas, sendo que tal fato pode vir a causar perdas de nutrientes por lixiviação, contaminação do lençol freático, diminuição da aeração e aumento da salinização dos solos, além de elevar o custo de produção, devido ao maior consumo de água e energia.

Para os produtores que não dispõem dos dados de umidade relativa do ar e velocidade do vento, para calcular os valores de Kp pelo método de PEREIRA et al. (1995), uma alternativa seria a adoção de valores médios mensais de Kp resultantes da série de sete anos de dados (entre 1999 e 2005). Os valores de Kp de cada mês desses anos permitiram a obtenção de valores médios que poderão ser utilizados para o cálculo da ETo para fins de irrigação, na região em estudo. Esses valores são apresentados na Tabela 1 e referem-se ao Kp padrão obtido por meio da relação da evapotranspiração de referência, calculada por PM-FAO, e os valores da evaporação do tanque Classe "A". Os valores médios de Kp variaram entre 0,51 e 0,58, para os meses de agosto e janeiro, respectivamente.

Para avaliar o desempenho desses valores médios de Kp na estimativa da ETo, os mesmos foram utilizados para estimar a ETo pelo método do tanque Classe "A", para os anos de 1998 e 2006 e, em seguida, os resultados foram comparados com os valores de ETo PM-FAO desses dois anos (Figura 2).

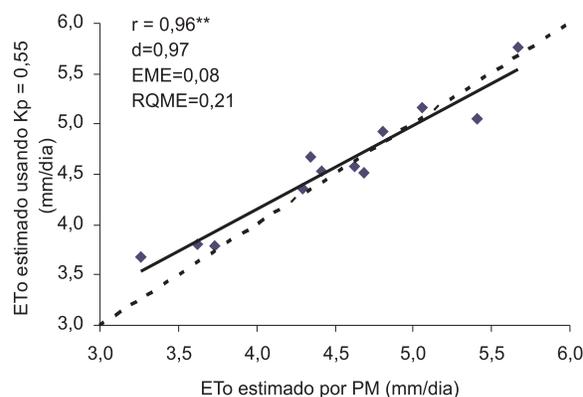


Figura 2. Correlação entre os valores médios mensais da evapotranspiração de referência (ETo), estimada para os anos de 1998 e 2006 (dados independentes), utilizando os valores médios mensais do Kp padrão e os valores de ETo PM-FAO, para o período de 1999 a 2005, em Juazeiro, BA.

Os valores de r e d foram iguais a 0,96 e 0,97 e os erros MBE e RMSE foram de 0,08 e 0,21, respectivamente, mostrando que os valores médios mensais de Kp (padrão), podem ser utilizados para a estimativa da ETo, e conseqüentemente, para estimativa da lâmina de irrigação a ser aplicada. Não obstante, muito dos produtores atualmente utilizam apenas o valor médio anual de 0,75, o que difere do valor médio de Kp de 0,55 encontrado pela metodologia de PM, e pode superestimar a quantidade de água de irrigação em 37%, para as condições de estudo.

Uma alternativa para os produtores da região, visando simplificar ainda mais o uso dos valores de Kp, seria utilizar o valor médio anual de 0,55. Quando se utilizou esse valor para estimar os valores médios mensais da ETo pelo método do tanque Classe "A" e, posteriormente, avaliar o seu desempenho (Figura 3), constatou-se que os resultados foram também satisfatórios. Observou-se que os valores de ETo estimados por meio dos coeficientes do tanque Classe "A" (Kp) médio anual resultaram em um coeficiente de correlação (r) igual a 0,95 e um índice de concordância (d) igual a 0,97, quando comparados com os valores de ETo PM-FAO. Os erros MBE e RMSE foram bastante baixos, sendo iguais a 0,04 e 0,21 $\text{mm} \cdot \text{dia}^{-1}$, respectivamente.

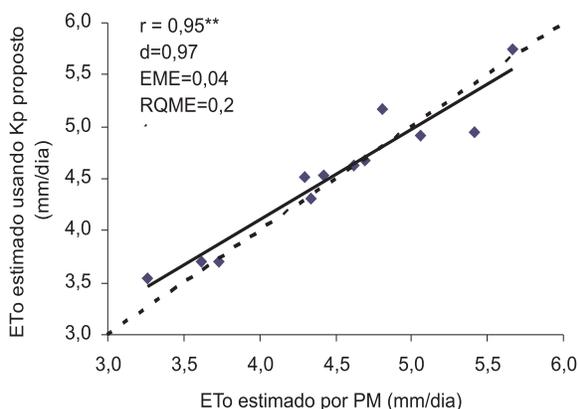


Figura 3. Correlação entre os valores médios mensais da evapotranspiração de referência (ETo), estimada para os anos de 1998 e 2006, utilizando o valor anual do Kp padrão (0,55) e os valores de ETo PM-FAO, para o período de 1999 a 2005, em Juazeiro, BA.

Os diferentes valores de Kp encontrados com o uso do método de PM e da evaporação do tanque Classe "A" confirmam a recomendação proposta por CHIEW et al. (1995), de que se deve usar a tabela de Kp, proposta no boletim FAO-24, quando não se dispõe de dados agroclimatológicos que possam estimar o ETo pelo método de PM, e posteriormente, calcular o Kp pela relação entre ETo e EV.

Conclusão

Utilizando diferentes métodos de estimativa dos valores de Kp para a região do Vale do Submédio São Francisco, concluiu-se que: a) o melhor método de estimativa do coeficiente do tanque (Kp) foi o proposto por PEREIRA et al. (1995); b) todos os demais métodos de determinação de Kp superestimaram os valores de ETo do tanque Classe "A"; c) o uso de um coeficiente médio anual de 0,75 do tanque Classe "A" (Kp), para todos os meses do ano, como é comum na região, superestima a lâmina de irrigação em até 37%; d) para as condições em estudo, o uso de coeficientes do tanque Classe "A"

determinados mensalmente pelo método padrão ($K_p = ETo/EV$), com ETo estimada pela equação de Penman-Monteith, mostrou-se mais eficiente para estimativa da ETo; e) caso o produtor queira utilizar apenas um valor de coeficiente do tanque Classe "A" para todo período do ano, o mais recomendado é o valor de Kp igual a 0,55.

Referências Bibliográficas

ALLEN, R.G. et al. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 279 p. (FAO, Irrigation and Drainage Paper, 56).

BERNARDO, S.; SOARES, A.A.; MANTOVANI, E.C. **Manual de irrigação**. 8. ed. Viçosa: UFV, 2006. 625 p.

CHIEW, F. H. S. et al. Penman-Monteith, FAO-24 reference crop evapotranspiration and class-A pan data in Australia. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 28, p. 9-21, 1995.

CONCEIÇÃO, M.A.F. Reference evapotranspiration based on class-A pan evaporation. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 59, n. 3, p. 417-420, 2002.

CUENCA, R.H. **Irrigation system design: an engineering approach**. New Jersey: Prentice-Hall, 1989. 133 p.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A.H. **Yield response to water**. Rome: FAO, 1979. 193 p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 33).

DOORENBOS, J., PRUITT, W.O. **Crop Water Requirements**. Rome: FAO, 1977. 168 p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 24).

KISI, O. Daily pan evaporation modelling using a neuro-fuzzy computing technique. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 329, p. 636-646, 2006.

MARTINEZ, J.M.M. et al. A simulation model for predicting hourly pan evaporation from meteorological data. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 318, p. 250-261, 2006.

McVICAR, T.R. et al. Spatially distributing monthly reference evapotranspiration and pan evaporation considering topographic influences. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 338, p. 196-220, 2007.

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, p. 123-128, 2006.

PEREIRA, A.R. et al. A model for class-A pan coefficient. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 76, p. 75-82, 1995.

PEREIRA, A.R.; VILLA NOVA, N.A.; SEDIYAMA, G.C. **Evapo(transpi)ração**. São Paulo: FEALQ, 1997. 183 p.

SENTELHAS P.C.; FOLEGATTI, M.V. Class-A pan coefficients (Kp) to estimate daily reference evapotranspiration (ET_o). **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 conversions. **Journal of the Irrigation and Drainage Engineering**, New York, v. 118, p. 977-980, 1992.

WILLMOTT, C.J. Statistics for the evaluation and comparison of models. **Journal of Geophysical Research Oceans**, Washington, n. 90, p. 8995-9005, 1985.