

COMPARAÇÃO ENTRE A EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA OBTIDA PELO TANQUE “CLASSE A” E PELA EQUAÇÃO FAO-PENMAN-MONTEITH NA REGIÃO DO SUBMÉDIO SÃO FRANCISCO

Magna Soelma Beserra de Moura¹, José Monteiro Soares¹

ABSTRACT

For using the Class A sunken pan for estimating the reference evapotranspiration (E_{To}) is necessary the determination of the pan coefficient (K_p), which depends of several factors, as the size and state of the upwind buffer zone (fetch), wind, and humidity on the evaporation from an open water surface. Most users of the Class A pan of agricultural areas from Petrolina-PE/Juazeiro-BA use K_p coefficient fixed to 0.75. The objective of this work was to compare the pan evapotranspiration obtained by using the ALLEN et al. (1998) proposal and by using a K_p coefficient fixed to 0.75. The values of K_p coefficients for local conditions were obtained by the reference evapotranspiration from FAO-Penman-Monteith (E_{To} FAO-PM) divided by Class A pan evaporation (E_t). There are no differences between the pan evapotranspiration using K_p coefficient equal to 0.75 and K_p coefficient obtained by ALLEN et al. (1998) proposal. However, the pan evapotranspiration (E_{To} TCA) was up 32% than the E_{To} (FAO-PM). The estimate K_p coefficient (K_p Est) was 0.5942.

Key words: crop evapotranspiration, pan coefficient, Class A pan

RESUMO

Na utilização do método do tanque Classe A para a estimativa da evapotranspiração de referência (E_{To}), há a necessidade de se determinar o coeficiente de tanque (K_p), o qual apresenta variação em função do tipo da área tampão ou de bordadura em torno do tanque, velocidade do vento a 2 metros de altura e umidade relativa. A maioria dos produtores do Pólo Petrolina-PE/Juazeiro-BA, que utiliza o tanque Classe A para a determinação da necessidade de irrigação, adota um valor fixo para K_p igual a 0,75. Este trabalho teve por objetivo comparar o cálculo da E_{To} obtida pelo tanque Classe A, adotando valores de K_p calculados pela equação proposta por ALLEN et al. (1998) com

¹Pesquisador, Embrapa Semi-Árido. BR 428, Km 152, Zona Rural, Caixa Postal 23, Petrolina – PE. Telefone: 87 38 62 17 11. Fax: 87 38 62 17 44. E-mail: magna@cpatsa.embrapa.br, monteiro@cpatsa.embrapa.br

os valores de ETo obtidos utilizando-se um valor fixo de Kp igual a 0,75 e, obter valores locais de Kp dividindo-se a evapotranspiração de referência determinada pelo método da FAO-Penman-Monteith (ETo FAO-PM) pela evaporação do tanque Classe A (Et). Os resultados mostraram que não existe diferença significativa entre os valores de ETo (TCA) obtida com a utilização do Kp calculado e do Kp médio igual a 0,75. No entanto, estes resultados superaram em torno de 32% os valores da ETo (FAO-PM). O coeficiente de tanque médio estimado (Kp EST) foi igual a 0,5942.

Palavras-chave: evapotranspiração da cultura, coeficiente de tanque, tanque classe A

INTRODUÇÃO

O método padrão para estimativa da evapotranspiração de referência é o modelo de Penman-Monteith parametrizado pelo Manual 56 da FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations), cuja equação é considerada um método combinado. A parametrização padroniza a cultura de referência como uma cultura hipotética de resistência aerodinâmica de 70 s m^{-1} , cobrindo totalmente o solo com uma altura de 12 cm e albedo de 0,23 (ALLEN et al., 1998). A aplicação desta metodologia é facilitada pelo uso de planilhas eletrônicas e programas computacionais capazes de manipular um grande número de dados, que deve ser incentivada para adoção pelos produtores de frutas da região de Petrolina-PE/Juazeiro-BA. No entanto, devido ao elevado número de parâmetros climáticos necessários, esta equação só é utilizada pelos que possuem estação meteorológica na fazenda/lote. Assim, como a maioria dos produtores só dispõe de tanque Classe A, há a necessidade de conhecer a relação existente os dois métodos.

O tanque Classe A é um instrumento de medida da evaporação da água em uma superfície livre, amplamente utilizado em toda rede de estações agrometeorológicas do Brasil para estimar a evapotranspiração de referência. Por se tratar de um método bastante simples de determinação da evapotranspiração de referência, o tanque Classe A é bastante difundido nas áreas irrigadas para estimativa da necessidade de irrigação das culturas.

Nas medidas da evaporação do tanque podem estar implícitas várias fontes de erro, observacionais ou não, como por exemplo, os erros decorrentes do observador no ato da realização das medidas manuais, do consumo de água por animais, da chuva e de vazamentos imperceptíveis. Além desses erros, existe também o erro resultante da utilização de um coeficiente de tanque médio ($K_p = 0,75$), fato este que ocorre na maioria das fazendas equipadas com tanque Classe A do pólo frutícola de Petrolina-PE/Juazeiro-BA. Isso ocorre porque os produtores não dispõem de anemômetros e sensores de umidade em sua propriedade para obtenção dos valores da velocidade

do vento e umidade relativa do ar, necessários para encontrar um valor de K_p mais apropriado para as condições locais, seja por meio de tabela ou de equações.

Na utilização do método do tanque Classe A para a estimativa da evapotranspiração de referência, há a necessidade de se determinar o coeficiente de tanque (K_p), o qual apresenta variação em função do tipo da área tampão ou de bordadura do tanque (“seca” ou vegetada), da velocidade do vento a 2 m de altura e da umidade relativa do ar. DOORENBOS & PRUITT (1977) apresentam uma tabela com valores de coeficiente de tanque (K_p) e, que posteriormente foi, também, proposta por ALLEN et al. (1998), os quais propuseram uma equação para estimativa dos valores de K_p , em função da área de bordadura, velocidade do vento e umidade relativa do ar. Além da equação proposta por ALLEN et al. (1998), existem diversas outras metodologias. SENTELHAS et al. (1999) testaram cinco métodos para obtenção do valor de K_p , cujos resultados constataram que as estimativas da evapotranspiração de referência pelo tanque Classe A, apresentaram alta dispersão. Estes autores verificaram, também, que a utilização de um valor fixo de K_p igual a 0,72 é uma opção simples e prática para converter evaporação do tanque em E_{To} , em condições de clima tropical.

Apesar dos cuidados na determinação do valor de K_p , seja utilizando tabelas ou equações, pode haver necessidade da realização de um ajuste sobre os valores de K_p , em função da influência das condições climáticas locais sobre os fatores que influem no coeficiente de tanque.

Diversos estudos foram realizados a fim de se obter equações para estimativa do coeficiente de tanque para condições locais e/ou simplesmente comparar a evapotranspiração de referência determinada pelo método do tanque Classe A (TCA) com a determinada pelo método FAO-Penman-Monteith. LIMA & MOURA (2003) obtiveram valores de K_p variando entre 0,54 e 0,81, para o período de observações de junho a dezembro de 2002, em Teresina – PI, tendo o K_p médio sido igual a 0,70, resultando em uma equação de regressão do tipo $E_{To} = 0,70 \times E_t$, onde E_t é a evaporação do tanque. Para a região de Lages – SC, CARDOSO et al. (2003), encontraram um valor médio para K_p igual a 0,89, mas que variam entre 0,45 e 1,19, para valores de temperatura média do ar entre 23,3°C e 10,4°C. PEREIRA et al. (1997) propõem um modelo para determinação do K_p , uma vez que a equação proposta pela FAO superestima os valores de K_p e, conseqüentemente, da evapotranspiração de referência e das necessidades de água das culturas. CHIEW et al. (1995) comparando a evapotranspiração de referência determinada pelo método do tanque Classe A com a metodologia proposta pela FAO, constataram que os resultados evidenciaram uma correlação satisfatória para períodos superiores a três dias, entretanto, recomendaram que sejam realizadas comparações locais entre as duas metodologias, uma vez que o coeficiente de tanque é bastante influenciado pelas condições climáticas locais.

A comparação entre a evapotranspiração de referência obtida pelo método do Classe A e pela metodologia proposta pela FAO, o modelo de Penman-Monteith, é incentivada para busca de coeficientes de tanque mais representativos das condições locais. Assim, o objetivo deste trabalho foi de obter coeficientes de correlação entre a evapotranspiração de referência determinada pela equação FAO-Penman-Monteith e pelo método do tanque Classe A, para escalas de tempo diárias e médias mensais, visando uma melhor determinação das necessidades de irrigação por meio de valores de ETo determinados pelo método do tanque Classe A.

MATERIAIS E MÉTODOS

Localização da área de estudo

O estudo foi baseado em dados coletados na Estação Agrometeorológica de Bebedouro (Latitude: 09°09' S; Longitude: 40°22' W; Altitude: 365m), pertencente à Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa Semi-Árido), localizada no Perímetro Irrigado de Bebedouro, Petrolina - PE.

As características climáticas do local foram obtidas após quarenta anos de funcionamento da referida estação: temperatura média anual de 26,3°C, sendo novembro o mês mais quente (28,1°C) e julho o mês mais frio (24,2°C); umidade relativa do ar média igual a 64,3%, variando entre 54,3% em outubro e 72,3% em abril; velocidade do vento média mensal, variando entre 1,6 m/s em março e 3,0 m/s em setembro, sendo 2,2 m/s a média anual (Dados não publicados). O clima da região é classificado, segundo Köppen, como sendo do tipo BSW_h' (semi-árido) (REDDY & AMORIM NETTO, 1983).

Dados climáticos

Os dados utilizados foram obtidos nos anos de 2000 a 2003, segundo os horários padronizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (BRASIL, 1992), na estação agrometeorológica convencional, citada anteriormente. Foram utilizados valores médios diários de velocidade do vento a 2 m de altura (v_2 , m.s⁻¹), umidade relativa do ar (UR, %) e total diário da evaporação do tanque Classe A (Et, mm). Também foram utilizados dados de radiação solar global (MJ.m⁻².dia⁻¹) e temperatura do ar (média, de bulbo seco e de bulbo úmido, °C).

Métodos de determinação da evapotranspiração de referência – ETo

Tanque Classe A

A evapotranspiração de referência do tanque Classe A ($ET_{oTCA}(Kp_{0,75})$) foi obtida pelas seguintes equações:

$$ET_{oTCA}(Kp_{0,75}) = Kp \times Et \quad (1)$$

e

$$ET_{oTCA}(Kp_{calc}) = Kp_{calc} \times Kp \quad (2)$$

onde $ET_{oTCA}(Kp_{0,75})$ é a evapotranspiração de referência pelo tanque Classe A (mm.dia^{-1}); Et é a lâmina diária de água evaporada do tanque Classe A (mm.dia^{-1}); Kp é o coeficiente de tanque, igual a 0,75; $ET_{oTCA}(Kp_{calc})$ é a evapotranspiração de referência pelo tanque Classe A (mm.dia^{-1}) e Kp_{calc} , é o coeficiente de tanque calculado segundo a equação 3 (ALLEN et al., 1998):

$$Kp_{calc} = 0,108 - 0,0286v + 0,0422 \ln F + 0,1434 \ln UR - 0,000631(\ln F)^2 \ln UR \quad (3)$$

em que F é o “fetch” que se refere a distância da área de bordadura, em m.

FAO–Penman-Monteith

A evapotranspiração de referência estimada pelo método FAO-Penman-Monteith ($ET_{oFAO-PM}$) foi realizada em conformidade com a parametrização de ALLEN et al. (1998), como segue:

$$ET_{oFAO-PM} = \frac{0,408\Delta(Rn - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} v_2 (e_s - e)}{\Delta + \gamma(1 + 0,3v_2)} \quad (4)$$

em que Rn é o saldo de radiação ($\text{MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$), estimado segundo PEREIRA et al. (1997), em função da radiação solar global; G é o fluxo de calor no solo ($\text{MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$); T é a temperatura média do ar ($^{\circ}\text{C}$) a 2 m de altura; v_2 é a velocidade do vento a 2 m de altura (m.s^{-1}); e_s é a pressão de

saturação de vapor (Kpa); e é a pressão atual de vapor (Kpa); Δ é a inclinação da curva de pressão de vapor (Kpa. $^{\circ}$ C $^{-1}$); γ é o parâmetro psicrométrico (Kpa. $^{\circ}$ C $^{-1}$).

Após a obtenção dos valores diários da evapotranspiração de referência, foram calculadas médias mensais para cada ano estudado, bem como médias mensais para todo período analisado. Foi feita a comparação dos valores de ET_{TCA} ($Kp_{0,75}$) com os de ET_{TCA} (Kp_{CALC}), tanto a nível diário, quando a reta foi forçada a interceptar a origem, resultando em uma equação do tipo $y = a.x$; como a nível médio mensal para cada ano estudado, gerando equações de correlação do tipo $y = a.x + b$.

Também foram obtidas equações de regressão entre a ET_{FAO-PM} e ET_{TCA} ($Kp_{0,75}$) e ET_{TCA} (Kp_{calc}), neste caso, foram consideradas apenas as médias mensais.

A fim de se estimar os coeficientes de tanque mensais e anuais para a região de estudo, considerou-se:

$$ET_{FAO-PM} = Kp_{est} \times Et \quad (4)$$

Os valores médios mensais e anuais dos valores de Kp estimados (Kp_{est}) e calculados (Kp_{cal}) também foram comparados.

RESULTADO E DISCUSSÃO

A relação entre a evapotranspiração de referência determinada pelo tanque Classe A, utilizando-se as duas metodologias de obtenção do Kp , a nível diário, é mostrada na Figura 1. Observa-se que a equação de correlação foi obtida forçando-se a interseção da reta pela origem, assim, a ET_{TCA} (Kp_{calc}) pode ser obtida simplesmente multiplicando o valor da ET_{TCA} ($Kp_{0,75}$) por uma constante. Obteve-se uma boa correlação entre ambas estimativas, com valores de $R^2 > 0,9$, e como pode ser observado na Figura 1, há pouca diferença entre a ET determinada pelo tanque Classe A utilizando-se Kp fixo igual a 0,75 e o Kp calculado por meio da equação 3, que necessita de medidas de velocidade do vento e de umidade relativa do ar.

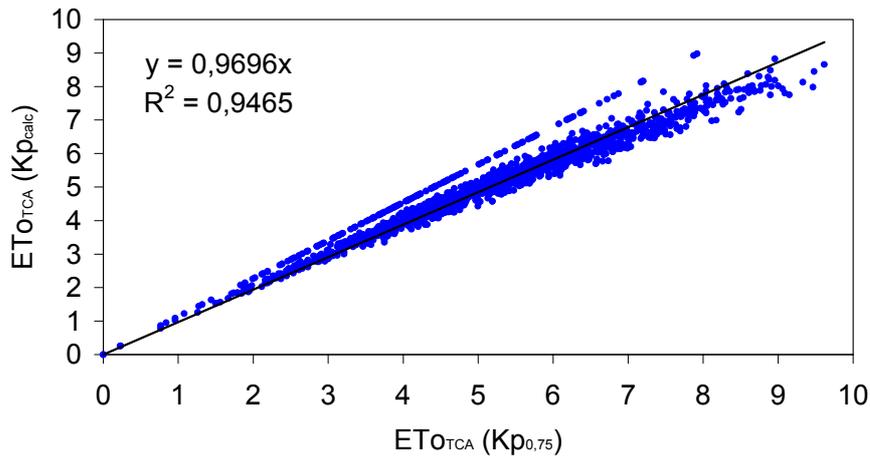


Figura 1. Relação entre a evapotranspiração de referência determinada pelo tanque Classe A (ET_{0TCA}) obtida com $Kp_{0,75}$ e Kp_{calc}

A relação existente entre a evapotranspiração de referência obtida pela parametrização da FAO-Penman-Monteith e pelo método do tanque Classe A apresentou grande dispersão dos dados, tendo os valores de $ET_{0TCA} (Kp_{0,75})$ apresentado um valor de $R^2 = 0,36$ quando comparado com os de $ET_{0FAO-PM}$ (Figura 2a), enquanto que o obtido com a correlação $ET_{0TCA} (Kp_{calc})$ versus $ET_{0FAO-PM}$ apresentou $R^2 = 0,198$ (Figura 2b). Os dados médios mensais de ET_0 , também foram correlacionados, estando os valores de R^2 mostrados na Tabela 1. Neste caso, a correlação mostrou-se bem mais elevada do que a obtida com os dados diários, situando-se em torno de 0,5 para todo período estudado e para ambas as modalidades de correlação.

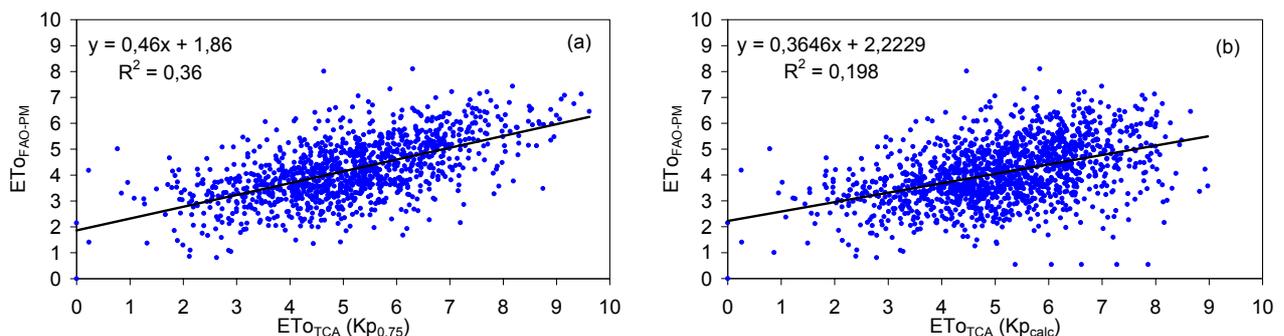


Figura 2. Relação entre os valores de evapotranspiração de referência determinados pelo tanque Classe A (ET_{0TCA}) usando $Kp_{0,75}$ e Kp_{calc} com a evapotranspiração de referência determinada pela equação FAO-Penman-Monteith

Tabela 1. Valores dos parâmetros das equações de regressão e dos coeficientes e equações de regressão entre a evapotranspiração de referência média mensal obtida pelo método da FAO-Penman-Monteith (ET_{FAO-PM}) e o método do tanque Classe A usando coeficiente de tanque igual a 0,75 (ET_{TCA} , $Kp_{0,75}$) e calculado (ET_{TCA} Kp_{calc}), para cada um dos anos estudados e para todo período analisado.

Ano	$y = a.x + b, y = ET_{FAO-PM}$					
	$x = ET_{TCA} (Kp_{0,75})$			$x = ET_{TCA} (Kp_{calc})$		
	a	b	R^2	a	b	R^2
2000	0,636	0,8142	0,6621	0,6918	0,5386	0,5487
2001	0,9216	-0,1922	0,708	1,128	-1,0051	0,6949
2002	0,6372	0,8361	0,9292	0,7918	0,1458	0,9268
2003	0,5119	0,883	0,6855	0,6655	0,0712	0,7319
Todo período	0,5682	1,1269	0,5512	0,6406	0,8208	0,4749

A equação de regressão $ET_{FAO-PM} = K_{t_{est}}.Et$, ajustada para que a reta passe pela origem, permite a estimativa da ET_{FAO-PM} , em função apenas da medida da lâmina d'água evaporada no tanque (Tabela 2), sem que haja necessidade dos valores locais de umidade relativa do ar e da velocidade do vento. Pode-se observar uma grande variabilidade dos valores de R^2 (Figura 3), sendo o menor igual a 0,4712, referente à média de todo período estudado (Tabela 2).

LIMA & MOURA (2003) obtiveram um valor de Kp igual a 0,70, para Teresina – PI, semelhante ao sugerido pela FAO (0,75). Segundo SENTELHAS et al. (1999) o uso de Kp fixo e igual a 0,72 é uma opção simples e prática para converter Et em ET_{TCA} , uma vez que esse valor produziu o mesmo nível de erro do que a determinação de ET_{FAO-PM} usando-se valores de Kp_{calc} em função da velocidade do vento, da umidade relativa do ar e da área de bordadura.

Tabela 2. Valores do coeficiente de tanque Classe A estimado ($K_{t_{est}}$) e do coeficiente de correlação (R^2) para cada ano e para todo período estudado

Ano	$ET_{FAO-PM} = K_{t_{est}}.Et$	
	$K_{t_{est}}$	R^2
2000	0,598	0,618
2001	0,6636	0,7068
2002	0,5909	0,8739
2003	0,4946	0,6396
Todo período	0,5807	0,4712

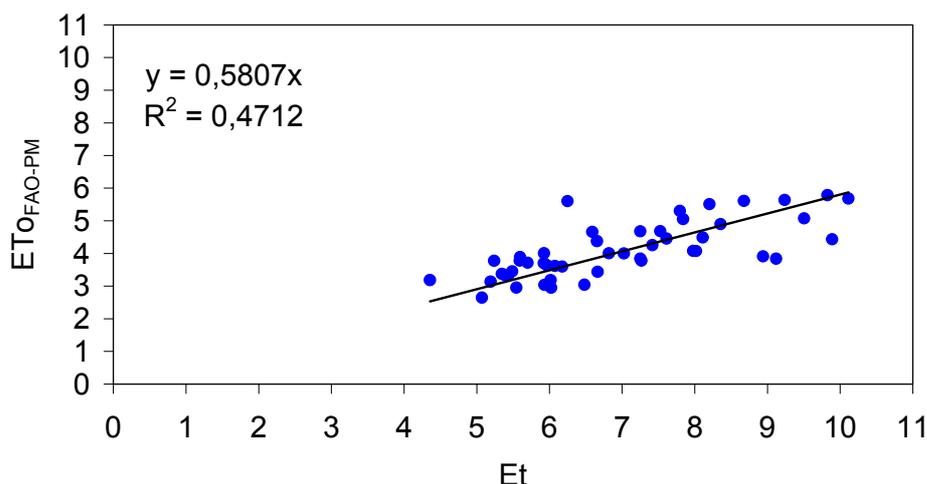


Figura 3. Relação entre os valores da evapotranspiração de referência (ET_{FAO-PM}) e a evaporação do tanque Classe A medida (Et), Petrolina - PE

Os valores de ET_{TCA} superestimaram os obtidos pela ET_{FAO-PM} em torno de 33%, quando se utiliza o valor fixo igual a 0,75 para o K_p (Figura 4a) e em 30% quando se utiliza $K_{p_{calc}}$ (Figura 4b).

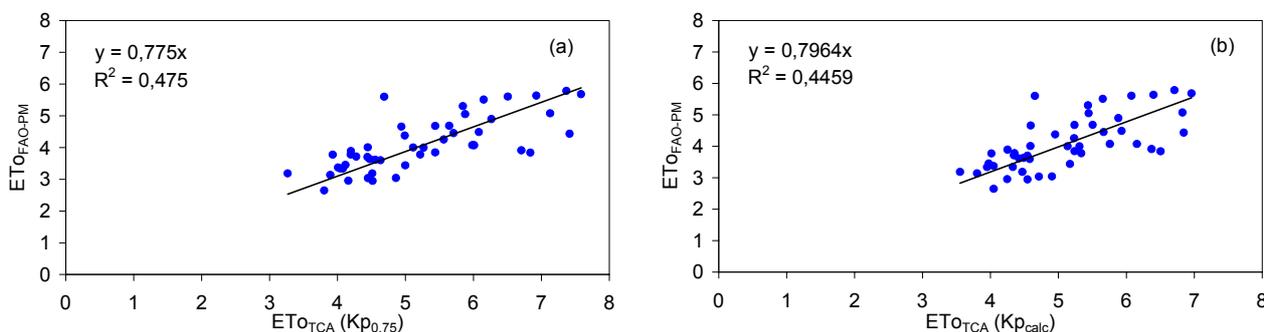


Figura 4. Relação entre a evapotranspiração de referência determinada pela equação da FAO-Penman-Monteith e pelo método do tanque Classe A, com base no valor de K_p médio igual a: a) $K_{p_{0,75}}$ e b) $K_{p_{calc}}$, Petrolina - PE.

Os valores dos coeficientes médios mensais estimados ($K_{p_{est}}$) e calculados ($K_{p_{calc}}$) são mostrados na Figura 5, assim como, seus valores médios anuais. Pode-se observar uma variação anual do K_p , tendo os valores de $K_{p_{est}}$ variado entre 0,53 e 0,70, enquanto que os de $K_{p_{calc}}$ variaram entre 0,69 e 0,78. Quando há uma diferença entre o valor médio do K_p encontrado para as condições locais e o sugerido pela FAO, seja ele fixo ($K_p = 0,75$), tabelado ou calculado (ALLEN et al. 1998), deve-se levar em consideração, que o objetivo é determinar a lâmina d'água de

irrigação, o que poderá resultar em sub ou super estimativa das necessidades de irrigação das culturas.

Segundo PEREIRA et al. (1997), os valores de K_p recomendados pela FAO superestimam os valores de K_p medidos para um clima tropical, bem como os valores da evapotranspiração das culturas.

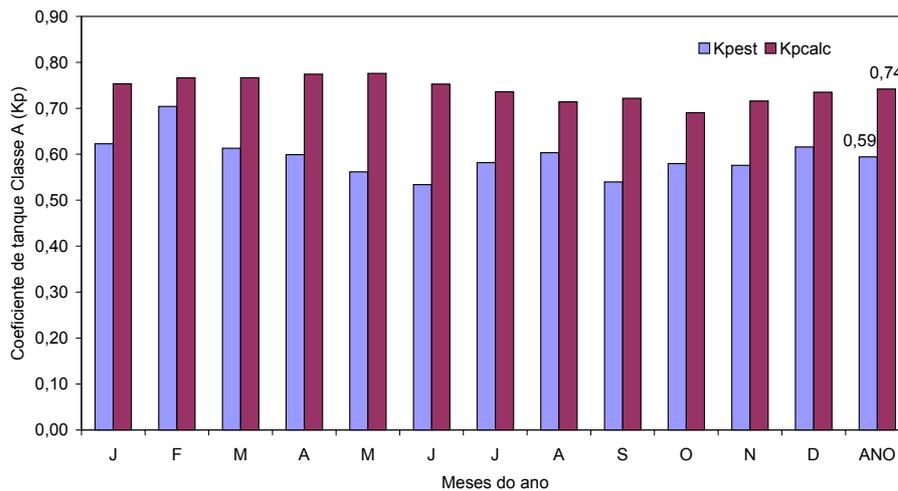


Figura 5. Valores do coeficiente de tanque (K_p) médio mensal e anual, estimado e calculado para Petrolina – PE.

CONCLUSÃO

- O uso do valor do coeficiente de tanque (K_p) fixo igual a 0,75 não difere da utilização dos valores calculados por meio da equação sugerida por ALLEN et al. (1998), no entanto, ambos superestimaram os valores de K_p estimado com base na equação da FAO-Penman-Monteith para as condições climáticas locais;
- A evapotranspiração de referencia obtida pelo método do tanque Classe A superou, em torno de 32%, a evapotranspiração de referência obtida pelo método da FAO-Penman-Monteith;
- Os valores de $K_{p_{est}}$ necessitam de testes de comprovação antes de serem utilizados para estimativa da necessidade de água das culturas;
- Recomenda-se analisar outras metodologias de cálculo de K_p , utilizando uma série mais longa de dados, a fim de contemplar mais fielmente, as variações climáticas locais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEN, R.G., PEREIRA, L.S., RAES, D., SMITH, M. **Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements**. Rome, FAO, 1998, (Irrigation and Drainage, Paper 56).
- BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. Secretaria Nacional de Irrigação. Departamento Nacional de Meteorologia. **Normais Climatológicas (1961-1990)**. Brasília, 1992. 84p.
- CARDOSO, C. O., ULLMANN, M. N., EBERHARDT, E. L. Obtenção do coeficiente do tanque evaporimétrico para estimativa da evapotranspiração para Lages-SC. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 13, 2003. Santa Maria: **Anais...** Santa Maria-RS. Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 2003, CD Rom
- CHIEW, F. H. S., KAMALADASA, N. N., MALANO, H. M., McMAHON, T. A. Penman-Monteith, FAO-24 reference crop evapotranspiration and class-A data in Austrália. **Agricultural Water Management**, v.28, p. 9-21, 1995.
- DOORENBOS, J., PRUITT, W.O. **Las necesidades de agua de los cultivos**. Roma: FAO, 1977. 194p. Riego y Drenaje, n.24.
- LIMA, M. G., MOURA, G. C. Coeficiente de tanque classe “A” e evapotranspiração de referência medida e estimada pelo método de Penman-Monteith. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 13, 2003. Santa Maria: **Anais...** Santa Maria-RS. Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 2003, CD Rom.
- PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, N. A.; SEDIYAMA, G. C. **Evapo(transpi)ração. Piracicaba, FEALQ, 1997. 183p.**
- REDDY, S. J.; AMORIM NETO, M. S. **Dados de precipitação, evapotranspiração potencial, radiação solar global de alguns locais e classificação climática do Nordeste do Brasil**. Petrolina: EMBRAPA-CPATSA, 1983. 280p.
- SENTELHAS, P.C., COELHO FILHO, M.A., VILLA NOVA, N.A., PEREIRA, A.R., FOLEGATTE, M.V. Coeficiente do tanque classe A (Kp) para a estimativa diária da evapotranspiração de referência. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 10, 1999. Florianópolis: **Anais...** Campinas. Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1999, p.100-106.