

## COEFICIENTES DE TANQUE CLASSE A (Kp) PARA ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA

GERTRUDES M. DE OLIVEIRA<sup>1</sup>, REGIANE DE C. BISPO<sup>2</sup>, MÁRIO DE MIRANDA V. B. R. LEITÃO<sup>3</sup>, IRAI M. S. SANTOS<sup>2</sup>, CAIO B. DE A. LIMA<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Prof.<sup>a</sup>, Dr.<sup>a</sup>. em Recursos Naturais, Depto. de Tecnologia e Ciências Sociais, Universidade do Estado da Bahia, UNEB, Av. Edgard Chastinet, s/n, São Geraldo, CEP 48900-000, Juazeiro-BA, Fone: (0xx74) 3611 7362, gemoliveira@uneb.br.

<sup>2</sup>Graduanda em Eng. Agrônômica, Bolsista FAPESB, Depto. de Tecnologia e Ciências Sociais, UNEB, Juazeiro - BA.

<sup>3</sup>Prof. Dr. em Meteorologia, Colegiado de Eng. Agrícola, UNIVASF, Juazeiro, BA.

<sup>4</sup>Graduando em Eng. Agrônômica, Bolsista PICIN, Depto. de Tecnologia e Ciências Sociais, UNEB, Juazeiro - BA.

Apresentado no XVII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia – 18 a 21 de Julho de 2011  
– SESC Centro de Turismo de Guarapari, Guarapari - ES.

**RESUMO:** O conhecimento da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) é fundamental para determinar o consumo hídrico das culturas. O método de Penman-Monteith é considerado pela FAO, como padrão para estimativa da ET<sub>o</sub>. Entretanto, em função do número de variáveis meteorológicas empregadas, tem-se utilizado vários outros métodos, entre esses, o do tanque classe A (TCA) se destaca como um dos mais empregados no manejo da irrigação. A evaporação do TCA é convertida para ET<sub>o</sub> por meio de um coeficiente de tanque (K<sub>p</sub>), o qual, pode ser determinado de diversas formas. O objetivo desse trabalho foi avaliar o desempenho de diferentes métodos de cálculo do K<sub>p</sub> para fins de estimativa da ET<sub>o</sub>. Os dados utilizados são referentes aos anos de 2007 a 2010, obtidos na estação meteorológica automática do DTCS/UNEB. A ET<sub>o</sub> diária considerada padrão foi calculada utilizando-se o método de Penman-Monteith – FAO. Com dados diários de evaporação do TCA e estimativas do K<sub>p</sub>, obtidas pelos métodos: Cuenca (1989), Snyder (1992), Allen et al. (1998) e Pereira et al. (1995) determinou-se a ET<sub>o</sub>. Baseado nos indicadores estatísticos, o melhor método de determinação do K<sub>p</sub>, para a estimativa da ET<sub>o</sub> foi o de Pereira et al. (1995).

**PALAVRAS-CHAVE:** consumo hídrico, evaporação do tanque classe A, irrigação.

## CLASS A PAN COEFFICIENTES (Kp) TO ESTIMATE REFERENCE EVAPOTRANSPIRATION

**ABSTRACT:** Knowledge of reference evapotranspiration (ET<sub>o</sub>) is essential to determine crop water requirement. The method of Penman-Monteith FAO is considered as the standard for estimating ET<sub>o</sub>. However, in function of the number of meteorological variables employed, has used several other methods, among these, the class A pan (TCA) stands out as one of the most widely used in irrigation. Evaporation of TCA is converted to ET<sub>o</sub> by a pan coefficient (K<sub>p</sub>), which can be determined in several ways. The aim of this study was to evaluate the performance of different methods of calculating K<sub>p</sub> for the purpose of estimating ET<sub>o</sub>. The data used for the years 2007 to 2010, obtained from the automatic weather station of the DTCS / UNEB. The daily ET<sub>o</sub> considered standard was calculated using the Penman-Monteith – FAO method. With daily data on evaporation of the TCA and estimates of K<sub>p</sub>, obtained by the methods: Cuenca (1989), Snyder (1992), Allen et al. (1998) and Pereira et al. (1995) was determined ET<sub>o</sub>. Based on statistical indicators, the best method for determining the K<sub>p</sub> for the estimation of ET<sub>o</sub> was to Pereira et al. (1995).

**KEYWORDS:** water consumption, evaporation classe A pan, irrigation

**INTRODUÇÃO:** Conhecer as necessidades hídricas das culturas é fundamental para que se tenha um manejo adequado da irrigação, principalmente no semiárido nordestino, em que a escassez e a irregularidade pluviométrica são fatores que limitam a produção agrícola. A utilização adequada desse grande recurso natural “esgotável”, que é a água, tem se tornado um desafio para a agricultura, o que promove a busca de estratégias voltadas para aumento da eficiência do seu uso e da consciência de um manejo racional. Uma das formas mais difundidas de se estimar as necessidades hídricas das culturas utiliza um coeficiente de cultura ( $K_c$ ) associado a estimativas da evapotranspiração de referência ( $ET_o$ ). O método de Penman-Monteith é considerado pela FAO, como padrão para estimativa da  $ET_o$  (ALLEN et al., 1998). Em função do número de variáveis meteorológicas empregadas nesse método, tem-se utilizado vários outros métodos no manejo da irrigação. Dentre esses, o método do tanque classe A, um dos métodos indiretos de uso bastante generalizado, inclusive no Brasil, em virtude de seu custo relativamente baixo e do fácil manejo (BERNARDO et al., 2005). No entanto, esse método requer a determinação de um coeficiente denominado coeficiente de tanque ( $K_p$ ), que varia de acordo com o local e as condições climáticas (ALLEN et al., 1998). Existem diversas equações empíricas para obtenção desse coeficiente, porém, Medeiros et al (2006) chamam a atenção para a necessidade de avaliar tais equações para condições distintas daquelas nas quais foram geradas, a fim de se aferir sua abrangência de uso. Nesse sentido, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho de diferentes métodos de cálculo do  $K_p$  para fins de estimativa da  $ET_o$  para a região de Juazeiro, BA.

**MATERIAL E MÉTODOS:** Os dados meteorológicos utilizados neste estudo são referentes ao período de janeiro de 2007 a dezembro de 2010; e foram obtidos na estação meteorológica automática do Departamento de Tecnologia e Ciências Sociais - DTCS da Universidade do Estado da Bahia - UNEB, no município de Juazeiro (Lat. 09° 24' 50”S; Long. 40° 30' 10”W; Alt. 368 m). A evapotranspiração de referência diária considerada padrão ( $ET_o$ -Padrão) foi calculada utilizando-se o método de Penman-Monteith - FAO (ALLEN et al., 1998). Com base nos dados diários de evaporação do tanque classe A (ECA) e estimativas do  $K_p$  obtidas pelos métodos descritos abaixo, determinou-se a  $ET_o$  ( $ET_o$ -estimada) através da relação:  $ET_o = K_p ECA$ .

CUENCA (1989)

$$K_p = 0,475 - 2,4 \times 10^{-4} U_2 + 5,16 \times 10^{-3} UR + 1,18 \times 10^{-3} F - 1,6 \times 10^{-5} UR^2 - 1,01 \times 10^{-6} F^2 - 8,0 \times 10^{-9} UR^2 U_2 - 1,0 \times 10^{-8} UR^2 F$$

SNYDER (1992)

$$K_p = 0,482 + 0,024 \ln(F) - 0,000376 U_2 + 0,0045 UR$$

em que  $U_2$  é a velocidade do vento a 2 m de altura ( $\text{km.d}^{-1}$ );  $UR$  é a umidade relativa média (%);  $F$  a bordadura de grama (20 m).

ALLEN et al. (1998)

$$K_p = 0,108 - 0,0286 U_2 + 0,0422 \ln(F) + 0,1434 \ln(UR) - 0,00063 [\ln(F)]^2 \ln(UR)$$

$U_2$  é a velocidade do vento a 2 m de altura ( $\text{m.s}^{-1}$ ).

PEREIRA et al. (1995)

$$Kp = 0,85 \left( \frac{s + \gamma}{s + (1 + r_c / r_a)} \right)$$

sendo  $r_c/r_a$  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 ( $r_a$ ).

A comparação entre ETo estimada a partir dos diferentes valores de Kp e ETo-Padrão foi feita utilizando o coeficiente de desempenho “c” proposto por Camargo & Sentelhas (1997), correspondente a multiplicação do coeficiente de correlação “r” pelo coeficiente de exatidão “d” apresentado por Willmott et al. (1985):

$$d = 1 - \left\{ \frac{\sum (Pi - Oi)^2}{\sum (|Pi - O| + |Oi - O|)^2} \right\}$$

em que, Pi é o valor de ETo estimado, Oi o valor de ETo-padrão, e O a média de ETo-padrão. O desempenho foi classificado como ótimo para valores de “c” maiores que 0,85; como muito bom para valores entre 0,76 e 0,85; como bom para valores entre 0,66 e 0,75; como regular para valores entre 0,51 e 0,65; como ruim para valores entre 0,41 e 0,50; e como péssimo para valores inferiores a 0,40.

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** Os valores médios de Kp estimados pelos métodos: Cuenca (1989), Snyder (1992), Allen et al. (1998) e Pereira et al. (1995) foram 0,72, 0,78, 0,75 e 0,73, respectivamente. Verifica-se que o Kp médio estimado pelo método de Allen et al. (1998) foi igual ao valor médio anual de Kp proposto por Doorenbos e Pruitt (1977). Na Tabela 1, são apresentados os resultados dos indicadores estatísticos da análise do desempenho das estimativas de ETo com base na evaporação do tanque classe A e Kp determinado pelos métodos: Cuenca (1989) - ETo<sub>Cuenca</sub>, Snyder (1992) - ETo<sub>Snyder</sub>, Allen et al. (1998) - ETo<sub>Allen</sub>, e Pereira et al. (1995) - ETo<sub>Pereira</sub>, comparadas com o método padrão de Penman-Monteith - FAO (ETo-Padrão). Conforme pode ser observado na Tabela 1, o menor valor de r foi obtido para os valores de ETo<sub>Snyder</sub>, seguido de ETo<sub>Cuenca</sub>, 0,83 e 0,84, respectivamente. Para ETo<sub>Allen</sub> r foi igual a 0,86 e ETo<sub>Pereira</sub>, 0,88. Sentelhas e Folegatt (2003) encontraram para as condições de Piracicaba, SP, valores de r situados entre 0,83 e 0,87. Em relação à exatidão (d), ou seja, ao afastamento dos valores estimados em relação aos observados, o menor valor de d foi obtido quando o Kp foi estimado pelo método de Snyder. Resultado semelhante foi encontrado por Braga et al. (2008). Ainda com base na Tabela 1, verifica-se que as estimativas da evapotranspiração de referência que apresentaram melhor desempenho foram aquelas que tiveram o Kp calculado pelos métodos: Pereira et al. (1995), Cuenca (1989) e Allen et al. (1998), com “c” igual a 0,75; 0,73 e 0,71, respectivamente, sendo classificadas como Bom. A estimativa de ETo com o Kp determinado pelo método de Snyder (1992) teve um desempenho regular com “c” = 0,64. Sentelhas e Folegatt (2003) concluíram que os melhores métodos de determinação do Kp, para a estimativa da ETo, foram os de Pereira et al. (1995) e Cuenca (1989), ambos apresentando alta eficiência. Por outro lado, Conceição (2002) encontrou para as condições da região noroeste do Estado de São Paulo, que a estimativa da ETo através do tanque classe A, empregando-se o modelo de Snyder para determinação do Kp foi a que proporcionou os maiores coeficientes de determinação e de confiança em relação a ETo determinado pelo método de Penman-Monteith. Isso mostra que o coeficiente adotado para determinada região deve ser adequado, para que não haja

estimativas equivocadas. Portanto, a pesquisa regional em busca de valores de Kp específicos é de suma importância para o manejo racional da água.

**Tabela 1.** Coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>), correlação (r), exatidão (d) e desempenho (c) para valores diários de ETo estimada com base na evaporação do tanque classe A e Kp determinado pelos métodos: Cuenca (1989), Snyder (1992), Allen et al. (1998) e Pereira et al. (1995) comparados com o método padrão de Penman-Monteith parametrizado pela FAO. Período: 2007 a 2010, Juazeiro, BA.

Estimativa de ETo	R <sup>2</sup>	r	d	c	Desempenho
ETOCuenca	0,72	0,84	0,86	0,73	Bom
ETOSnyder	0,69	0,83	0,77	0,64	Regular
ETOAllen	0,74	0,86	0,83	0,71	Bom
ETOPereira	0,78	0,88	0,86	0,75	Bom

**CONCLUSÕES:** Entre os métodos de determinação do Kp, para estimativa da evapotranspiração de referência utilizados neste estudo, o método de Pereira et al. (1995) foi o que proporcionou os melhores resultados dos indicadores estatísticos da análise de desempenho, em relação a ETo determinada pelo método de Penman-Monteith - FAO. O método de Snyder (1992) apresentou um desempenho regular. Para que não haja estimativas equivocadas, a pesquisa regional em busca de valores de Kp específicos é de suma importância para o manejo racional da água.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements.** Roma: FAO, 1998. 301p. (Irrigation and Drainage Paper, 56).

BERNARDO, S; SOARES, A; MANTOVANI, E C. **Manual de Irrigação.** 7ª edição. Viçosa: UFV Imprensa Universitária, 2005. 611p.

BRAGA, M.B.; CALGARO, M.; MOURA, M.S.B.; SILVA, T.G.F. 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**, v.16, n.1, p.49-57, 2008.

CAMARGO, A.P. de; SENTELHAS, P.C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.5, p.89-97, 1997.

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, Englewood Cliffs. 1989. 133 p.

DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. **Crop water requirements.** Rome: FAO, 1977. 179p. (Irrigation and drainage paper, 24).

MEDEIROS, G. A.; ARRUDA, F. B.; SAKAI, E. Avaliação de coeficientes de tanque classe A para a estimativa de evapotranspiração de referência em Campinas, SP. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.14, n.3, p.327-335, 2006.

PEREIRA, A.R.; VILLA NOVA, N.A.; PEREIRA A.S.; Barbieri, V. A model for the class A pan coefficient. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v.76, p.75-82, 1995.

SENTELHAS P.C.; FOLEGATTI, M.V. Class-A pan coefficients (Kp) to estimate daily reference evapotranspiration (ET<sub>o</sub>). **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 of ASCE**, New York, v.118, n.6, p.977-980, 1992.

WILLMOTT, C.J.; ACKLESON, S.G.; DAVIS, R.E.; FEDDEMA, J.J.; KLINK, K.M.; LEGATES, D.R.; O'DONNELLI, J.; ROWE, C.M. Statistics for the evaluation and comparison of models. **Journal of Geophysical Research**, Ottawa, v.90, n.C5, p.8995-9005, 1985.