

COEFICIENTE DO TANQUE CLASSE A (K_p) PARA A ESTIMATIVA DIÁRIA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA

Paulo Cesar SENTELHAS¹, Maurício Antonio COELHO FILHO², Nilson Augusto VILLA NOVA³, Antonio Roberto PEREIRA³, Marcos Vinícius FOLEGATTI⁴

RESUMO

O coeficiente do tanque classe A (K_p) tem sido utilizado para converter a evaporação do tanque (ECA) em evapotranspiração de referência (ET_o), que é um importante componente no manejo de água em culturas irrigadas. Há diversos métodos para estimar o valor de K_p , todos eles baseados na velocidade do vento (U), na umidade relativa do ar (UR) e no comprimento da área de bordadura (B). O objetivo deste trabalho foi avaliar esses métodos comparando os valores de K_p estimados com os valores medidos, obtidos pela relação $K_p = ET_o/ECA$, sendo ET_o medida em lisímetro de pesagem com células de carga e ECA em tanque Classe A, na escala diária. Os métodos analisados foram: Doorenbos & Pruitt (1977); Cuenca (1989); Snyder (1992); Pereira et al. (1995); e Raghuwanshi & Wallender (1998). Os resultados possibilitaram verificar que, para a escala diária, nenhum dos métodos estimou bem K_p , o que resultou em estimativas de ET_o , pelo método do tanque, com alta dispersão. Observou-se que um valor fixo de K_p , igual a 0,72, produziu o mesmo nível de erro de ET_o do que a calculada com K_p variável em função de U , UR e B , sendo uma opção simples e prática para converter ECA em ET_o , em condições de clima tropical.

PALAVRAS-CHAVE: Manejo da irrigação, lisímetro.

INTRODUÇÃO

A evapotranspiração de referência (ET_o) é componente essencial para uso no planejamento e manejo da irrigação. Um dos métodos mais usados para a estimativa da ET_o a nível prático é através da evaporação do tanque Classe A (ECA) que é convertida em ET_o por um coeficiente do tanque (K_p), o qual varia dependendo do lugar onde está instalado e das condições climáticas.

¹ Dr., Professor Doutor. Departamento de Ciências Exatas, ESALQ/USP, Caixa Postal 9, 13418-900, Piracicaba, SP. E-mail: pcsentel@carpa.ciagri.usp.br.

² MS., Pós-graduando a nível de doutorado. Departamento de Engenharia Rural, ESALQ/USP.

³ Dr., Professor Associado. Departamento de Ciências Exatas, ESALQ/USP. Bolsista do CNPq.

⁴ Dr., Professor Associado. Departamento de Engenharia Rural, ESALQ/USP. Bolsista do CNPq.

Há diversos métodos para a determinação do valor do K_p , todos eles usando médias diárias da velocidade do vento (U), umidade relativa do ar (UR), e extensão da bordadura (B). Doorenbos & Pruitt (1977) apresentam valores tabelados de K_p variando de 0,4 a 0,85 baseados em informações das mais diversas partes do mundo, que normalmente são utilizados no cálculo da ET_o a partir dos dados de ECA. Entretanto, com a crescente utilização de estações automáticas e com as facilidades oferecidas pela informática, tem sido necessário automatizar a conversão da ECA em ET_o lançando-se mão de equações (Snyder, 1992)

Buscando solucionar esse problema Cuenca (1989) desenvolveu uma equação polinomial envolvendo as variáveis U , UR e B , de modo a ajustá-la aos valores apresentados por Doorenbos & Pruitt (1977). De acordo com Snyder (1992), a equação de Cuenca (1989) é complexa e em alguns casos os resultados são diferentes dos apresentados originalmente por Doorenbos & Pruitt (1977). Assim, Snyder (1992) desenvolveu uma equação mais simples e precisa para estimar K_p , usando B , U e UR em uma regressão linear múltipla. Pereira et al. (1995) propuseram uma equação baseada na relação entre ET_o e ECA, ambas estimadas pelo método de Penman-Monteith, adotando 0,85 como valor máximo de K_p , sendo as variáveis da equação a temperatura (T), UR e U . Recentemente, Raghuwanshi & Wallender (1998) propuseram uma nova equação de estimativa, que de acordo com os autores fornece resultados mais próximos aos da tabela de Doorenbos & Pruitt (1977), portanto melhor do que as equações de Cuenca (1989) e Snyder (1992). No entanto, essa nova equação é bastante complexa, usando variáveis quantitativas e categóricas, o que acaba tornando a sua aplicação semelhante à da tabela.

O objetivo do presente trabalho foi avaliar os diferentes métodos de determinação dos valores de K_p , sua influência na estimativa diária da ET_o usando o método do tanque Classe A e propor um critério prático e simples para utilização deste método.

MATERIAL E MÉTODOS

No presente trabalho, foram utilizados dados meteorológicos: temperatura do ar (T), umidade relativa do ar (UR), velocidade do vento a 2m (U) e evaporação do tanque Classe A (ECA), obtidos na estação meteorológica automática do Departamento de Ciências Exatas, da ESALQ/USP, no município de Piracicaba (Lat.: 22°42'S, Long.: 47°38'W, e Altitude de 546m). Foram utilizados também dados de evapotranspiração de referência (ET_o) obtidos em lisímetro de pesagem com células de carga, da marca Omega Eng., modelo LCCA-2K, com capacidade de 910kg e precisão de 0,037% da sua capacidade. O lisímetro com 0,65m de profundidade, 1,20m de comprimento e 0,85m de largura, era cultivado com grama batatais (*Paspalum notatum*, L.) e manejado (irrigação,

adubação e poda) de forma a manter o gramado em crescimento ativo, com altura entre 0,08 e 0,15m e com disponibilidade de água de forma a fornecer a ETo, como recomendado por Smith (1991). O período analisado foi compreendido entre dezembro de 1995 e dezembro de 1996, totalizando 112 dias.

Para a estimativa dos valores diários de Kp foram utilizados os seguintes métodos:

a) Tabela de Kp de Doorenbos & Pruitt (1977)

b) Cuenca (1989)

$$Kp = 0,475 - 2,4 \cdot 10^{-4}U + 5,16 \cdot 10^{-3}UR + 1,18 \cdot 10^{-3}B - 1,6 \cdot 10^{-5}UR^2 - 1,01 \cdot 10^{-6}B^2 - 8,0 \cdot 10^{-9}UR^2U - 1,0 \cdot 10^{-8}UR^2B$$

c) Snyder (1992)

$$Kp = 0,482 + 0,024 \ln B - 0,000376U + 0,0045UR$$

d) Pereira et al. (1995) com rc/ra sugerida Smith (1991)

$$Kp = 0,85 (s + g) / [s + g(1 + rc/ra)] \quad e \quad rc/ra = 0,33U$$

em que: s é a declinação da curva de pressão de vapor à temperatura média diária do ponto de orvalho; γ é a constante psicrométrica; rc/ra é a relação entre a resistência da cobertura à difusão de vapor (rc) e a resistência aerodinâmica à transferência de vapor (ra).

e) Pereira et al. (1995) com rc/ra sugerida por Pereira et al. (1998)

$$Kp = 0,85 (s + g) / [s + g(1 + rc/ra)] \quad e \quad rc/ra = 3,414 U^{0,5} - 3,205$$

f) Raghuwanshi & Wallender (1998)

$$Kp = 0,5944 + 0,024X_1 - 0,0583X_2 - 0,1333X_3 - 0,2083X_4 + 0,0812X_5 + 0,1344X_6$$

em que: X₁ é o Ln B; X₂, X₃ e X₄ são as categorias para U, respectivamente, 175 a 425, 425 a 700 e >700 km.d⁻¹, e terá valor igual a um para a categoria presente no dia, sendo adotado o valor zero para as demais, se U < 175 km.d⁻¹, todas as categorias terão valor igual a zero; e X₅ e X₆ são as categorias para a UR, respectivamente, de 40 a 70% e >70%, sendo adotado o mesmo critério das categorias de U.

Os dados estimados de Kp foram comparados aos valores medidos, assim como os valores de ETo estimados pelo método do tanque Classe A e medidos no lisímetro. Para tanto foram utilizados a análise de regressão, o coeficiente de determinação (R²), o índice de Willmott (D), a eficiência do método (EF), o erro médio absoluto (EMA) e o erro máximo (EMAX).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Existem diversos métodos para se determinar valores de Kp para conversão da ECA em ETo, no entanto, poucos são os trabalhos que avaliam a precisão e exatidão desses métodos,

comparando-os a valores medidos, através da relação $K_p = E_{To}/E_{CA}$. A maioria dos métodos empregados tem mostrado que os valores de K_p são altamente dependentes das condições de contorno e determinados pela velocidade do vento, umidade relativa do ar e comprimento da bordadura. Na Figura 1 são apresentadas as relações entre os valores de K_p medidos e estimados pelos métodos analisados. Observa-se que os valores estimados por todos os métodos permanecem entre 0,7 e 0,9, exceto para o método de Pereira et al. (1995), em que os valores de K_p oscilam entre 0,4 e 0,8. De um modo geral, nenhum dos métodos estimaram bem o valor de K_p para a escala diária, com $R^2 \lll 0,1$ e sem significância estatística, resultados que já haviam sido observados por Pereira et al. (1995) quando avaliaram o método de Doorenbos & Pruitt (1977). De acordo com Pereira et al. (1995), essas diferenças podem estar relacionadas a variável comprimento da bordadura, que é extremamente difícil de se determinar, pois varia continuamente, sendo que um outro problema com a aplicação dos métodos de estimativa de K_p é com relação à velocidade do vento, acima de 175 km.d^{-1} , muito alta para a maioria das regiões com clima tropical.

Quando os valores estimados de K_p foram utilizados para a estimativa de E_{To} (Figura 2) foi observada uma boa concordância entre os valores medidos e estimados, especialmente quando foram utilizados os métodos de Cuenca (1989) e de Pereira et al. (1995) com rc/ra da FAO, quando o coeficiente angular (b) foi igual a 0,98 e 1,00, respectivamente. A utilização dos valores de K_p estimados pelos métodos de Doorenbos & Pruitt (1977) e de Raghuwanshi & Wallender (1998) resultaram em superestimativas da E_{To} , respectivamente, de 4 e 7%, enquanto que pelos métodos de Snyder e de Pereira et al. (1995) com rc/ra de Pereira et al. (1998) apresentaram, respectivamente, superestimativa de 11% e subestimativa de 20%. Entretanto, a precisão das estimativas, indicada pelo valor de R^2 , foi baixa variando de 0,41 a 0,55, consequência da baixa concordância entre os valores de K_p estimados e medidos (Figura 1).

A Tabela 1 apresenta a análise estatística das estimativas de E_{To} usando o método do tanque Classe A com os diferentes métodos de determinação do K_p . Os resultados mostram que a E_{To} calculada com o K_p obtido pelo método de Pereira et al. (1995), com rc/ra da FAO, foi o que apresentou o melhor ajuste entre dados estimados e medidos no lisímetro, com $D = 0,87$, $EMA = 0,65 \text{ mm.d}^{-1}$, $EMAX = 2,22 \text{ mm.d}^{-1}$ e $EF = 0,547$, seguido pelas estimativas de E_{To} a partir do K_p determinado pelos métodos de Cuenca (1989), de Raghuwanshi & Wallender (1998), de Doorenbos & Pruitt (1977), de Snyder (1992) e de Pereira et al. (1995) com rc/ra de Pereira et al. (1998). Esses resultados na escala diária diferem parcialmente daqueles apresentados por Amorim et al. (1997), que verificaram que os métodos de estimativa do K_p de Frevert, Snyder, Cuenca e Pereira funcionaram bem para a estimativa da E_{To} na escala de cinco dias, com superestimativas de 2%

com o uso dos valores de Kp de Frevert, 7% com os de Cuenca e 8% com os de Pereira, e com subestimativa de 4% com o uso dos valores de Kp de Snyder.

Quando utilizou-se para a estimativa diária da ETo um valor fixo de Kp, igual a 0,72, determinado pela relação entre ETo e ECA, foi observado o mesmo nível de erro obtido com os valores de Kp determinados pelo método de Pereira et al. (1995) com rc/ra da FAO (Tabela 1 e Figura 3), sendo, desse modo, uma opção simples e prática para converter ECA em ETo, na escala diária, em condições de clima tropical e onde não há disponibilidade de dados de U e UR. Relação semelhante entre ETo e ECA foi obtida por Lima & Silva (1997), que encontraram $K_p = 0,71$ para as condições climáticas de Teresina, PI, para a escala de cinco dias.

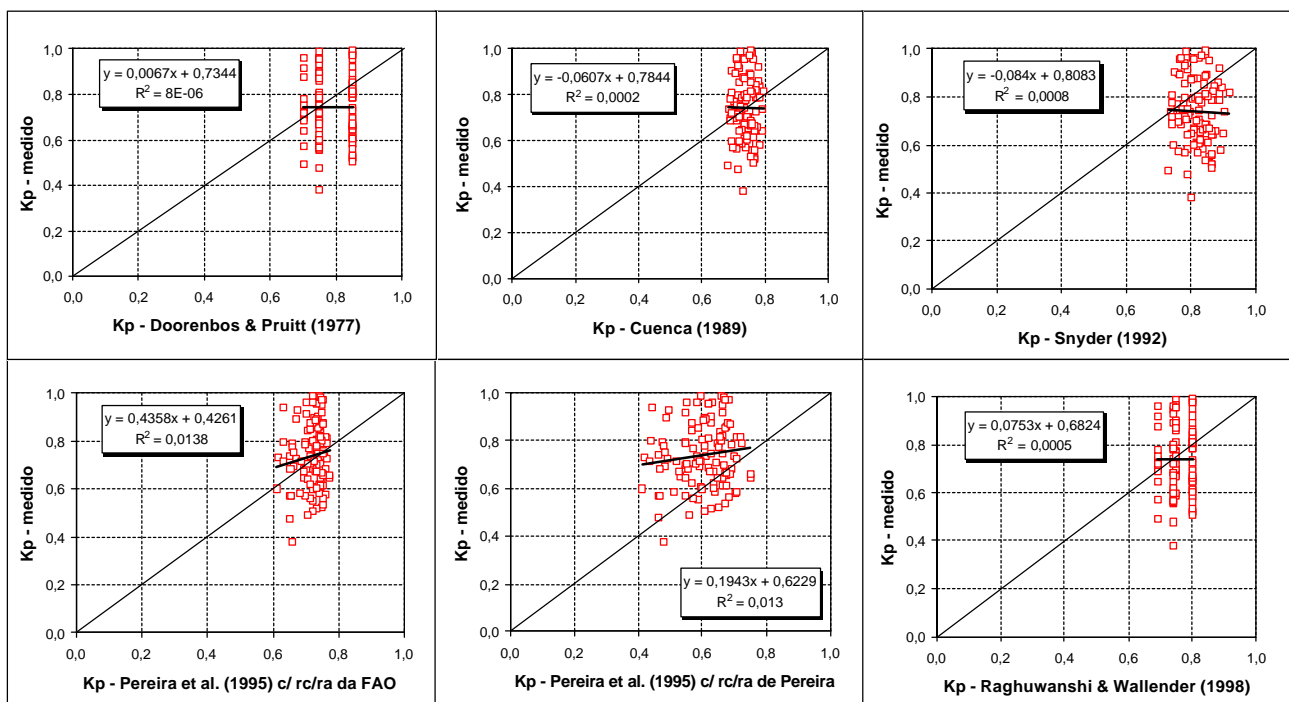


Figura 1. Relação entre valores de Kp medidos e estimados por diferentes métodos.

CONCLUSÕES

Baseando-se nos resultados obtidos neste trabalho, conclue-se que nenhum dos métodos avaliados estimaram bem os valores de Kp para a escala diária, o que foi transferido para a estimativa da ETo pelo método do tanque Classe A, que apresentou baixa precisão ($R^2 < 0,6$). O valor de Kp fixo e igual a 0,72 produziu o mesmo nível de erro na estimativa de ETo do que aquela obtida com os valores de Kp pelo método de Pereira et al. (1995) com rc/ra da FAO, sendo uma opção simples e prática para converter ECA em ETo, na escala diária, em condições de clima tropical e onde não há disponibilidade de dados de U e UR.

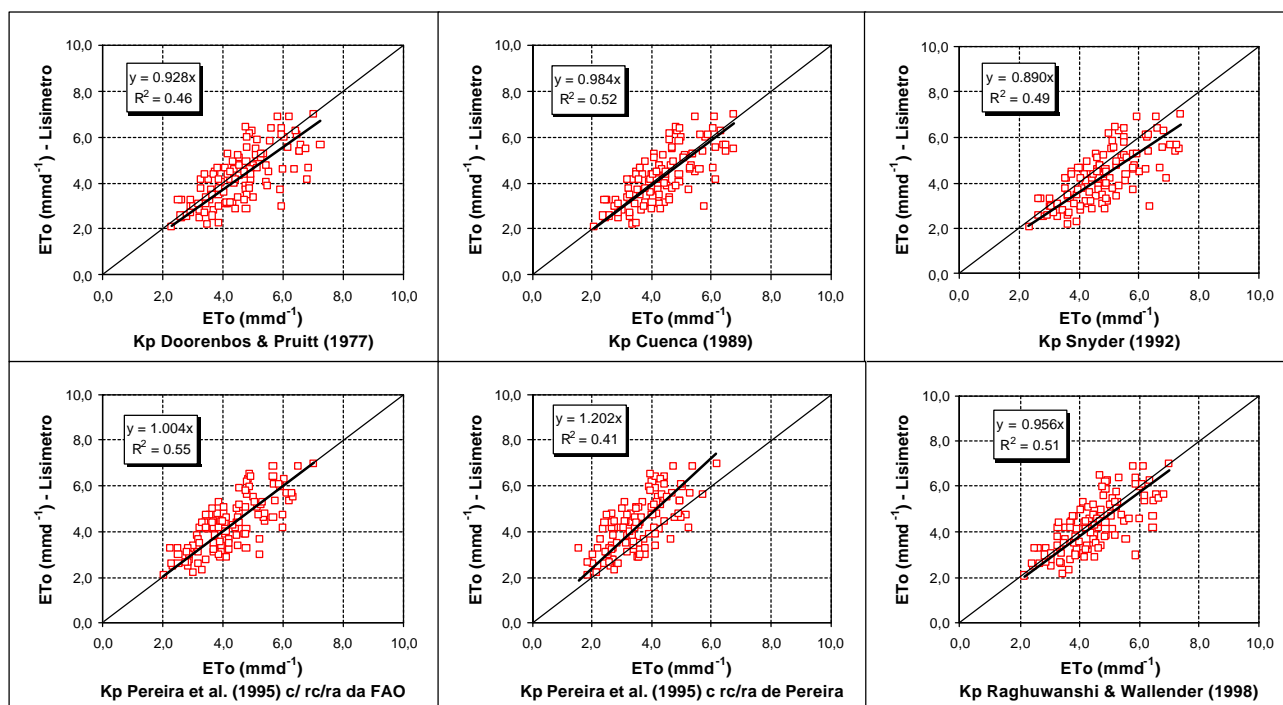


Figura 2. Relação entre a ETo medida em lisímetro e estimada pelo método do tanque Classe A, utilizando diferentes métodos de estimativa de Kp.

Tabela 1. Análise estatística da comparação entre dados diários de ETo medidos em lisímetro e estimados pelo método do tanque Classe A, utilizando diferentes métodos de estimativa de Kp.

Método de Kp	b	R ²	D	EMA (mm.d ⁻¹)	EMAX (mm.d ⁻¹)	EF
Doorenbos & Pruitt (1977)	0,928	0,46	0,82	0,72	2,93	0,38
Cuenca (1989)	0,984	0,52	0,85	0,66	2,76	0,52
Snyder (1992)	0,890	0,49	0,81	0,79	3,36	0,28
Pereira et al. (1995) - rc/ra FAO	1,004	0,55	0,87	0,65	2,22	0,55
Pereira et al. (1995) - rc/ra Pereira	1,202	0,41	0,72	0,96	2,58	0,02
Raghuwanshi & Wallender (1998)	0,956	0,51	0,84	0,67	2,88	0,48
Kp fixo = 0,72	1,001	0,54	0,87	0,63	2,70	0,55

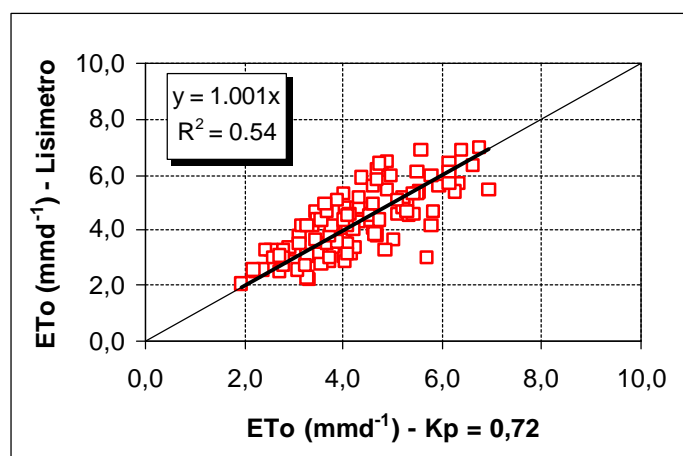


Figura 3. Relação entre a ETo do lisímetro e estimada pelo método do tanque Classe A (Kp=0,72).

BIBLIOGRAFIA

- Amorin, M.C.; Sedyama, G.C.; Sobrinho, J.E.; Rodrigues, L.N. Avaliação da evapotranspiração de referência estimada por diferentes modelos de coeficiente de tanque classe A. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 10, Piracicaba, 1997. Piracicaba: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, p.683-685, 1997.
- Cuenca, R.H.. **Irrigation system design: na engineering approach**. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J. 133p., 1989.
- Doorenbos, J.; Pruitt, W.O. Crop water requirements. FAO Irrig. and Drain. Paper 24, United Nations Food and Agriculture Organization, Rome, Italy. 179p., 1977.
- Lima, M.G.; Silva, A.A.G. Evapotranspiração de referência vs. Evaporação do tanque classe "A" para o município de Teresina, PI." In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 10, Piracicaba, 1997. Piracicaba: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, p.701-703, 1997.
- Pereira, A.R.; Villa Nova, N.A.; Pereira, A.S.; Barbieri, V. A model for the class A pan coefficient. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.76, p.75-82, 1995.
- Pereira, A.R.; Pereira, F.A.C.; Maggiotto, S.R.; Villa Nova, N.A.; Folegatti, M.V. Penman-Monteith reference evapotranspiration in a tropical climate. In: CONFERENCE ON AGRICULTURAL AND FOREST METEOROLOGY, 23, Albuquerque, 1998. Albuquerque: American Meteorological Society, p2.16, 1998.
- Raghuwanshi, N.S.; Wallender, W.W. Converting from pan evaporation to evapotranspiration. **Journal of Irrig. and Drain. Engrg.**, ASCE, v.124, n.5, p.275-277, 1998.
- Smith, M. Report on expert consultation on procedures for revision of FAO methodologies for crop water requirements. FAO, United Nations Food and Agriculture Organization, Rome, Italy. 45p., 1991.
- Snyder, R.L. Equation for evapotranspiration pan to evapotranspiration conversion. **Journal of Irrig. and Drain. Engrg.**, ASCE, v.118, n.6, p.977-980, 1992.