

ISSN 0104-1347

Coeficientes do Tanque Classe A para a estimativa da evapotranspiração de referência em Campos dos Goytacazes, RJ

Class A pan coefficients for estimating reference evapotranspiration in Campos dos Goytacazes, RJ, Brazil

José Carlos Mendonça¹; Elias Fernandes de Sousa²; Romísio Geraldo Bouhid Andre³;
Salassier Bernardo²

- NOTA TÉCNICA / TECHNICAL NOTE -

Resumo: A determinação da quantidade de água necessária para as culturas é um dos principais fatores para o correto planejamento, dimensionamento e manejo de qualquer sistema de irrigação. No presente trabalho buscou-se avaliar diferentes métodos de determinação do coeficiente do tanque (K_p) para a estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o) pelo método do tanque Classe A, em Campos dos Goytacazes, RJ. Os métodos de determinação do K_p avaliados foram os de DOOREMBOS e PRUITT (1977), CUENCA (1989), SNYDER (1992), PEREIRA et al. (1995), BERNARDO et al. (1996) e ALLEN et al. (1998). A ET_o estimada pelo método do tanque Classe A, com os valores de K_p determinados pelos diferentes métodos, foi comparada àquela estimada pelo método padrão de Penman-Monteith-FAO 56. Observou-se um bom desempenho do método do tanque Classe A para a estimativa dos valores diários de ET_o, considerando-se as diferentes formas de cálculo do K_p ($R^2 > 0,77$ e $D > 0,90$), sendo o método proposto por CUENCA (1989) o que apresentou o maior índice de concordância ($D = 0,94$) e o menor erro médio absoluto ($EMA = 0,46$ mm dia⁻¹). O valor de K_p constante ($= 0,69$), proposto por BERNARDO et al. (1996), também apresentou desempenho satisfatório ($R^2 = 0,78$ e $D = 0,94$), indicando sua potencialidade para utilização prática na estimativa da ET_o diária em Campos dos Goytacazes, RJ.

Palavras-Chave: Irrigação, consumo hídrico das culturas, evaporação, Penman-Monteith.

Abstract: Crop water consumption is one of the main parameters for planning, designing and handling of any overhead irrigation. The objective of this work was to evaluate the Class A pan method to estimate reference evapotranspiration (ET_o) at the Campos dos Goytacazes, RJ, Brazil, by using different methods to calculate pan coefficient (K_p) to convert class A evaporation into ET_o: DOOREMBOS and PRUITT (1977), CUENCA (1989), SNYDER (1992), PEREIRA et al. (1995), BERNARDO et al. (1996) e ALLEN et al. (1998)). Reference evapotranspiration estimated by Class A method, with K_p calculated by different methods, was compared to ET_o estimated by Penman-Monteith-FAO 56 method. All K_p values used to estimate daily ET_o showed to be acceptable when compared with ET_o estimated by Penman-Monteith-FAO 56 method, with $R^2 > 0.77$ and $D > 0.90$. The best performance was obtained when ET_o was estimated using K_p from CUENCA (1989), with $D = 0.94$ and $EAM = 0.46$ mmday⁻¹. The use of a constant K_p value ($= 0.69$), proposed by BERNARDO et al. (1996), was also considered a good option to estimate ET_o from Class A method ($R^2 = 0.78$ e $D = 0.94$), showing its potential to estimate daily ET_o values for the considered location.

Keywords: Irrigation, crop water consumption, evaporation, Penman-Monteith.

¹ Eng. Agrônomo. Doutorando em Produção Vegetal. Laboratório de Engenharia Agrícola LEAG/UENF. Av. Alberto Lamego, 2000, CEP: 28015-620 - Campos dos Goytacazes, RJ. Fone (0xx22) 2726-1543 - email: mendonca@uenf.br

² Prof. - Laboratório de Engenharia Agrícola, LEAG/ UENF, Campos dos Goytacazes, RJ.

³ Prof. PhD Doutor - Laboratório de Meteorologia, LAMET/UENF, Macaé, RJ.

Introdução

A determinação da quantidade de água necessária para as culturas é um dos principais fatores para o correto planejamento, dimensionamento e manejo de qualquer sistema de irrigação. Sua quantificação é realizada fazendo-se o balanço hídrico da camada do solo ocupada pelo sistema radicular da cultura, o qual tem a evapotranspiração e a precipitação pluviométrica como seus principais componentes (BERNADO et al., 2005).

BERNADO et al. (2005) citam ainda que a evapotranspiração de referência (ET_o) pode ser estimada por métodos diretos e indiretos, sendo o método do tanque Classe A, desenvolvido pelo Serviço Meteorológico Norte-Americano (U.S.W.B.), um dos métodos indiretos de uso bastante generalizado, inclusive no Brasil, em virtude de seu custo relativamente baixo e do fácil manejo. Esse método integra na medida da evaporação de uma superfície de água livre os efeitos da radiação solar, da velocidade do vento, da temperatura e da umidade do ar do local em que o tanque está instalado. O método do tanque classe A estima a ET_o a partir da seguinte equação:

$$ET_o = K_p \cdot EV \quad (1)$$

em que: EV = evaporação do tanque Classe A (mm dia⁻¹) e K_p = coeficiente do tanque, sendo função da velocidade do vento, da umidade relativa do ar e do tipo e extensão da bordadura (DOORENBOS e PRUITT, 1977).

A utilização do tanque Classe A ainda gera algumas controvérsias, principalmente quanto à escolha do coeficiente de tanque (K_p) a ser utilizado. Vários são os métodos utilizados para a estimativa do K_p. CUENCA (1989) sugeriu uma equação polinomial para estimar valores diários de K_p. SNYDER (1992) apresentou um método de regressão linear múltipla para estimar o coeficiente usando as mesmas variáveis meteorológicas propostas por DOORENBOS & PRUITT (1977). PEREIRA et al. (1995) propuseram um método para estimar K_p baseado na relação entre a ET_o, estimada pelo método de PENMAN-MONTEITH e a EV, medida no tanque Classe A. ALLEN et al. (1998) apresentaram diversas equações para estimar K_p, em

função das variáveis meteorológicas e tipo e extensão de bordadura.

O presente estudo teve por objetivo avaliar a utilização de diferentes métodos de estimativa de K_p para o cálculo da ET_o diária, baseada na evaporação do tanque Classe A sob as condições climatológicas do município de Campos dos Goytacazes, RJ.

Materiais e Métodos

Os dados meteorológicos diários utilizados são relativos aos anos de 1998, 1999 e 2000, os quais foram coletados por uma estação meteorológica automática, modelo *Thies Clima*, instalada na Estação Experimental de Campos dos Goytacazes – Pesagro-Rio (21° 44' 47"S; 41° 18' 24"W e 11 metros de altitude), da Universidade Estadual do Norte Fluminense, RJ. Foram excluídos os dados referentes aos dias com as seguintes condições: ocorrência de chuva, assim como o dia subsequente; irrigação do gramado; manutenção de equipamentos e demais anormalidades.

A ET_o diária, considerada como padrão, foi estimada pelo método de Penman-Monteith com parametrização proposta por ALLEN et al. (1998).

$$ET_o = \frac{0,408s(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u (e_s - e_a)}{s + \gamma(1 + 0,34u)} \quad (2)$$

em que: R_n é o saldo de radiação e G o fluxo de calor no solo, ambos em MJ m⁻² dia⁻¹; s a tangente à curva de pressão de saturação na temperatura do ar, em kPa °C⁻¹; γ a constante psicrométrica, em kPa °C⁻¹; T a temperatura média do ar, em °C; u = velocidade do vento a 2 m de altura, em ms⁻¹; (e_s - e_a) o déficit de pressão de vapor, em kPa.

Para as estimativas da ET_o pelo método do tanque classe A (Equação 1), os valores de K_p diário foram determinados pelos os seguintes métodos:

1) Tabela de DOORENBOS & PRUITT (1977):

$$K_p = 0,75 \quad (3)$$

(Valor médio anual para as condições climáticas locais)

2) CUENCA (1989):

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

em que: u = velocidade média do vento a 2 m de altura, em $\text{km} \cdot \text{dia}^{-1}$; H = umidade relativa média, em porcentagem; e F = bordadura da área grama, considerada igual a 15 m.

3) SNYDER (1992):

$$Kp = 0,482 + 0,024 \ln(F) - 0,000376u + 0,0045H \quad (5)$$

4) PEREIRA et al.(1995):

$$Kp = 0,85 (s + \gamma) / [s + \gamma (1 + r_c / r_a)] \quad (6)$$

sendo r_c/r_a a relação entre a resistência do dossel foliar da grama a difusão do vapor d'água (r_c) e a resistência aerodinâmica para a troca do vapor d'água de uma superfície evaporante (r_a), obtida de uma relação empírica com a velocidade do vento, conforme sugerido por ALLEN et al, (1998): $r_c / r_a = 0,34u$.

5) BERNARDO et al. (1996):

$$Kp = 0,69 \quad (7)$$

(Valor proposto para Campos dos Goytacazes, RJ)

6) ALLEN et al.(1998):

$$Kp = 0,108 - 0,0286u + 0,0422 \ln(F) + 0,1434 \ln(H) - 0,000631 [\ln(F)]^2 \ln(H) \quad (8)$$

Para se avaliar a performance dos métodos de determinação do Kp na estimativa da ETo diária usando método do tanque Classe A foram utilizados os mesmos índices estatísticos empregados por SENTELHAS e FOLEGATTI (2003), que preconiza um estudo de análise de regressão linear e o cálculo do índice de concordância de Willmott (D), do erro médio absoluto (EMA), do erro máximo absoluto (EMAX) e da eficiência do método (EF), conforme as seguintes equações:

$$D = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - E_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|E_i - \bar{O}| + |O_i - \bar{O}|)^2} \quad (9)$$

$$EMA = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |O_i - E_i| \quad (10)$$

$$EMAX = \text{MAX} \left\{ (O_i - E_i) \right\}_{i=1}^n \quad (11)$$

$$EF = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2 - \sum_{i=1}^n (O_i - E_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (12)$$

em que: O_i = valor observado, E_i = valor estimado, e \bar{O} = média dos valores observados.

Resultados e Discussão

Na Figura 1 são apresentadas as relações entre a ETo diária calculada pelo método de Penman-Monteith, padrão FAO-56, e estimada pelo método do tanque Classe A, utilizando-se os valores de Kp determinados pelos seis métodos avaliados. Observa-se que todos os métodos apresentaram coeficientes angulares (b) menores do que 1, mostrando que o método do tanque Classe A superestimou os valores de ETo obtidos pelo método da FAO-56, independentemente do método de determinação do Kp empregado. No entanto, houve um bom ajuste em todos os casos, com os valores de R^2 , que indicam as precisões das estimativas, variando de 0,77 a 0,80. Esses resultados concordam com os obtidos por CONCEIÇÃO (2002) que comparou a ETo mensal estimada pelos métodos do tanque Classe A e de Penman-Monteith e por SENTELHAS e FOLEGATTI (2003), que avaliaram a estimativa de ETo diária pelo tanque Classe A em relação aos valores obtidos em um lisímetro de pesagem.

Na Tabela 1 são apresentados os resultados das análises estatísticas da comparação entre a ETo estimada pelos métodos de Penman-Monteith e do tanque classe A. Observa-se que o melhor método de determinação de Kp para converter EV em ETo foi o proposto por CUENCA (1989), que apresentou $D = 0,91$ e $EF = 0,82$, seguido por BERNARDO et

al.(1996), com $D = 0,94$ e $EF = 0,75$, e ALLEN et al. (1998), com $D = 0,93$ e $EF = 0,76$. Resultados semelhantes foram obtidos por SENTELHAS e FOLEGATTI (2003) em Piracicaba, SP, que também observaram uma boa estimativa de ET_o diária pelo método do tanque classe A quando foram utilizados os valores de K_p de CUENCA (1989). Esses autores também observaram que a utilização de um valor fixo de K_p , determinado regionalmente, é uma boa opção para a estimativa da ET_o pelo método do tanque Classe A, especialmente quando os dados meteorológicos não estão disponíveis.

O erro médio absoluto das estimativas de ET_o pelo método do tanque Classe A em relação ao método padrão variou de $0,47$ a $0,66$ mm dia^{-1} , obtidos respectivamente pelos métodos de CUENCA (1989) e DOOREMBOS & PRUITT (1977). O método proposto por PEREIRA et al. (1995), além de apresentar elevado valor do erro médio absoluto ($0,66$ mm dia^{-1}), também apresentou o maior valor do erro máximo absoluto ($3,32$ mm dia^{-1}). Esses resultados diferem dos obtidos por SENTELHAS e FOLEGATTI (2003), que observaram maior erro médio absoluto ($0,64$ mm dia^{-1}) e maior erro máximo

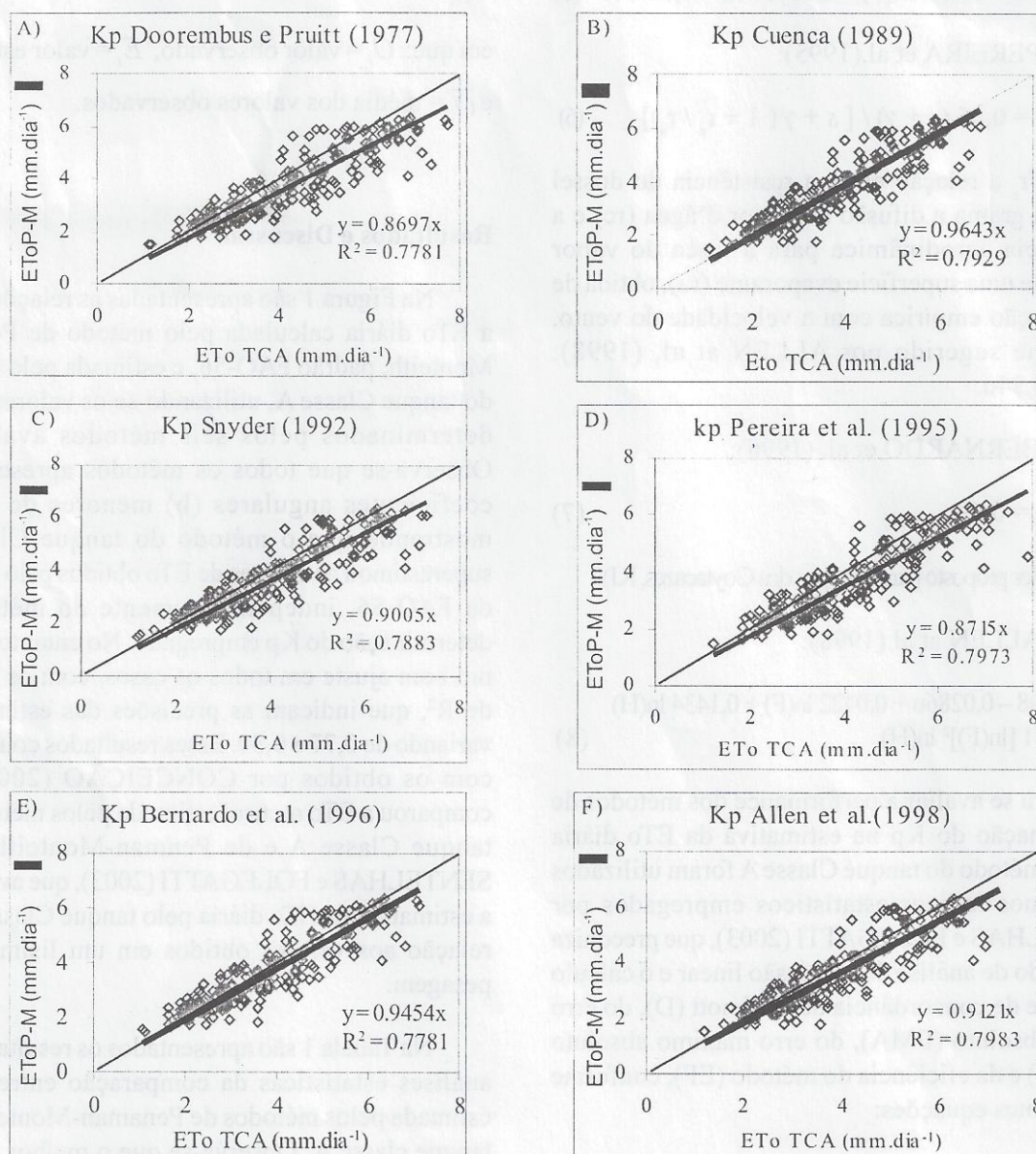


Figura 1. Relação entre a evapotranspiração de referência (ET_o) estimada pelos métodos de Penman-Monteith e do tanque Classe A, utilizando-se diferentes formas de cálculo do K_p , para Campos dos Goytacazes, RJ.

Tabela 1. Análise estatística para avaliação do desempenho dos métodos de cálculo de Kp para a estimativa da ETo diária pelo método do tanque Classe A (mm dia⁻¹).

Métodos	b	R ²	D	EMA (mm dia ⁻¹)	EMAX (mm dia ⁻¹)	EF
Doorembos e Pruit (1977)	0,87	0,78	0,91	0,66	2,82	0,57
Cuenca (1989)	0,96	0,79	0,94	0,47	2,29	0,82
Snyder (1992)	0,90	0,79	0,92	0,57	2,77	0,68
Pereira et al.(1995)	0,87	0,80	0,91	0,66	3,32	0,60
Bernardo et al. (1996)	0,95	0,78	0,94	0,51	2,23	0,75
Allen et al. (1998)	0,91	0,80	0,93	0,54	2,65	0,76

b = coeficiente angular; R² = Coeficiente de correlação; D = Índice de concordância de Willmott; EMA = Erro médio absoluto; EMAX = Erro máximo absoluto; EF = Eficiência do método.

absoluto (2,81 mm dia⁻¹) usando o método de SNYDER (1992), o que corrobora os resultados de MENDONÇA (2001) que, comparando a ETo estimada pelo tanque Classe A com os valores de ETo obtidos em um lisímetro de pesagem, observou uma superestimativa média de 30% quando utilizou valores de Kp determinados pelo método de SNYDER (1992).

Conclusões

Todos os métodos de cálculo de Kp utilizados neste estudo superestimaram as estimativas de ETo calculadas pelo método do tanque Classe A em relação ao método padrão de Penman-Monteith. A melhor estimativa da ETo diária em Campos dos Goytacazes, RJ, com o método do tanque classe A foi obtida quando se utilizou os valores de Kp calculados pelo método de CUENCA (1989), seguido pelos métodos BERNARDO et al. (1996) e ALLEN et al.(1998). A adoção de um valor fixo de Kp, proposto por BERNARDO et al. (1996), por ser mais simples e apresentar desempenho semelhante ao dos melhores métodos, pode ser adotado para uso prático em Campos dos Goytacazes, RJ.

Referências Bibliográficas

- ALLEN, R G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop Evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements, Rome: FAO, 1998, 301p. **Irrigation and Drainage Paper 56.**
- BERNARDO, S.; SOUSA, E. F.; CARVALHO, J.A. **Estimativa da evapotranspiração potencial de referência (ETo) para as "Áreas de Baixada e Tabuleiros" da Região Norte Fluminense**, UENF – Boletim Técnico, n.1, 14 p. 1996.
- BERNARDO, S; SOARES, A; MANTOVANI, E C. **Manual de Irrigação**, 7ª Edição; Viçosa, UFV, Imprensa Universitária, 2005, 611p.
- CONCEIÇÃO, M.A.F. Reference evapotranspiration based on class A pan evaporation, **Scientia Agrícola**, Piracicaba, SP, V.59, n.3, p.417-420, 2002.
- CUENCA, R. H. **Irrigation system design: an engineering approach**. New Jersey: Prentice-Hall, Englewood Cliffs. 1989. 133p.
- DOOREMBOS, J.; PRUITT, J.O. Crop Water Requirement. Rome, FAO, **Irrigation and Drainage Paper 24**, 144p. 1977.
- 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.
- MENDONÇA, J. C. **Comparação entre métodos de estimativa de evapotranspiração potencial de referência (ETo), na região Norte Fluminense.**

coefficient. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v.76, p.75-82, 1995.

MENDONÇA, J. C. **Comparação entre métodos de estimativa de evapotranspiração potencial de referência (ET_o), na região Norte Fluminense**. Campos dos Goytacazes: UENF. 2001. 70 p. Tese (Mestrado em Produção Vegetal) – Curso de Pós-Graduação em Produção Vegetal, Universidade Estadual do Norte Fluminense, 2001.

SENTELHAS P.C.; FOLEGATTI, M. V. Class A pan coefficients (K_p) to estimate daily reference evapotranspiration (ET_o), **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, 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.