

**COEFICIENTES DAS EQUAÇÕES DE MAKKINK E PRIESTLEY-TAYLOR PARA A
ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO MÁXIMA DA ALFAFA¹**

**MAKKINK AND PRIESTLEY-TAYLOR FORMULA COEFFICIENTS FOR ALFALFA
MAXIMUM EVAPOTRANSPIRATION ESTIMATION**

Gilberto Rocca da Cunha² e Homero Bergamaschi³

RESUMO

Informações sobre a necessidade de água das culturas são imprescindíveis para a solução de questões relacionadas com o manejo da água na agricultura. Neste particular, destaca-se a estimativa da evapotranspiração (ET) a partir de variáveis meteorológicas. As equações de Makkink e de Priestley-Taylor consistem em simplificações do método combinado, em que a ET é estimada em função apenas do termo energético do mesmo. Todavia, as características empíricas inerentes à parametrização dos coeficientes M , da equação de Makkink, e P_T , da equação de Priestley-Taylor, impede a universalidade dos mesmos para culturas e locais. Desta forma, os coeficientes M e P_T , para a estimativa da evapotranspiração máxima (ET_m) da alfafa (**Medicago sativa** L., cv. Crioula), em nível de representatividade temporal diário, quinidial, decendial e mensal, foram determinados para as condições de clima do Sul do Brasil. A estimação de M e P_T foi feita através do método dos mínimos quadrados (modelo passando pela origem), a partir de medições diárias da ET_m da alfafa em um lisímetro de balança mecânica (5,1 m² e 0,1 mm de resolução), instalado no centro de uma área de 90 m x 60 m, em Eldorado do Sul-RS (30°05'S; 51°39'W e 46 m), de outubro de 1989 a setembro de 1990, englobando 7 períodos de corte. Em média, os parâmetros M e P_T foram 0,88 e 1,38, respectivamente.

Palavras-chave: consumo de água, irrigação e **Medicago sativa** L.

SUMMARY

¹ Extraído da Tese de Doutorado apresentada pelo primeiro autor à UFRGS-Faculdade de Agronomia, em novembro de 1991.

² Eng.-Agr., Dr., EMBRAPA-CNPT. C.P. 569, 99001-970, Passo Fundo, RS.

³ Eng.-Agr., Dr., UFRGS-Faculdade de Agronomia. C.P. 776, 90001-970, Porto Alegre, RS. Bolsista do CNPq.

Crop water requirements are essential information to water management scheduling. In this particular the evapotranspiration (ET) estimation by meteorological formulas is a very important issue. The Makkink and Priestley-Taylor formulas are both simplifications of the Penman's combined method, on which ET is estimated as a function of the energetic term. However, because of the empiric characteristics of the m (Makkink formula coefficient) and p_{PT} (Priestley-Taylor formula coefficient), they can not be the same for all crops and sites. The m and p_{PT} coefficients for alfalfa (**Medicago sativa** L., cv. Crioula) maximum evapotranspiration (ET_m) estimation were determined to southern Brazil climate conditions with averaging period length of 1, 5, 10 and 30 days. The m and p_{PT} determination was done by least squares method (regression through the origin) using daily ET_m measured with a weighting lysimeter (5.1 m² and 0.1 mm resolution) placed in the center of a 90 m x 60 m plot, in Eldorado do Sul-RS (30°05'S, 51°39'W and altitude of 46 m), from October 1989 through September 1990, covering 7 harvest periods. The mean coefficient of Makkink formula was 0.88 and the mean coefficient of Priestley-Taylor formula was 1.38.

Keywords: consumptive water use, irrigation and **Medicago sativa** L..

INTRODUÇÃO

O manejo da água na agricultura requer informações sobre a necessidade de água das culturas.

As parametrizações meteorológicas da evapotranspiração, para estimar o consumo de água das culturas, destacam-se pela sua praticidade e eficiência. Neste particular, o método combinado, derivado por PENMAN (1948), tem merecido especial atenção, em estudos da dinâmica da água no sistema solo-planta-atmosfera, pela sua fundamentação física do processo.

Todavia, as variáveis meteorológicas, necessárias para o uso do método de Penman, nem sempre são universalmente disponíveis, particularmente as relacionadas com a solução do termo aerodinâmico (velocidade do vento a 2 m acima do solo e déficit de saturação de vapor d'água no ar).

Desta forma, destacam-se duas simplificações do método combinado, propostas por MAKKINK (1957) e PRIESTLEY & TAYLOR (1972), em que a evapotranspiração é considerada como função somente do termo energético.

MAKKINK (1957) propôs a seguinte equação:

$$ET = \{0,58 [s/(s +)] R_s\} \quad (1)$$

onde, ET = evapotranspiração (mm/dia); s = tangente à curva de pressão de saturação de vapor d'água no ar (mb/°C); γ = constante psicrométrica (0,66 mb/°C) e Rs = radiação solar global convertida em mm de evaporação equivalente (mm/dia).

Por sua vez, PRIESTLEY & TAYLOR (1972), propuseram:

$$ET = \{1,26 [s/(s + \gamma)] (R_n + S)\} \quad (2)$$

sendo, R_n e S = o saldo de radiação e o fluxo de calor no solo convertidos em mm de evaporação equivalente (mm/dia), respectivamente.

Os coeficientes 0,58 (equação de Makkink) e 1,26 (equação de Priestley-Taylor), pelas características empíricas inerentes ao seu processo de estimação, não podem ser considerados universalmente aplicáveis para climas e culturas.

Assim, o presente estudo visou determinar os coeficientes das equações de Makkink (α_M) e Priestley-Taylor (α_{PT}) para a estimativa da evapotranspiração máxima (ET_m) da alfafa - sem limitação de água no solo e em qualquer estágio de desenvolvimento - nas condições climáticas do Sul do Brasil.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento de campo foi realizado na estação Experimental Agrônômica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (EEA-UFRGS), localizada em Eldorado do Sul-RS (30°05'S, 51°39'W e 46 m de altitude).

O clima da região é subtropical úmido com verão quente (cfa), conforme a classificação de Köppen, e o solo da área pertence à Unidade de Mapeamento Arroio dos Ratos, consistindo em um plintossolo.

A cultura utilizada foi a alfafa (**Medicago sativa** L.), cv. Crioula, de primeiro ano, semeada em 09/06/89, em uma área experimental de 90 m x 60 m, com linhas espaçadas de 0,30 m, cujos detalhes de preparo do solo, semeadura, adubação, manejo de cortes e de controle de pragas e plantas daninhas, podem ser encontrados em CUNHA (1991).

A evapotranspiração máxima (ET_m) da alfafa foi medida diariamente em um lisímetro de balança mecânica (5,1 m² e 0,1 mm de resolução), descrito por BERGAMASCHI et al (1991), instalado no centro da área experimental.

Visando assegurar a evapotranspiração da alfafa em nível máximo (ET_m), no interior e nas cercanias do

lisímetro, o potencial da água no solo foi monitorado com tensiômetros de coluna de mercúrio, nas profundidades de 0,15 e 0,30 m, sendo mantido com valores superiores a -0,06 MPa, através da precipitação pluvial ou, na ausência desta, via irrigação por aspersão.

As medições da ET_m da alfafa iniciaram em 24/10/89, quando foi realizado um corte de nivelamento da cultura, estendendo-se até 17/09/90. Durante este período, foram realizados 7 cortes a 0,075 m acima do solo, quando a cultura apresentava em torno de 10 % de floração ou cerca de 0,5 m de altura, no período de inverno. As datas dos cortes, do primeiro ao sétimo, foram, respectivamente: 28/11/89, 26/12/89, 29/01/90, 01/03/90, 02/05/90, 13/07/90 e 17/09/90.

Os coeficientes das equações de Makkink (m) e Priestley-Taylor (PT) foram estimados para os níveis de representatividade temporal diário, quinqüidial, decendial e mensal, através do método dos mínimos quadrados, considerando os modelos de regressão linear passando pela origem:

$$ET_m = m [s/(s +)] R_s \quad (3)$$

$$ET_m = PT [s/(s +)] R_n \quad (4)$$

sendo, ET_m = evapotranspiração máxima da alfafa (mm/dia); s = tangente à curva de pressão de saturação de vapor d'água no ar (mb/°C); = constante psicrométrica (0,66 mb/°C); R_s = radiação solar global (mm/dia de evaporação equivalente) e R_n = saldo de radiação estimado sobre a alfafa (mm/dia de evaporação equivalente).

A tangente à curva de pressão de saturação de vapor d'água no ar (mb/°C), foi obtida com a seguinte equação (WRIGHT, 1982):

$$s = 33,8639 [0,05904 (0,00738T + 0,8072)^7 - 3,42 \times 10^{-5}] \quad (5)$$

onde, T = temperatura do ar (°C), medida em abrigo meteorológico padrão.

O saldo de radiação sobre a alfafa (W/m²) foi estimado com a equação apresentada por CUNHA et al (1993): (r² = 0,98)

$$R_n = -23,059 + 0,783 R_n \quad (6)$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores dos coeficientes m , da equação de Makkink e PT , da equação de Priestley-Taylor,

determinados para os diferentes níveis de representatividade temporal, encontram-se na Tabela 1.

Observa-se que o parâmetro α_M apresentou uma menor variação, em função da representatividade temporal da estimativa, do que α_{PT} , ficando entre 0,87 e 0,90, com valor médio igual a 0,88. Uma menor variação de α_M em relação a α_{PT} , estacionalmente, foi observada por Pruitt & Doorenbos (1977), citados por SHEAFFER et al (1988). Por sua vez, os valores de α_{PT} variaram de 1,35, em nível diário, a 1,40, em nível mensal. Esta pequena variação vislumbra a possibilidade de utilização do valor médio de 1,38, independentemente do nível de representatividade temporal da estimativa.

O valor médio de α_{PT} igual a 1,38, aproxima-se do valor 1,42, obtido por JURY & TANNER (1975), e de 1,36, determinado por WILLIAMS & STOUT (1981), ambos para alfafa e sob condições não advectivas. Portanto, não é prudente considera de aplicação universal em diferentes locais o valor de $\alpha_{PT} = 1,26$, inicialmente apontado por PRIESTLEY & TAYLOR (1972), sem considerar as características da cultura em foco, mesmo quando cultivada em condições de plena disponibilidade de água. Embora alguns autores tenham encontrado valores de α_{PT} próximos de 1,26, para diferentes culturas, entre esses, BERGAMASCHI & BERLATO (1987) em feijoeiro ($\alpha_{PT} = 1,31$); BERLATO & FONTANA (1987) em soja ($\alpha_{PT} = 1,24$) e DAVIES & ALLEN (1973) em azevém perene ($\alpha_{PT} = 1,27$).

Tabela 1 - Valores e erro padrão dos coeficientes α_M , da equação de Makkink, α_{PT} , da equação de Priestley-Taylor e erro padrão da estimativa da evapotranspiração máxima (ETm), para alfafa, cv. Crioula. Eldorado do Sul-RS, 1989/90.

Representa- tividade Temporal	Makkink ⁽¹⁾				Priestley-Taylor			
	α_M	$s_{\bar{y}}(\alpha_M)$	r^2	$s_{\bar{y}}(ETm)$	α_{PT}	$s_{\bar{y}}(\alpha_{PT})$	r^2	$s_{\bar{y}}(ETm)$
Diário	0,87	0,02	0,48	1,73	1,35	0,03	0,46	1,75
Quinçidial	0,88	0,03	0,72	1,03	1,37	0,05	0,71	1,04
Decendial	0,90	0,03	0,81	0,81	1,40	0,05	0,82	0,80
Mensal	0,89	0,04	0,90	0,59	1,40	0,06	0,91	0,55
Média	0,88	0,03			1,38	0,05		

{1) $s_{\bar{y}}$ = erro padrão da estimativa.

Uma vez que não foi considerado o fluxo de calor no solo na estimativa de α_{PT} , poder-se-ia inferir que a inclusão do mesmo tenderia a reduzir os valores de α_{PT} obtidos, aproximando-os de 1,26. Entretanto, o efeito do fluxo de calor no solo sobre o valor estimado do parâmetro α_{PT} é insignificante, conforme foi observado por BERGAMASCHI & BERLATO (1987) e BERLATO & FONTANA (1987), sendo presumível o mesmo efeito

no caso da alfafa, pois a proporção do fluxo de calor no solo em relação ao saldo de radiação foi pequena neste caso, inferior a 10 %, conforme pode ser constatado em CUNHA et al (1993).

Provavelmente a correlação entre os parâmetros P_T e M seja alta, pois há uma forte associação entre o saldo de radiação (R_n) e a radiação solar global, tendo sido obtido, no caso específico deste estudo, coeficiente de determinação (r^2) igual a 0,98. Portanto, operacionalmente, o modelo de Makkink parece ser mais promissor em razão da maior simplicidade em relação ao de Priestley-Taylor, pois depende somente da temperatura e da radiação solar global, além da menor variação de M , nos diferentes níveis de representatividade temporal, em relação a P_T .

Ainda na Tabela 1, observa-se que o erro padrão da estimativa (s) da ET_m da alfafa, diminui, para os dois métodos, com o aumento do intervalo de representatividade temporal da estimativa, tornando-se inferior a 1 mm/dia a partir do nível quinqüidial.

CONCLUSÕES

1. Os coeficientes das equações de Makkink (M) e de Priestley-Taylor (P_T) para estimar a ET_m da alfafa, nas condições de clima do Sul do Brasil, diferem dos propostos nos modelos originais.

2. A precisão das equações de Makkink e de Priestley-Taylor para estimar a ET_m da alfafa, nas condições de clima do Sul do Brasil, depende da representatividade temporal, aumentando a medida em que se passa do nível diário para quinqüidial, decendial e mensal, sucessivamente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BERGAMASCHI, H., BERLATO, M.A. O parâmetro da equação de Priestley e Taylor para estimativa da evapotranspiração de **Phaseolus vulgaris** L. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, V, 1987, Belém, PA. **Coletânea de Trabalhos...** Belém: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1987. 518p. p. 176-178.
- BERGAMASCHI, H., SANTOS, M.L.V., MEDEIROS, S.L.P. et al. instalação e uso de um lisímetro de balança no Estado do Rio Grande do Sul, Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, VII, 1991, Viçosa, MG. **Resumos...** Viçosa: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia/Universidade Federal de Viçosa, 1991. 314p. p.176-177.
- BERLATO, M.A., FONTANA, D.C. O parâmetro da equação de Priestley e Taylor para estimativa da evapotranspiração da soja. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, V, 1987, Belém, PA. **Coletânea de Trabalhos...** Belém: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1987.

518p. p.178(A)-178(C).

CUNHA, G.R. **evapotranspiração e função de resposta à disponibilidade hídrica em alfafa**. Porto Alegre: UFRGS, 1991, 197p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Programa de pós-graduação em Agronomia. Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1991.

CUNHA, G.R., PAULA, J.R.F., BERGAMASCHI, H. et al. Balanço de radiação em alfafa. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.1, n.1, p.1-10, 1993.

DAVIES, J.A., ALLEN, C.D. Equilibrium, potential and actual evaporation from cropped surfaces in southern Ontario. **Journal of Applied Meteorology**, Boston, v.12, p.649-657, 1973.

JURY, W.A., TANNER, C.B. Advection modification of the Priestley and Taylor evapotranspiration formula. **Agronomy Journal**, Madison, v.67, p.840-842, 1975.

MAKKINK, G.F. Ekzameno de la formula de Penman. **Netherlands Journal of Agricultural Science**, Wageningen. v.5, p.290-305, 1957.

PENMAN, H.L. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. **Proceedings of Royal Society - Série A**, London, v.193, p.120-145, 1948.

PRIESTLEY, C.H.B., TAYLOR, R.J. On the assessment of surface heat flux and evaporation using large-scale parameters. **Monthly Weather Review**, Boston, v.100, p.81-92, 1972.

SHEAFFER, C.C., TANNER, C.B., KIRKHAM, M.B. Alfalfa water relations and irrigation. In: HANSON, A.A. ed. **Alfalfa and alfalfa improvement**. Madison: American Society of Agronomy, 1988. 1084p. p.373-409, 1988.

WILLIAMS, R.J., STOUT, D.G. Evapotranspiration and leaf water status of alfalfa growing under advective conditions. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v.61, p.601-607, 1981.

WRIGHT, J.L. New evapotranspiration crop coefficients. **Journal of the Irrigation and Drainage Division - ASCE**, New York, v.108, n.2, p.57-74, 1982.