

AVALIAÇÃO DE MÉTODOS PARA A ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO MÁXIMA DA ALFAFA¹

Antonio Odair Santos², Homero Bergamaschi³ e Gilberto Rocca da Cunha⁴

RESUMO

A escolha de um método para a estimativa da evapotranspiração máxima (ET_m) da alfafa baseia-se na precisão da estimativa, na resolução temporal mínima e na disponibilidade de dados meteorológicos para sua solução. Visando avaliar a eficiência da estimativa de alguns métodos procedeu-se a análise da estimativa da evapotranspiração máxima, contra medidas diretas, tomadas diariamente em lisímetro de balança, na Estação Experimental Agronômica/UFRGS, em Eldorado do Sul (RS), entre 24/10/89 e 31/03/92, em parcela de 0,5 ha da cultura. Foram utilizados como estimadores da ET_m da alfafa, em nível diário, quinqüidial (média de 5 dias), decendial (média de 10 dias), mensal (média de 30 dias), os métodos de Penman (1948), Penman/FAO e Evapotranspiração de equilíbrio, com variantes do saldo de radiação, estimado sobre alfafa (R_{na}) e sobre grama (R_{ng}); método da Radiação/FAO, Tanque "Classe A"/FAO e a Evaporação do tanque "Classe A". A análise baseou-se no erro padrão da estimativa (SEE). Destacaram-se, em eficiência de estimativa, os métodos do Tanque "classe A"/FAO e original de Penman, sendo que o aumento do intervalo de estimativa contribuiu para a melhoria na eficiência dos métodos em estimar a evapotranspiração máxima da alfafa.

Palavras chave : Alfafa, lisímetro, evapotranspiração máxima, intervalo de estimativa.

SUMMARY

To provide a good estimate of maximum evapotranspiration a method must have high precision, short resolution time and feasibility according to the availability of date. to evaluate the efficiency of different methods of

¹ Extraído da dissertação de Mestrado do primeiro autor. UFRGS - Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Novembro/1993.

²Eng° Agr°, M.S. UFRGS - Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Cx.P. 776, 90001-970. Porto Alegre - RS

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

⁴Eng° Agr°, Dr.. EMBRAPA - CNPT, Cx.P. 569, 99001-970, Passo Fundo - RS

estimate, an experiment was conducted at the Estação Experimental Agronômica/UFRGS in Eldorado do Sul, RS. These methods were compared to direct lysimetric measurements of maximum evapotranspiration from 24/10/89 to 31/03/93. Considering four different estimate intervals (1, 5, 10, and 30 days average data). The experiment was carried out in a field plot of 0.5 ha planted with alfalfa. The methods used as estimators were Penman (1948) and Penman/FAO, equilibrium evapotranspiration, FAO radiation method, class A Pan/FAO and the class A pan evaporation. Net radiation (when required) was used (for each one) as (R_{na}) determined over alfalfa and (R_{ng}), over grass. The comparison among the different methods was based on the standard error of the estimate (SEE). The results Showed class A pan/FAO and Penman original method as the best performers. Increasing the estimate interval caused an improvement in the precision of estimate of maximum evapotranspiration of alfalfa.

Key words : Alfalfa, lysimeter, maximum evapotranspiration, estimate interval.

INTRODUÇÃO

O manejo da água na agricultura, via parametrização meteorológica, destaca-se como uma metodologia prática e de múltiplas aplicações, notadamente ao nível de projeto e operação de sistemas de irrigação. Além disto, muitos estudos que envolvem a aptidão climática requerem acuracidade na determinação das necessidades hídricas para quantificação da água no solo.

A escolha de um método para ser utilizado como estimador das necessidades hídricas de uma cultura deve ser de tal ordem, que apresente bom desempenho na região climática com uma resolução temporal, a menor possível, em vista de dados disponíveis para sua solução.

Em nível mundial, foram realizados inúmeros estudos sobre avaliação de métodos para estimativa da evapotranspiração máxima (ET_m) de culturas. Dentre outros, ALLEN et alii (1989) conduziram um estudo para avaliar as formas mais usuais da equação de Penman, numa base diária e mensal, em onze locais diferentes, utilizando alfafa como cultura de referência. SAEED (1986), num estudo sobre alfafa, na Arábia Saudita, em uma região com regimes de altas temperaturas e aridez testou algumas equações de estimativa contra dados de lisímetros, sendo que para aquelas condições, no verão, todos os métodos testados subestimaram a ET_m da alfafa.

KATUL et alii (1990) compararam dados de ET_m da alfafa em três locais de regimes climáticos diferentes, com dados de seis anos de observações. Os autores estudaram a influência do intervalo de estimativa sobre o erro esperado na comparação, utilizando equações de Penman e a evaporação do tanque "classe A" como estimadores. CUNHA (1991) realizou estudo semelhante na região sul do Brasil. Para ambos autores, os

resultados indicaram que a aplicabilidade do método é função do regime climático, havendo redução no erro da estimativa e aumento no grau de associação entre dados estimados e medidos diretamente, em função do aumento do intervalo de estimativa.

Tendo em vista a cultura da alfafa, *Cv. Crioula*, cultivada nas condições da região climática da Depressão Central no Rio Grande do Sul, os objetivos do presente trabalho foram:

- Comparar o desempenho de métodos de estimativa da ETm da alfafa, com medidas lisimétricas diárias.

- Determinar a influência do intervalo de estimativa (diário, quinquidial, decendial e mensal) sobre a eficiência de estimativa dos métodos testados.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado na Estação Experimental Agrônômica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, localizada no município de Eldorado do Sul (RS), com coordenadas de 30° 05'S, 51° 39'W, e altitude de 46m. O clima da região, pela classificação de Köeppen é subtropical úmido, de verão quente (Cfa) e o solo da área experimental, pertence à unidade de mapeamento Arroio dos Ratos, se constituindo em um Plintossolo.

A cultura utilizada foi alfafa, *cv. Crioula*, semeada em uma unidade experimental de 90 x 60 m, em linhas espaçadas de 0,3m. A correção do solo foi efetuada com a aplicação de 2,5 t/ha de calcário em 1988 e 2 t/ha em 1989. Antes da semeadura foi efetuada a adubação potássica e fosfatada. Para a adubação nitrogenada utilizou-se uréia como fonte de N, correspondendo a 100 Kg/ha de N, sendo feito estrategicamente quatro coberturas de 1989 a 1992. Foram aplicados micronutrientes em cobertura, logo após a semeadura, correspondendo a bórax, sulfato de zinco e molibdato de amônio. Todo o processo de adubação e calagem baseou-se na análise do solo, cujo detalhamento encontra-se em CUNHA (1991) e SANTOS (1993).

Foram efetuados cortes na cultura a altura de 7 cm, quando a mesma apresentava aproximadamente 10% da floração, nos períodos de primavera-verão, ou aproximadamente 45 cm de altura nos períodos de outono-inverno.

Medições diárias de evapotranspiração máxima da alfafa (ETm) foram feitas em um lisímetro de balança mecânica, no período de outubro de 1989 a março de 1992.

O potencial matricial da água no solo, no interior e fora do lisímetro, foi monitorado por tensiômetros de manômetro de mercúrio, instalados até a profundidade de 0,75 m, com intervalo de 0,15m. O potencial foi mantido em valores superiores a -0,05 MPa, através de irrigação por aspersão, ou precipitação pluvial.

As observações meteorológicas diárias foram feitas em estação meteorológica auxiliar, localizada junto à área experimental.

Para fins de comparação foram testados contra as medições lisimétricas os seguintes métodos:

1. Método de PENMAN (1948) (ETp)

$$ETp = \frac{s}{s+g} Rn + \frac{g}{s+g} Ea \quad (1)$$

$$Ea = 0,35(1+0,0098U_2)(es - e) \quad (2)$$

Sendo ETp a evapotranspiração estimada (mm.dia⁻¹), Rn o saldo de radiação convertido em mm.dia⁻¹ de evaporação equivalente e Ea o termo aerodinâmico (mm.dia⁻¹), dado por:

Sendo U₂ a velocidade do vento a 2m acima do solo (milhas.dia⁻¹) e (es-e) o déficit de saturação de vapor de água no ar (mb).

O déficit de saturação (es-e) foi calculado em função da umidade, relativa média (UR%) e da temperatura média do ar (T°C). O valor de es (pressão de saturação do vapor d'água no ar, mb) foi obtido a partir da equação apresentada por KATUL *et al* (1990), em função da temperatura do ar (T°C):

$$es = 6,1078 \cdot \text{EXP} \left(\frac{17,27T}{t+237,3} \right) \quad (3)$$

Uma vez que UR (%) = 100 (e/es), tem-se que: e = es.UR/100, sendo e a pressão real de vapor d'água no ar (mb).

O coeficiente (s/s+γ) é uma função da temperatura média do ar (T°C). Considerando-se a pressão atmosférica média local em 1013 mb pode-se inferir, baseado em KATUL *et alii* (1990), que s (em mb) é dado por:

$$s = \frac{24639,48}{(T+237,3)^2} \text{EXP} \frac{17,27T}{(T+237,3)} \quad (4)$$

e que:

$$g = \frac{Cp \cdot P}{e \cdot L} \quad (5)$$

sendo Cp o calor específico do ar à pressão constante, P a pressão atmosférica, ε razão entre a massa

molecular do vapor d'água e a massa molecular do ar seco e L o calor latente de evaporação. Considerando-se $C_p = 0,24 \text{ cal.g}^{-1}$, $p = 1013 \text{ mb}$, $\alpha = 0,622$ e $L = 590 \text{ cal.g}^{-1}$, pela equação (5.0) tem-se que $\tilde{\alpha} = 0,66 \text{ mb.}^\circ\text{C}$, valor utilizado no método descrito.

A ETp foi calculada considerando-se duas variantes de estimativa do saldo de radiação (Rn): Rn estimado para uma superfície cultivada com alfafa (Rna) e para uma superfície gramada (Rng).

Para a estimativa de Rna utilizou-se a equação obtida por CUNHA (1991):

$$Rna = -23,059 + 0,783.Rs \quad (6)$$

Para a estimativa de Rng utilizou-se a equação obtida por BERGAMASCHI & GUADAGNIN (1990):

$$Rng = -18,81 + 0,69.Rs \quad (7)$$

sendo Rs a radiação solar global incidente.

2.Método de Penman modificado pela FAO (ETp-FAO)

$$ETp - FAO = c[W.Rn + (1 - W).f(U).(es - e)] \quad (8)$$

sendo **ETp-FAO** a evapotranspiração estimada (mm.dia^{-1}), Rn o saldo de radiação convertido em mm.dia^{-1} de evaporação equivalente, W o termo $s/(s+\gamma)$, (es-e) o déficit de saturação de vapor d'água no ar (mb) e c o fator de correção para advecção.

O saldo de radiação, o coeficiente W e o déficit de saturação foram obtidos de modo análogo ao descrito no ítem 1. A f(U) é uma função da velocidade do vento, dada por:

$$f(U) = 0,27 \left[1 + \frac{U_2}{100} \right] \quad (9)$$

sendo, U_2 a velocidade do vento a 2m acima do solo (Km.dia^{-1}).

O fator de correção "c" foi obtido em tabela apresentada por CUNHA (1991) e é uma função da radiação solar global (Rs) convertida em mm.dia^{-1} de evaporação equivalente e a velocidade média diurna do vento (7h às 19h) (m.s^{-1}).

A velocidade do vento diurno a 2m acima do solo (U_{2d}) foi obtida através da seguinte relação gerada para o local (CUNHA,1991) que encontrou $r^2=0,99$:

$$U_{2d} = 0,6198.U_2 \quad (10)$$

sendo U_2 a velocidade do vento a 2 m cima do solo no período de 24 h.

A estimativa de R_n foi realizada da maneira descrita no item 1., gerando portanto duas variantes, ou seja, Penman/FAO (R_{ng}) e Penman/FAO (R_{na}) como estimadores.

3. Evapotranspiração de equilíbrio (ETeq)

$$ETeq = \frac{s}{s + g} R_n \quad (11)$$

sendo, $ETeq$ a evapotranspiração estimada $mm.dia^{-1}$, R_n o saldo de radiação convertido em $mm.dia^{-1}$ de evaporação equivalente.

Os cálculos de $ETeq$ que usaram a estimativa de R_n considerando-se a alfafa como cultura de referência denominaram-se evapotranspiração de equilíbrio **Rna**. Quando se utilizou grama como referência, denominaram-se evapotranspiração de equilíbrio **Rng**.

4. Método da radiação/FAO (ETrad/FAO)

$$\frac{ETrad}{FAO} = a + b.W.R_s \quad (12)$$

sendo **ETrad/FAO** a evapotranspiração estimada ($mm.dia^{-1}$), W o termo $[s/(s+\gamma)]$ e R_s a radiação solar global convertida em $mm.dia^{-1}$ de evaporação equivalente.

Os coeficientes **a** e **b** foram obtidos em tabela gerada a partir de procedimento gráfico apresentado por DOORENBOS & PRUITT (1977) e adaptada por CUNHA (1991), considerando-se a umidade relativa média (UR%) e a velocidade do vento no período diurno, das 7 às 19 h (em $m.s^{-1}$).

A velocidade média do vento no período diurno foi gerada pela equação 10.0.

5. Método do tanque "classe A"/FAO (ETo/FAO)

$$\frac{ETo}{FAO} = K_p.E_o \quad (13)$$

sendo **ETo/FAO** a evapotranspiração estimada ($mm.dia^{-1}$), **Kp** o coeficiente de tanque e E_o a evaporação do tanque "classe A" ($mm.dia^{-1}$)

O coeficiente de tanque (Kp) foi obtido em DOORENBOS & PRUITT (1977), considerando a área circundante ao tanque como gramado, num raio de 1000 m a partir do centro do tanque.

6. Evaporação do tanque "classe A" (Eo)

$$ETm = Eo \quad (14)$$

A evapotranspiração estimada para a alfafa foi admitida como de valor igual à evaporação ocorrida no tanque "classe A" (mm.dia-1).

A metodologia de avaliação de métodos para estimativa, conforme descrita por ALLEN et alii (1989) e utilizada por KATUL et alii (1990) e CUNHA (1991), fundamenta-se no erro padrão da estimativa (SEE):

$$SEE = \left[\frac{\sum(Y - \mathbf{y})}{n - 2} \right]^{0.5} \quad (15)$$

sendo \mathbf{Y} a ETm medida no lisímetro, Ψ a ETm estimada pelos métodos testados não ajustados e n o número de observações. Para a ETm estimada pelos métodos testados e ajustados por regressão linear $SEE = ASEE$.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As tabelas 1, 2, 3 e 4 fornecem os resultados da análise estatística da estimativa da evapotranspiração máxima (ETm) da alfafa para os níveis diário, quinçidial, decendial e mensal, para os diferentes métodos testados, ordenados em ordem decrescente dos valores de erro padrão de estimativa não ajustado por regressão (SEE).

Para todos os níveis, o ajuste procedido através da regressão linear nos moldes $ETm = a + bx$ e $ETm = bx$ resultou em um erro padrão (ASEE) menor do que o erro padrão da estimativa não ajustado por regressão (SEE). Porém o modelo com intercepto apresentou menores valores de ASEE, quando comparados com o modelo forçado pela origem, que, em função da eliminação da intercepção na ordenada, penaliza o coeficiente de determinação e aumenta o erro ASEE.

Nos níveis diário e quinqui-diário o modelo com intercepto foi melhor estimador da ET_m da alfafa, porém, a partir do nível decenal os dois tipos de análise, com intercepto e forçado pela origem, já não mais apresentaram uma nítida diferenciação, em vista da maior estabilização do erro com o aumento do intervalo de estimativa, (Tabelas 3 e 4).

TABELA 1 - Análise estatística da estimativa da evapotranspiração máxima (ET_m) da alfafa, cv. Crioula, por diferentes métodos, em nível diário. Eldorado do Sul (RS). 1989/1992.

Método	SEE	ET _m (y) = a+bx				ET _m (y) = bx		
		a	b	r ²	ASEE	b	r ²	ASEE
Penman (Rng)	1,69	0,75	0,86	0,45	1,65	1,03	0,43	1,68
Mét. radiação/FAO	1,69	0,90	0,88	0,47	1,61	1,09	0,44	1,66
Evapotr.equilíbrio (Rna)	1,72	0,70	0,92	0,44	1,66	1,09	0,43	1,68
Penman (Rna)	1,81	0,86	0,72	0,41	1,70	0,89	0,39	1,74
Mét.tanque "classe A"/FAO	1,81	1,29	0,67	0,45	1,66	0,92	0,36	1,77
Evapotr.equilíbrio (Rng)	1,90	0,93	0,99	0,43	1,67	1,24	0,40	1,72
Penman/FAO (Rng)	1,95	1,56	0,63	0,36	1,77	0,96	0,24	1,94
Penman/FAO (Rna)	2,11	1,59	0,55	0,35	1,80	0,84	0,22	1,96
Evapor.tanque "classe A"	2,20	1,31	0,55	0,45	1,65	0,76	0,36	1,78

SEE e ASEE = (mm.dia⁻¹)

As Tabelas 1 a 4 evidenciam a influência do intervalo da estimativa sobre o desempenho dos métodos testados. De modo geral, com o aumento do intervalo de estimativa observa-se uma diminuição nos erros padrões (SEE e ASEE) e um aumento nos coeficientes de determinação (r²).

Se, por um lado há uma tendência de estabilização do erro a partir de estimativas quinqui-diárias, a transição do nível diário para o quinqui-diário apresenta um crescimento rápido em r² e decréscimo acentuado de valores de ASEE (Figura 1). Este comportamento pode ser explicado pela atenuação ocorrida nos elementos do microclima em nível diário, que sofrem o efeito da ponderação pelo uso de médias, conforme já constataram ALLEN et alii (1989), KATUL et alii (1990) e CUNHA (1991).

A Tabela 1 mostra que as estimativas em nível diário apresentam alto grau de incerteza, podendo os erros padrões serem iguais ou até superiores à ET_m em condições de baixa demanda. Neste nível não se divisa nenhum método como estimador confiável.

TABELA 2 - Análise estatística da estimativa da evapotranspiração máxima (ET_m) da alfafa, cv. Crioula, por diferentes métodos, em nível quinquidial. Eldorado do Sul (RS). 1989/1992.

Método	SEE	ET _m (y)=a+bx				ET _m (y)=bx		
		a	b	r ²	ASEE	b	r ²	ASEE
Mét. tanque "classe A"/FAO	0,97	0,42	0,91	0,73	0,95	1,01	0,72	0,96
Penman (Rna)	0,99	-0,04	0,98	0,71	0,98	0,97	0,71	0,98
Penman (Rng)	1,06	0,02	1,11	0,72	0,97	1,12	0,72	0,96
Mét. radiação/FAO	1,15	0,20	1,13	0,73	0,95	1,19	0,73	0,95
Evapotr. equilíbrio (Rna)	1,17	-0,01	1,17	0,70	1,01	1,17	0,70	1,07
Evapotr. equilíbrio (Rng)	1,18	0,09	1,35	0,69	1,01	1,38	0,69	1,01
Evapor. tanque "classe A"	1,22	0,42	0,77	0,74	0,93	0,84	0,73	0,95
Penman/FAO (Rng)	1,37	1,20	0,79	0,56	1,22	1,08	0,47	1,34
Penman/FAO (Rna)	1,42	1,29	0,67	0,53	1,26	0,94	0,42	1,39

SEE e ASEE = (mm.dia⁻¹)

Ao verificar os métodos, individualmente, no desempenho como estimadores da ET_m da alfafa, evidencia-se o desempenho destacado do método do Tanque "classe A"/FAO e do método de Penman (1948) nas suas duas variantes Rna e Rng, a partir do nível quinquidial e a baixa eficiência de todos os métodos testados, nas estimativas em nível diário. Ainda considerando o nível diário, pode-se citar como um fator limitante das variantes do método de Penman (1948) a pressuposição de atmosfera neutra, portanto utilizando apenas um nível de obtenção das variáveis para a solução das equações de transporte (PENMAN, 1948). É sabido que, para curtos períodos de tempo, o efeito da estabilidade sobre o transporte de vapor é aumentado e a média horizontal do vento não pode descrever o transporte aerodinâmico da atmosfera.

A evapotranspiração de equilíbrio, por presumir atmosfera saturada, isto é, déficit de saturação igual a zero, apresenta um padrão geral de subestimativa, uma vez que aquela condição não reflete a realidade do ambiente micrometeorológico da cultura, devendo ocorrer em apenas alguns instantes do dia, quando a umidade absoluta do ar é alta.

O método da radiação/FAO, apesar de levar em consideração a umidade relativa do ar e a velocidade diurna do vento, é na verdade uma simplificação do método combinado de Penman. Portanto, seu embasamento físico é limitado e seu desempenho, em nível diário, também não pode ser esperado satisfatório.

O método de Penman modificado pela FAO, nas suas duas variantes Rna e Rng apresentou o pior desempenho como estimador, em todos os níveis de representatividade temporal. Muito embora seja mais analítico que empírico, apresenta um fator de correção (c), que é função da velocidade do vento e da radiação solar, numa tentativa empírica de computar o aporte de energia advecitiva na equação, em regiões áridas. No entanto, nas condições da Depressão Central do Rio Grande do Sul, não se apresentou como estimador

confiável.

A evaporação do tanque "classe A", como estimador da ETm apresenta uma performance caracterizada por erros sistemáticos, como o inconveniente da cumulatividade de erro, ou seja, erros de leitura diária, cometidos e não compensados no dia seguinte. Neste aspecto, acresce-se os erros causados pela comparação simplista de uma superfície de água livre com um vegetal e todo seu complexo sistema de trocas de massa e energia com a atmosfera. Porém, o tanque "classe A", quando corrigido segundo metodologia própria melhora em muito seu desempenho como estimador. Este fato é de particular importância, pela grande disponibilidade de dados desta natureza ao longo das regiões.

As tabelas 1 a 4 indicam que a utilização da variante "Rna (saldo de radiação determinado sobre a alfafa) para cálculo do saldo de radiação sobre a cultura aumentou a eficiência das estimativas, demonstrando a importância de se considerar o albedo e emissividade e as condições reais de trocas da cultura em estudo, ao invés de se utilizar saldo de radiação determinado sobre outra cultura de fins comparativos.

TABELA 4 - Análise estatística da estimativa da evapotranspiração máxima (ETm) da alfafa, cv. Crioula, por diferentes métodos, em nível mensal. Eldorado do Sul (RS). 1989/1992.

Método	SEE	ETm (y)=a+bx				ETm (y)=bx		
		a	b	r ²	ASEE	b	r ²	ASEE
Mét.tanque"classe A"/FAO	0,52	0,25	0,94	0,90	0,52	1,00	0,90	0,52
Penman (Rna)	0,60	-0,30	1,03	0,88	0,57	0,97	0,88	0,57
Penman (Rng)	0,68	-0,25	1,18	0,89	0,53	1,11	0,89	0,53
Mét. radiação/FAO	0,81	-0,09	1,21	0,91	0,50	1,19	0,91	0,49
Evapotr.equilíbrio (Rna)	0,82	-0,39	1,27	0,89	0,55	1,16	0,88	0,55
Evapotr.equilíbrio (Rng)	0,89	-0,33	1,48	0,90	0,50	1,38	0,90	0,50
Evapor.tanque "classe A"	0,98	0,30	0,77	0,90	0,51	0,83	0,90	0,51
Penman/FAO (Rng)	1,13	1,17	0,78	0,66	0,97	1,06	0,55	1,09
Penman/FAO (Rna)	1,24	1,29	0,65	0,61	1,03	0,92	0,48	1,17

SEE e ASEE = (mm.dia⁻¹)

TABELA 3 - Análise estatística da estimativa da evapotranspiração máxima (ETm) da alfafa, cv. Crioula, por diferentes métodos, em nível decenal. Eldorado do Sul (RS). 1989/1992.

Método	SEE	ETm (y)=a+bx				ETm (y)=bx		
		a	b	r ²	ASEE	b	r ²	ASEE
Mét.tanque"classe A"/FAO	0,75	0,39	0,92	0,80	0,77	1,01	0,79	0,78
Penman (Rna)	0,80	-0,09	0,99	0,79	0,80	0,97	0,78	0,79
Penman (Rng)	0,88	-0,06	1,13	0,80	0,77	1,12	0,80	0,76
Mét. radiação/FAO	1,00	0,14	1,15	0,80	0,77	1,19	0,80	0,76
Evapotr.equilíbrio (Rna)	1,05	0,11	1,13	0,73	0,89	1,16	0,73	0,89
Evapotr.equilíbrio (Rng)	1,06	0,19	1,31	0,73	0,88	1,37	0,73	0,87
Evapor.tanque "classe A"	1,09	0,40	0,77	0,80	0,76	0,84	0,79	0,77
Penman/FAO (Rng)	1,25	1,23	0,78	0,60	1,08	1,07	0,49	1,22
Penman/FAO (Rna)	1,33	1,34	0,65	0,56	1,14	0,93	0,43	1,29

SEE e ASEE = (mm.dia⁻¹)

CONCLUSÕES

1 - A precisão da estimativa da evapotranspiração máxima da alfafa mostra-se dependente do método utilizado e do nível de representatividade temporal adotado.

2 - A utilização do saldo de radiação, determinado sobre a alfafa (R_{na}) melhora a eficiência da estimativa, quando comparado com o uso do saldo de radiação determinado sobre gramado (R_{ng}).

3 - As estimativas para intervalos quinquiduais, ou maiores, apresentam resultados satisfatórios, enquanto que em nível diário demonstram incerteza.

4 - O método do tanque "classe A"/FAO e o método de Penman (1948) (R_{na}) apresentam melhor desempenho nas estimativas da evapotranspiração máxima da alfafa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEN, R. G., JENSEN, M. E., BORNAN, R. D. Operational estimates of reference evapotranspiration. **Agronomy Journal**. Madison, v. 81, p.650-662, 1989.
- BERGAMASCHI, H., GUADAGNIN, M.R. **Agroclima da Estação Experimental Agrônômica/UFRGS**. Porto Alegre: UFRGS, Faculdade de Agronomia, 1990. 60 p.
- CUNHA, G. R. **Evapotranspiração e função de resposta à disponibilidade hídrica em alfafa**. Porto Alegre, 1991, 197 p. Tese (Doutorado em Agronomia)- Programa de pós graduação em Agronomia. Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1991.
- DOORENBOS, J. & PRUITT, W. O. **Las necesidades de agua de los cultivos**. Roma: FAO, 1977. 194 p. (Riego y Drenaje, 24).
- KATUL, G. G., CUENCA, R. H., GREBET, P. *et al* **Analysis of evaporative flux data for various climates**. Corvallis: Oregon State University. 1990. 19 p. (Extratos de dissertação de mestrado).
- PENMAN, H. L. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. **Proceedings of Royal society of London**. Série A, London, v. 193, p. 120-145, 1948.
- SAEED, M. The estimation of evapotranspiration by some equations under hot and arid conditions. **Transactions of ASAE**, St. Joseph, v. 29, n. 2, p. 434-438, 1986.
- SANTOS, A. O. **Evapotranspiração máxima da alfafa na depressão Central do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, 1993, 106 p. Dissertação (Mestrado em Fototecnia)-Programa de Pós-graduação em Agronomia. Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1993.