



## EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA ESTIMADA POR DIFERENTES MÉTODOS PARA A REGIÃO DE PELotas/RS

**TERRA, Viviane Santos Silva<sup>1</sup>; TEIXEIRA, Claudia Fernanda Almeida<sup>2</sup>; REISSER JÚNIOR, Carlos<sup>3</sup>; MADALÓZ, Lauricio Martini<sup>4</sup>; STEINMETZ, Silvio<sup>3</sup>; ALMEIDA, Ivan Rodrigues<sup>3</sup>; TIMM, Luis Carlos<sup>5</sup>**

*<sup>1</sup>Mestranda em Sistemas de Produção Agrícola Familiar-FAEM/UFPel e Bolsista do CNPq; <sup>2</sup>Profª Drª do Depto. de Engenharia Agrícola-FEA/UFPel; <sup>3</sup>Pesquisador Dr. da Embrapa Clima Temperado-CPACT; <sup>4</sup>Acadêmico do Curso de Engenharia Agrícola – FEA/UFPel e Bolsista do CNPq; <sup>5</sup>Prof. Dr. do Depto. de Engenharia Rural-FAEM/UFPel  
Campus Universitário – Caixa Postal 354 – CEP 96010-900. vssterra@yahoo.com.br*

### 1. INTRODUÇÃO

A estimativa das necessidades hídricas pelas culturas são fundamentalmente importantes para o planejamento e manejo das áreas irrigadas. Assim, as informações sobre a evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>), que levam a estimativas da evapotranspiração das culturas (E<sub>c</sub>), tornam-se ferramentas importantes no manejo da irrigação. Segundo Pereira et al. (1997), a medida direta da evapotranspiração é onerosa e difícil, e reforçam a existência de vários métodos de estimativa aptos ao uso, dependendo dos dados climáticos disponíveis no local de estudo. Dessa forma, a estimativa da evapotranspiração pode variar com a precisão dos dados obtidos, tamanho da série histórica e o método de estimativa utilizado, podendo influenciar na eficiência do sistema de irrigação, em razão do dimensionamento inadequado desse sistema.

Recentemente, consultores da Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO) (Allen et al., 1998), revisando os métodos de estimativa da ET<sub>o</sub>, deliberaram que a equação de Penman-Monteith deve ser utilizada como método padrão, porque é baseada em processos físicos e incorpora parâmetros fisiológicos e aerodinâmicos.

Segundo Camargo & Camargo (2000) a equação de Penman-Monteith prediz com eficácia a ET<sub>o</sub> em diversas condições de umidade atmosférica, necessitando, entretanto, de vários elementos meteorológicos, que nem sempre se encontram disponíveis em algumas regiões. A alternativa, segundo os autores, é o uso de equações simplificadas que considerem a ET<sub>o</sub> um elemento meteorológico padrão para emprego na agrometeorologia.

Diante do exposto, objetivou-se estimar os valores de ET<sub>o</sub> diários para as condições edafoclimáticas da região de Pelotas/RS, obtidos pelo método de

Penman-Monteith-FAO, considerando-o como padrão, e comparando-o com os obtidos pelos métodos de Blaney-Criddle, Tanque Classe A, Kharrufa, Camargo e Hargreaves-Samani, com o intuito de apontar os métodos apropriados na estimativa da variável ETo.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

Para a estimativa da evapotranspiração de referência (ETo) foram utilizados os dados diários de insolação, temperatura máxima e mínima do ar, umidade relativa do ar, velocidade do vento e evaporação do Tanque Classe “A” obtidos da Estação Meteorológica da Sede da Embrapa Clima Temperado, no município de Pelotas-RS (32°45'S e 52°30'W, altitude média de 60 m), no período de 01 de janeiro a 31 de dezembro de 2008. O clima da região é classificado, segundo Köppen, como do tipo “Cfa”, apresentando temperatura média anual de 18°C, precipitação pluvial anual média de 1.500 mm e umidade relativa do ar média de 78,8%.

Os métodos utilizados para a estimativa da evapotranspiração de referência foram o de Penman-Monteith-FAO (PM, equação 1), Blaney-Criddle (BC, equação 2), Tanque Classe “A” (TCA, equação 3), Kharrufa (K, equação 4), Camargo (CA, equação 5) e Hargreaves-Samani (HS, equação 6). A ETo estimada pelo método de Penman-Monteith-FAO foi considerada como padrão para a aferição dos demais métodos.

$$\text{Equação de Penman-Monteith: } ETo = \frac{0,408\Delta(Rn - G) + \gamma \frac{900}{t_a + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34u_2)} \quad (1)$$

onde: ETo= evapotranspiração de referência (mm d<sup>-1</sup>); Δ= gradiente da curva pressão versus temperatura, (KPa°C<sup>-1</sup>); Rn= radiação solar líquida disponível (MJm<sup>-2</sup>d<sup>-1</sup>); G= fluxo de calor no solo (MJm<sup>-2</sup>d<sup>-1</sup>); γ= constante psicrométrica (KPa°C<sup>-1</sup>); u<sub>2</sub>= velocidade do vento a 2 m (m s<sup>-1</sup>); e<sub>s</sub>= pressão de saturação do vapor de água atmosférico (KPa); e<sub>a</sub>= pressão atual de vapor de água atmosférico (KPa); t<sub>a</sub>= temperatura média diária do ar (°C).

$$\text{Equação de Blaney-Criddle: } ETo = Kp(0,46T_a + 8,13) \quad (2)$$

onde: K= coeficiente mensal dependente da vegetação, localidade e estação do ano, que varia de 0,5 a 1,2; p= porcentagem de insolação máxima diária (N) em relação ao horário de insolação teórico do ano; T<sub>a</sub>= temperatura média diária do ar (°C).

$$\text{Equação do Tanque Classe “A” } ETo = KpEv \quad (3)$$

onde: Kp= coeficiente de tanque (Doorenbos & Pruitt, 1977); Ev= evaporação do Tanque Classe “A” (mm d<sup>-1</sup>).

$$\text{Equação de Kharrufa: } ETo = 0,34pT_a^{1,3} \quad (4)$$

$$\text{Equação de Camargo: } ETo = 0,01RaT_aK \quad (5)$$

onde:  $R_a$  = radiação solar extraterrestre incidente ( $\text{mm d}^{-1}$ ).

$$\text{Equação Hargreaves-Samani: } ETo = aR_aTD^{1/2}(T_a + 17,8) \quad (6)$$

onde: TD = variação de temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) no dia,  $T_{\text{max}} - T_{\text{min}}$ ; a = coeficiente adimensional.

A precisão da estimativa da evapotranspiração de referência, obtida pelos diferentes métodos utilizados nesse estudo, em comparação com o modelo padrão da FAO, foi dada pelo coeficiente de determinação, o qual indica o grau em que a regressão explica a soma do quadrado total. A aproximação dos valores de ETo estimados por determinado método estudado, em comparação aos valores obtidos pelo método padrão, foi obtido pelo índice de concordância (d) (Willmott et al., 1985), onde seus valores variam de “zero” (não existe concordância) a “um” (concordância perfeita).

O índice “d” mostra quanto os resultados obtidos pelos diferentes métodos concordam com os calculados pelo padrão. Assim, quanto mais próximo da unidade for esse índice, maior será a concordância entre os métodos comparados. Como parâmetro estatístico de comparação, utilizou-se o índice “c” adotado por Camargo e Sentelhas (1997), que serve como indicador de desempenho dos métodos, reunindo os índices de precisão “r” determinados a partir de regressão linear e de exatidão “d”, sendo expresso da seguinte forma:  $c = r \times d$ .

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 estão apresentados os resultados dos coeficientes de correlação (r), índice de concordância (d), índice de desempenho (c) e análise de regressão para os métodos avaliados, comparativamente ao método padrão de Penman-Monteith-FAO (PM). De acordo com a classificação proposta por Hopkins (2000), os valores de coeficiente de correlação (r) encontrados foram classificados como “muito altos”, em função dos mesmos estarem, segundo o autor, na faixa de 0,70 a 0,90.

**Tabela 1.** Coeficientes de correlação (r), concordância (d) e desempenho (c) para valores diários de evapotranspiração de referência estimados por diferentes métodos, comparados com o método padrão de Penman-Monteith, para a região de Pelotas/RS.

Método	r	d	c*	Equação**	r <sup>2</sup>
Tanque Classe A (TCA)	0,77	0,73	0,56 <sup>S</sup>	$ET_{o(TCA)} = 0,553ET_{o(PM)} - 0,344$	0,59
Blaney-Criddle (BC)	0,74	0,89	0,66 <sup>B</sup>	$ET_{o(BC)} = 0,4199ET_{o(PM)} + 1,135$	0,55
Hargreaves-Samani (HS)	0,81	0,92	0,74 <sup>B</sup>	$ET_{o(HS)} = 0,4718ET_{o(PM)} + 1,1196$	0,66
Camargo (CA)	0,73	0,77	0,56 <sup>S</sup>	$ET_{o(CA)} = 0,341ET_{o(PM)} + 0,8645$	0,53
Kharrufa (K)	0,71	0,98	0,70 <sup>B</sup>	$ET_{o(K)} = 0,4469ET_{o(PM)} + 2,0253$	0,51

\* <sup>S</sup> – Sofrível; <sup>B</sup> – Bom; \*\* PM – Método de Penman-Monteith-FAO

Considerando o índice de concordância (d) de Willmott et al. (1985), que expressa a exatidão das estimativas em relação aos valores observados, os métodos de Kharrufa (K) e de Hargreaves-Samani (HS) foram os que apresentaram valores mais próximos da unidade, 0,98 e 0,92, respectivamente, indicando que os referidos métodos apresentam uma concordância quase perfeita (próximo de 1).

Os métodos do Tanque Classe "A" (TCA) e de Camargo (CA) apresentaram valores de coeficiente de desempenho (c) iguais a 0,56, sendo classificados, segundo Camargo e Sentelhas (1997), como sofrível. Os demais métodos, Blaney-Criddle (BC), Hargreaves-Samani (HS) e Kharrufa (K) apresentaram desempenho classificado como bom, com valores do coeficiente "c" iguais a 0,66, 0,74 e 0,70, respectivamente. Medeiros (1998) com o objetivo de comparar a estimativa da ETo pelo método PM, para uma escala diária, em Paraipaba-CE, encontrou para o Tanque Classe "A" valores baixos de coeficiente de desempenho (c = 0,39). Conceição (2003) encontrou o pior desempenho para o método de Camargo, classificando-o como regular, enquanto para os métodos de Thornthwaite e Blaney-Criddle, apesar de classificados como bons, apresentaram coeficientes "c" iguais a 0,66. O método de Hargreaves-Samani também apresentou um bom desempenho, com valor de "c" igual a 0,71. Esse desempenho, contudo, foi inferior ao do método original de Hargreaves-Samani, que apresentou um valor de "c" igual a 0,82.

Os valores de coeficiente de determinação ( $r^2$ ) variaram de 0,51 a 0,66 para as regressões lineares da ETo obtida pelo método padrão e os demais métodos testados. O método de Hargreaves-Samani (HS) apresentou precisão superior ( $r^2 = 0,66$ ) aos demais, enquanto o método de Kharrufa (K) apresentou menor precisão ( $r^2 = 0,51$ ). Conceição (2003) com o objetivo de estimar a ETo com base na temperatura do ar para as condições do Baixo Rio Grande, SP, utilizou os métodos de Thornthwaite, Blaney-Criddle, Camargo, Linacre e Hargreaves-Samani. Os métodos de Blaney-Criddle e Camargo apresentaram valores de  $r^2$  iguais a 0,64 e para o método de Hargreaves-Samani  $r^2$  igual a 0,84.

Apesar da equação de Penman-Monteith ser a de maior aceitação, não há uma unanimidade quanto à metodologia mais representativa da estimativa da ETo, mesmo porque todos os métodos possuem alguma imprecisão e pontos fracos. É possível verificar que há uma grande variabilidade dos fatores de influência para determinada região, por isso tantos resultados distintos com relação à metodologia que melhor representa o fenômeno. Muitas vezes faz-se necessária uma calibração local, ou até mesmo a busca por uma nova metodologia que atenda às necessidades locais.

#### 4. CONCLUSÕES

Para as condições do presente trabalho, o método de Hargreaves-Samani foi o que apresentou a melhor estimativa da ETo para valores diários, comparativamente ao método padrão de Penman-Monteith-FAO, para a região de Pelotas/RS.

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements**. Roma: FAO, 1998. 297p (FAO Irrigation and Drainage Paper, 56).
- CAMARGO, A.P.; CAMARGO, M.B.P. Uma revisão analítica da evapotranspiração potencial. **Bragantia**, Campinas, v.59, n.2, p.125-137, 2000.
- CAMARGO, A.P.; SENTELHAS, P.C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, RS, v. 5, n.1, p.89-97. 1997.

CONCEIÇÃO, M.A.F. Estimativa da evapotranspiração de referência com base na temperatura do ar para as condições do Baixo Rio Grande, SP. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 11, n. 2, p. 229-236, 2003.

DOORENBOS, J.; PRUITT, W.O. Guidelines for predicting crop water requirements. Rome: FAO, 1977. 179 p. (Irrigation and Drainage Paper, 24)

HOPKINS, W.G. Correlation Coefficient. Disponível em: <http://www.sportsci.org/resource/stats/correl.html>. Acesso: 19 agosto. 2009.

MEDEIROS, S.L.P. Avaliação dos métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para a região mesoclimática de Santa Maria–RS. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**. Santa Maria, v.6, n.1, p.105. 1998.

PEREIRA, A.R.; VILLA NOVA, N.A.; SEDIYAMA, G.C. **Evapo(transpi)ração**. Piracicaba: FEALQ, 1997. 183p.

WILLMOTT, C.J.; ACKLESON, S.G.; DAVIS, R.E. Statistics for the evaluation and comparison of models. **Journal of Geophysical Research**, v.90, p.8995-9005, 1985.