

# Avaliação de desempenho de métodos para estimativas de evapotranspiração de referência para a região de Palotina, Estado do Paraná

Vera Lucia Greco Syperreck, Elcio Silvério Klosowski, Marcelo Greco\* e Cleber Furlanetto

*Programa de Pós-graduação em Agronomia, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, R. Pernambuco, 1777, 85960-000, Marechal Cândido Rondon, Paraná, Brasil. \*Autor para correspondência. E-mail: greco.b@ibest.com.br*

**RESUMO.** O objetivo do presente trabalho foi comparar a eficiência dos métodos de estimativa da evapotranspiração de referência em relação ao método de FAO Penman-Monteith. Os dados meteorológicos utilizados foram coletados na estação meteorológica da rede do Iapar, instalada em Palotina, Estado do Paraná. Os dados utilizados, nas estimativas de evapotranspiração de referência, corresponderam ao período de 1994 a 2003. A evapotranspiração de referência foi estimada pelos métodos de Thornthwaite, Camargo e Hargreaves-Samani, sendo seu desempenho comparado ao método de FAO Penman-Monteith. As médias diárias da evapotranspiração de referência variaram entre 2,58 e 3,62 mm dia<sup>-1</sup>. Os resultados indicaram que, para a escala diária, os métodos avaliados apresentaram bom ajuste, quando comparados ao método de FAO Penman-Monteith, com coeficientes de correlação (r) variando entre 0,85 e 0,86. O coeficiente de exatidão ou de concordância (d) apresentou valores que variaram entre 0,82 e 0,85. Em relação ao método de FAO Penman-Monteith, os métodos de Hargreaves-Samani, Thornthwaite e Camargo apresentaram bom desempenho, quando avaliados pelo índice “c”.

**Palavras-chave:** irrigação, consumo de água, cultura de referência.

**ABSTRACT.** Assessment of modeling approaches for estimates of reference evapotranspiration for the region of Palotina, Paraná State, Brazil. The aim of this study was to compare the efficiency of three estimate methods for reference evapotranspiration in comparison with the FAO Penman-Monteith equation. Meteorological data used in this study were collected from the IAPAR meteorological station, located in Palotina, Paraná State, Brazil. In order to estimate the reference evapotranspiration, data available from 1994 to 2003 were used. The performance of the Thornthwaite, Camargo and Hargreaves-Samani methods were compared to the FAO Penman-Monteith equation. The average of daily reference evapotranspiration ranged from 2.58 to 3.62 mm day<sup>-1</sup>. The results indicated that the evaluated methods showed good adjustment when compared to the FAO Penman-Monteith method, according to the daily scale. The correlation coefficient (r) ranged from 0.85 to 0.86. The coefficient of accuracy or agreement (d) presented values that ranged from 0.82 to 0.85. In comparison to the FAO Penman-Monteith method, the Hargreaves-Samani, Thornthwaite and Camargo methods demonstrated good performance, when evaluated by the index (c).

**Key words:** irrigation, water consumption, reference crop.

## Introdução

Água e solo são recursos fundamentais do ambiente natural para atividades agrícolas. A disponibilidade dos recursos hídricos é essencial para o crescimento e desenvolvimento vegetal.

Tanto para o consumo humano como para a produção agrícola, os recursos hídricos estão cada vez mais escassos. Portanto, tornou-se necessário um planejamento mais eficaz do aproveitamento da água, com desenvolvimento de metodologias que

permitam estimar volumes cada vez mais exatos para obtenção de ótima produção nos cultivos agrícolas.

A disponibilidade de água do solo para as plantas não depende apenas das precipitações pluviais, mas também da outra componente do balanço hídrico que corresponde às perdas de água do solo para a atmosfera, que ocorrem por evaporação e transpiração vegetal, processo denominado de evapotranspiração (Nery e Castañeda, 1992).

Evapotranspiração foi o termo usado por

Thornthwaite, no início da década de 40, para expressar a ocorrência simultânea dos processos de evaporação e transpiração em uma superfície vegetada (Pereira *et al.*, 1997).

Este processo físico de mudança de estado da água pode ser influenciado por alguns fatores climáticos e controlado pela disponibilidade de energia, pela demanda atmosférica por vapor de água e pelo suprimento de água do solo às plantas. A espécie cultivada e seu estágio de desenvolvimento são fatores da própria planta que também podem influenciar na evapotranspiração (Allen *et al.*, 1998; Pereira *et al.*, 2002).

A evapotranspiração de referência, segundo Doorenbos e Pruitt (1997) e Allen *et al.* (1998), é aquela que ocorre em uma extensa superfície de grama com altura de 0,08 m a 0,15 m, em crescimento ativo, cobrindo totalmente o solo e sem deficiência de água. Quando corrigida pelo coeficiente de cultura (kc), pode ser empregada na determinação da evapotranspiração de cultura (Wright, 1982; Faria *et al.*, 2000).

A evapotranspiração de referência pode ser estimada por vários métodos bastante conhecidos. Dentre os métodos de estimativa, os denominados empíricos têm aplicabilidade quase universal e resultam de correlações entre os elementos meteorológicos medidos em condições padrões e a evapotranspiração também medida em condições padronizadas. Os métodos combinados, entretanto, reúnem os efeitos do balanço de energia àqueles do poder evaporante do ar (Pereira *et al.*, 1997).

O desempenho destes métodos na estimativa da evapotranspiração de referência pode ser determinado por meio dos índices de precisão e de exatidão. Estes índices também tem sido aplicados em diversos outros trabalhos de forma a comparar valores estimados aos observados com bons resultados. Cardoso *et al.* (2008) empregaram para avaliar equações de estimativa de fator de atrito em tubos de polietileno de pequeno diâmetro. As análises demonstraram que as equações utilizadas proporcionaram estimativas do fator de atrito com pequeno desvio-médio (5,1%).

Enquanto, Khalil *et al.* (2008) compararam os efeitos da lâmina ótima de irrigação e estresse hídrico na produtividade e uso de água em quatro variedades de cevada em experimento conduzido no Egito. Os modelos de estimativa de produtividade de cevada apresentaram bom desempenho sob as condições em que a lâmina de irrigação foi aplicada,

quando avaliados por estes índices.

Ouda *et al.* (2006) também empregaram estes índices de forma a avaliar a lâmina ótima de irrigação da cultura de girassol sob condições de salinidade no solo. Os modelos empregados apresentaram bom desempenho para estimar a produtividade e o consumo de água das duas cultivares avaliadas.

O presente trabalho teve como objetivo avaliar a eficiência dos métodos de estimativa da evapotranspiração referência propostos por Thornthwaite, Camargo e Hargreaves-Samani em relação ao método de FAO Penman-Monteith, para a região de Palotina, Estado do Paraná.

## Material e métodos

O trabalho foi desenvolvido a partir de dados meteorológicos coletados no período compreendido entre 1994 e 2003, na estação meteorológica do Iapar, instalada em Palotina, Estado do Paraná.

O município de Palotina encontra-se localizado nas seguintes coordenadas geográficas: latitude 24°18' S, longitude 53°55' W e altitude 310 m.

O clima local é do tipo Cfa, segundo a classificação de Köppen, sendo caracterizado como subtropical, com temperaturas médias anuais entre 17 e 19°C, apresentando verões quentes e totais de chuvas entre 1.200 e 2.000 mm anuais, bem distribuídos durante o ano (Iapar, 2006).

## Métodos de estimativa da evapotranspiração

A estimativa da evapotranspiração de referência foi obtida pelos métodos de Thornthwaite, Camargo e Hargreaves-Samani e de FAO Penman-Monteith.

### Método de Thornthwaite

O conjunto de equações desenvolvido por Thornthwaite foi baseado em balanço hídrico de bacias hidrográficas e em medidas de evapotranspiração realizadas em lisímetros e utiliza a temperatura do ar como variável independente. A equação de Thornthwaite estima a evapotranspiração média mensal padrão para condição padrão de 12h de brilho solar e mês de 30 dias.

As equações que representam o método de Thornthwaite são descritas abaixo:

$$ETP_p = 16 \left( 10 \frac{T_i}{I} \right)^a \quad T_i > 0^\circ C \quad (1)$$

em que:

$T_i$  é a temperatura média mensal para um ano qualquer.

$$a = 6,75 \times 10^{-7} I^3 - 7,71 \times 10^{-5} I^2 + 1,7912 \times 10^{-2} I + 0,49239 \quad (2)$$

$$I = \sum_{i=1}^{12} (0,2T_i)^{1,514} \quad T_i > 0 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (3)$$

em que:

$T_i$  é a temperatura média mensal normal climatológica ( $^\circ\text{C}$ ), e  $I$  e  $a$  correspondem aos índices de calor da região. O subscrito  $i$  representa o mês do ano.

A estimativa da evapotranspiração mensal, em um mês qualquer, foi obtida a partir da evapotranspiração potencial padrão aplicando-se um fator de correção, como pode ser observado na Equação (4):

$$ETP = ETP_p \times \frac{N}{12} \times \frac{ND}{30} \quad (4)$$

em que:

$ND$  é o número de dias do período e  $N$  fotoperíodo médio mensal.

#### Método de Camargo

Camargo e Camargo (1983) propuseram uma equação de estimativa mais simples da evapotranspiração a partir da equação original de Thornthwaite e que pode ser empregada para estimativas em período de dez ou 30 dias, com boa eficiência. Neste método, a evapotranspiração potencial ( $\text{mm dia}^{-1}$ ) é dada pela equação:

$$ETP = F \times Q_0 \times T \times ND \quad (5)$$

em que:

$Q_0$  ( $\text{mmd}^{-1}$ ) é a radiação solar extraterrestre diária expressa em equivalente de evaporação, no período considerado,  $T$  ( $^\circ\text{C}$ ) é a temperatura média do período,  $F$  é o fator de ajuste que varia com a temperatura média anual do local (Tabela 1) e  $ND$  é o número de dias do período.

**Tabela 1.** Valores do fator de ajuste ( $F$ ) em função da temperatura média anual do local.

| Temperatura média anual ( $^\circ\text{C}$ ) | F      |
|--|--------|
| Até 23,0                                     | 0,01   |
| 24,0   | 0,0105 |
| 25,0   | 0,011  |
| 26,0   | 0,0115 |
| 27,0   | 0,012  |

Fonte: Camargo e Camargo (1983).

#### Método de Hargreaves-Samani

A partir de dados obtidos em lisímetros,

cultivados com grama, Hargreaves e Samani propuseram uma equação de estimativa da evapotranspiração em função da temperatura e da radiação extraterrestre:

$$ET_0 = 0,0023 \times Q_0 (T_{\max} - T_{\min})^{0,5} (T + 17,8) \quad (6)$$

em que:

$Q_0$  é a radiação extraterrestre, em  $\text{mm dia}^{-1}$ ;  $T_{\max}$  é a temperatura máxima ( $^\circ\text{C}$ );  $T_{\min}$  é a temperatura mínima ( $^\circ\text{C}$ ); e  $T$  é a temperatura média diária ( $^\circ\text{C}$ ).

#### Método FAO Penman-Monteith

A estimativa da evapotranspiração diária pelo método FAO Penman-Monteith é considerada a mais adequada por representar influência da componente do balanço de energia e da componente aerodinâmica e pode ser representada como segue (Allen *et al.*, 1998):

$$ET_0 = \frac{0,408s(Rn - G) + \gamma \frac{900}{t + 273} v(e_s - e_a)}{s + \gamma(1 + 0,34v)} \quad (7)$$

em que:

$s$  é a declividade da curva de pressão de vapor ( $\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$ ),  $Rn$  é a Radiação líquida disponível à superfície ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ ),  $G$  a densidade do fluxo de calor para o solo ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ ),  $\gamma$  é igual a  $0,0622 \text{ kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$ ,  $t$  é a temperatura de bulbo seco ( $^\circ\text{C}$ ),  $v$  é a velocidade do vento registrada a 2 m ( $\text{m s}^{-1}$ ),  $e_s$  a pressão de saturação à temperatura de bulbo seco ( $\text{kPa}$ ),  $e_a$  a pressão real ou atual de vapor d'água ( $\text{kPa}$ ).

#### Avaliação dos métodos

A evapotranspiração referência obtida pelo método de FAO Penman-Monteith foi tomada como padrão de comparação, pois é considerada como método mais preciso por integrar o maior número de parâmetros, entre eles, o balanço de energia, a velocidade do vento e o poder evaporante do ar.

O estudo comparativo entre os métodos de Thornthwaite, Camargo e Hargreaves-Samani e o de FAO Penman-Monteith foi efetuado utilizando-se o índice de Willmott (1981) expresso em função do modelo:

$$d = 1 - \left[ \frac{\sum (P_i - O_i)^2}{\sum (|P_i - O_i| + |O_i - O|)^2} \right] \quad (8)$$

em que:

Pi é o valor estimado por um dos métodos, Oi é o valor calculado pelo método de FAO Penman-Monteih, e O é a média dos valores calculada pelo método de FAO Penman-Monteih.

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:

$$c = r \times d \quad (9)$$

O critério adotado para interpretar o desempenho dos métodos pelo índice "c" para os valores médios diários de evapotranspiração de referência foi apresentado na Tabela 2.

**Tabela 2.** Critério de interpretação do desempenho dos métodos de estimativa da Eto, pelo índice "c".

| Valor de "c" | Desempenho |
|--------------|------------|
| > 0,85       | Ótimo      |
| 0,76 a 0,85  | Muito Bom  |
| 0,66 a 0,75  | Bom        |
| 0,61 a 0,65  | Mediano    |
| 0,51 a 0,60  | Sofrível   |
| 0,41 a 0,50  | Mau        |
| ≤ 0,40       | Péssimo    |

Fonte: Camargo e Sentelhas (1997).

## Resultados e discussão

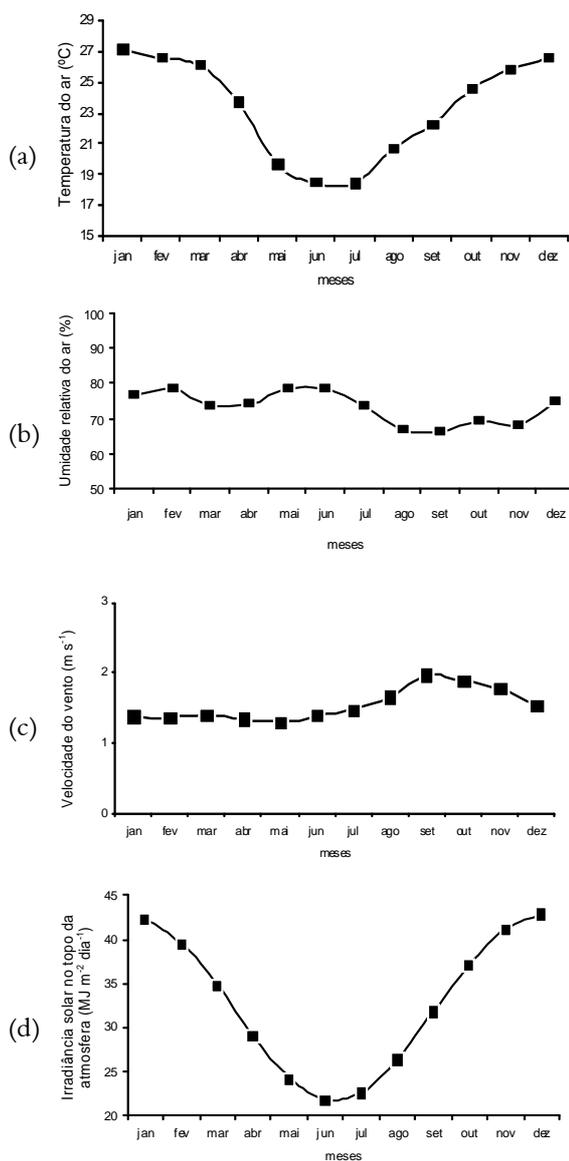
### Valores médios mensais dos elementos meteorológicos no período de 1994 a 2003

Nas Figuras 1 (a, b e c), observa-se a variação anual da temperatura do ar, umidade relativa do ar e velocidade do vento, obtida na estação meteorológica de Palotina. Os valores médios da irradiância solar no topo da atmosfera determinados para a latitude de Palotina encontram-se na Figura 1d.

A temperatura média mensal do ar variou entre 18,4 e 27,1°C para os meses de julho e janeiro, respectivamente (Figura 1a). O menor valor de umidade relativa do ar foi observado para o mês de setembro (66,24%) e o maior, para o mês de fevereiro (78,53%) (Figura 1b).

Como se depreende da Figura 1c, no período de dezembro a julho, a velocidade média mensal do vento variou muito pouco, tendo sido observado um valor mínimo de 1,30 m s<sup>-1</sup> (maio) e máximo de 1,97 m s<sup>-1</sup> (setembro).

A irradiância solar no topo da atmosfera (Figura 1 d) foi mínima no mês de junho (21,89 MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>) e máxima em dezembro (42,97 MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>).



**Figura 1.** (a): Valores médios mensais da temperatura do ar de Palotina, entre 1994 e 2003; (b): Valores médios mensais da umidade relativa do ar de Palotina, entre 1994 e 2003; (c): Valores médios mensais da velocidade do vento (m s<sup>-1</sup>) de Palotina, entre 1994 e 2003; (d): Valores médios da irradiância solar no topo da atmosfera.

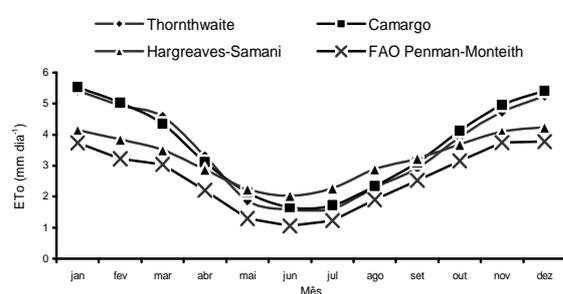
### Valores estimados de evapotranspiração de referência

As estimativas de valores médios diários na escala mensal da evapotranspiração referência para a região de Palotina, no período em estudo, foram apresentadas na Tabela 3 e na Figura 2.

Na Tabela 3 e na Figura 2, observa-se que os métodos que empregam como variável de entrada valores de temperatura do ar (Thorntwaite, Camargo e Hagreaves-Samani) apresentam valores médios diários na escala mensal muito próximos.

**Tabela 3.** Valores médios diários na escala mensal de evapotranspiração referência calculada pelos métodos de Thornthwaite (TH), Camargo (CA), Hargreaves-Samani (H-S) e FAO Penman-Monteith (PM).

| Meses     | TH<br>(mm dia <sup>-1</sup> ) | CA<br>(mm dia <sup>-1</sup> ) | H-S<br>(mm dia <sup>-1</sup> ) | PM<br>(mm dia <sup>-1</sup> ) |
|-----------|-------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|
| Janeiro   | 5,42                          | 5,53                          | 4,15                           | 3,77                          |
| Fevereiro | 4,94                          | 5,02                          | 3,85                           | 3,22                          |
| Março     | 4,58                          | 4,35                          | 3,50                           | 3,04                          |
| Abril     | 3,31                          | 3,11                          | 2,98                           | 2,20                          |
| Mai       | 1,87                          | 2,13                          | 2,25                           | 1,30                          |
| Junho     | 1,59                          | 1,66                          | 2,03                           | 1,06                          |
| Julho     | 1,62                          | 1,72                          | 2,28                           | 1,23                          |
| Agosto    | 2,30                          | 2,35                          | 2,89                           | 1,90                          |
| Setembro  | 2,92                          | 3,10                          | 3,23                           | 2,53                          |
| Outubro   | 3,92                          | 4,12                          | 3,68                           | 3,15                          |
| Novembro  | 4,73                          | 4,95                          | 4,10                           | 3,75                          |
| Dezembro  | 5,25                          | 5,41                          | 4,24                           | 3,78                          |
| Média     | 3,54                          | 3,62                          | 3,27                           | 2,58                          |



**Figura 2.** Variação mensal da evapotranspiração de referência pelos métodos de FAO Penman-Monteith, Thornthwaite, Camargo e Hargreaves-Samani.

Os maiores valores observados ocorreram entre outubro e março, reflexo da maior disponibilidade de energia no sistema solo-planta-atmosfera para o fluxo de calor latente, neste período do ano. Para estes métodos de estimativas, o valor médio da evapotranspiração de referência variou entre 3,27 e 3,62 mm dia<sup>-1</sup>.

As estimativas pelo método Thornthwaite, Camargo e Hargreaves-Samani superestimaram a evapotranspiração de referência quando comparadas aos valores obtidos pelo método FAO Penman-Monteith, cujo valor médio foi de 2,58 mm dia<sup>-1</sup>. A evapotranspiração de referência estimada por este método depende da disponibilidade de energia na superfície e também da demanda atmosférica por vapor de água. Esta demanda é definida por um efeito combinado de temperatura, umidade relativa e velocidade do vento (Allen *et al.*, 1998; Pereira *et al.*, 2002).

Klosowski e Galvani (1997) empregaram os métodos de Thornthwaite, Camargo e Penman simplificado, para estimar a evapotranspiração de referência da região de Maringá, Estado do Paraná. Os valores de evapotranspiração de referência

médios diários variaram de 3,11 a 3,83 mm dia<sup>-1</sup>, com total anual entre 1.135 e 1.398 mm, dependendo do método de estimativa empregado. Quando comparados ao método do Tanque Classe A, esses métodos apresentaram bom desempenho.

Fietz *et al.* (2005) observaram que, para as condições da região de Dourados, Estado do Mato Grosso do Sul, os valores médios diários da evapotranspiração de referência variaram de 3,16 a 5,09 mm dia<sup>-1</sup>. O método de Penman-Monteith foi o que estimou mais satisfatoriamente a evapotranspiração de referência (ETo) diária. O método de Hargreaves-Samani apresentou um desempenho satisfatório, enquanto o método de Camargo obteve desempenho insatisfatório. Este método apresentou tendência a subestimar a evapotranspiração de referência diária, quando comparado com medidas tomadas em lisímetro.

Em outro trabalho semelhante, Oliveira *et al.* (2001), para algumas localidades de Goiás e Distrito Federal, avaliaram diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (Eto) e compararam com o método de FAO Penman-Monteith. Para as localidades estudadas, os resultados mostraram que os valores da Eto foram mais bem estimados pelos modelos de Penman e Hargreaves seguidos da Radiação e que ambos os modelos superestimaram a Eto, quando comparados com o de Penman-Monteith.

#### Comparação entre os métodos

Na Tabela 4, encontram-se os valores do coeficiente de correlação (r), do índice de exatidão ou concordância (d) de Willmott e do índice de desempenho (c) para a estimativa de evapotranspiração na região de Palotina, Estado do Paraná.

**Tabela 4.** Coeficiente de correlação (r), índice de Willmott (d) e índice "c" como parâmetros de comparação entre os métodos.

|  | r   |      |      |      | d   |      |      |      | c   |      |      |      |
|--|-----|------|------|------|-----|------|------|------|-----|------|------|------|
|  | PM  | TH   | CA   | H-S  | PM  | TH   | CA   | H-S  | PM  | TH   | CA   | H-S  |
|  | 1,0 | 0,85 | 0,86 | 0,86 | 1,0 | 0,82 | 0,84 | 0,85 | 1,0 | 0,70 | 0,72 | 0,73 |

Como se observa na Tabela 4, os métodos de Camargo (CA) e Hargreaves-Samani (H-S) apresentaram os melhores ajustes, determinados pelo coeficiente de correlação, cujo valor foi de 0,86, seguidos pelo método de Thornthwaite (TH) que também mostrou bom ajuste (0,85), quando comparado ao método de FAO Penman-Monteith (PM).

Mendonça *et al.* (2003) compararam valores de evapotranspiração de referência (Eto) obtidos em lisímetro de pesagem, com valores resultantes de vários métodos de estimativas, para a região Norte Fluminense,

Estado do Rio de Janeiro. Os resultados obtidos indicam que, para períodos decendiais, os coeficientes de determinação ( $r^2$ ) apresentaram valores de 0,82 para os métodos de Penman-Monteith, Linacre e Jensen-Haise. O método da Radiação Solar, Hargreaves-Samani, Makkink, Tanque Classe A e Atmômetro apresentaram valores de 0,80; 0,79; 0,79; 0,66 e 0,71, respectivamente, e atenderam satisfatoriamente à estimativa da Eto, com exceção do Atmômetro. Dessa forma, apresentando bons ajustamentos para períodos maiores que sete dias.

De acordo com os valores apresentados na Tabela 4, o índice de exatidão do método de Hargreaves-Samani foi o que apresentou maior valor (0,85), enquanto os métodos de Thornthwaite e Camargo apresentaram valores iguais a 0,82 e 0,84, respectivamente.

Conceição *et al.* (2005), trabalhando com dados do município de Bento Gonçalves, Estado do Rio Grande do Sul, compararam valores diários da evapotranspiração de referência calculada pelo método de Penman-Monteith parametrizado pela FAO e pelos métodos de Camargo, Thornthwaite e Hargreaves-Samani. Os valores dos coeficientes de exatidão para o método de Camargo, de Thornthwaite e Hargreaves-Samani foram iguais a 0,81; 0,79 e 0,84, respectivamente, em relação ao método de Penman-Monteith.

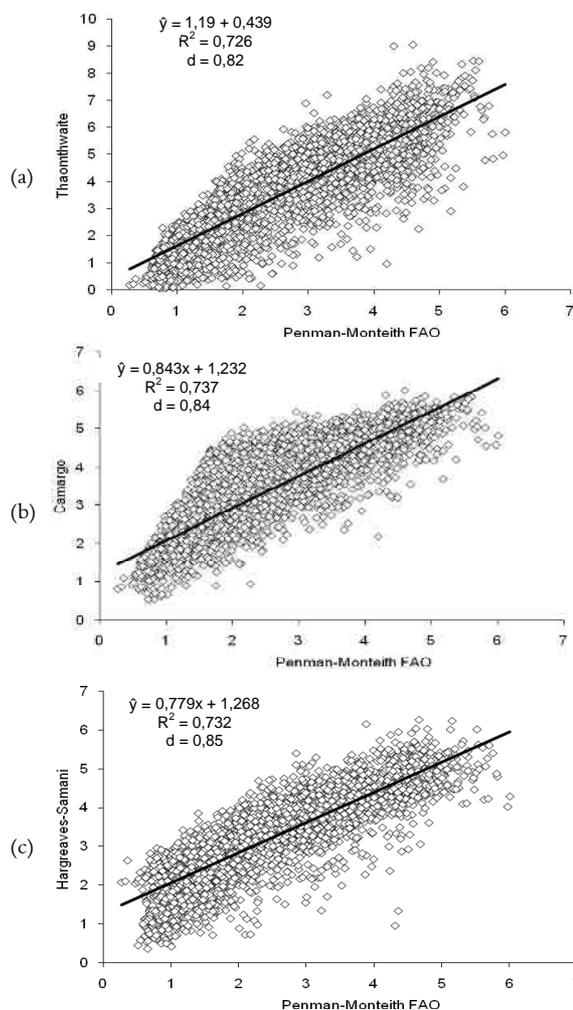
As Figuras 3 (a, b e c) indicaram as relações entre os dados diários da evapotranspiração de referência estimado pelo método de FAO Penman-Monteith e pelos métodos propostos por Thornthwaite, Camargo e Hargreaves-Samani, para a região de Palotina.

Os valores obtidos pelo índice “c” de desempenho (Tabela 4) indicam que, quando comparados com o método de FAO Penman-Monteith, os métodos de Hargreaves-Samani, Camargo e Thornthwaite apresentaram desempenhos iguais a 0,73; 0,72 e 0,70, respectivamente, sendo considerados “bons”.

No entanto, esses resultados diferem daqueles obtidos por Conceição (2003) que avaliou diferentes métodos de estimativas de evapotranspiração de referência, comparando-os com o método de Penman-Monteith, para a região Noroeste do Estado de São Paulo. Os valores obtidos apresentaram desempenho regular, para o método de Camargo, enquanto que os métodos de Thornthwaite e Hargreaves-Samani apresentaram coeficiente “c” iguais a 0,66 e 0,82, respectivamente, sendo classificados como de bom e muito bom desempenho.

Camargo e Sentelhas (1997) verificaram o desempenho de numerosos métodos de estimativa por meio de correlação com valores obtidos em evapotranspirômetros no Estado de São Paulo. Os

resultados obtidos mostraram que o desempenho foi considerado muito bom para os métodos de Camargo e Thornthwaite, cujos valores foram de 0,81 e 0,79, respectivamente. O desempenho dos métodos de Penman-Monteith ( $c = 0,73$ ) e Hargreaves modificado ( $c = 0,71$ ) foi considerado bom.



**Figura 3.** (a): Relação entre a Eto diária estimada pelo método de FAO Penman-Monteith e pelo método de Thornthwaite; (b): Relação entre a Eto diária estimada pelo método de FAO Penman-Monteith e pelo método de Camargo; (c): Relação entre a Eto diária estimada pelo método de FAO Penman-Monteith e pelo método de Hargreaves-Samani.

Da Figura 3 (a e b), depreende-se que o coeficiente de determinação, para o método de Camargo em relação ao de FAO Penman-Monteith, foi de 0,7375, sendo superior ao obtido para o método de Thornthwaite, cujo valor foi de 0,7265.

Silva *et al.* (2005), para a região de Piracicaba, Estado de São Paulo, empregando os métodos de Thornthwaite e Camargo e comparando-os com o de Penman-Monteith, obtiveram valores do

coeficiente de determinação ( $R^2$ ) iguais a 0,2661 e 0,4462, respectivamente.

Na Figura 3 (c), observa-se que o coeficiente de determinação ( $R^2$ ), para o método de Hargreaves-Samani, em relação ao método de FAO Penman-Monteith, foi de 0,7324.

Sentelhas e Camargo (1996) obtiveram, para o método de Hargreaves-Samani valor de  $R^2$  igual a 0,41, na escala decenal, e 0,67, na escala mensal, quando comparados com dados obtidos em evapotranspirômetros, para distintas regiões do Estado de São Paulo.

### Conclusão

A evapotranspiração de referência para a região de Palotina, Estado do Paraná, variou entre 2,58 e 3,62 mm dia<sup>-1</sup>, dependendo do método empregado para estimativa.

Os resultados indicaram que, para a escala diária, os métodos avaliados apresentaram bom ajuste, para os coeficientes de correlação e de exatidão, quando comparados ao método de FAO Penman-Monteith.

Em relação ao método de FAO Penman-Monteith, os métodos Hargreaves-Samani, Thornthwaite e Camargo apresentaram desempenhos bons, quando avaliados pelo índice "c".

### Referências

ALLEN, R.G. *et al.* *Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements*. Rome: FAO, 1998. (FAO Irrigation and Drainage Paper, 56).

CAMARGO, A.P.; CAMARGO, M.B.P. Teste de uma equação simples da evapo(transpi)ração potencial baseada na radiação solar extraterrestre e na temperatura média do ar. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEO-ROLOGIA*, 3., 1983, Campinas. *Anais...* Campinas: Fundação Cargil, 1983. p. 229-244.

CAMARGO, A.P.; SENTELHAS, P.C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo, Brasil. *Rev. Bras. Agrometeorol.*, Santa Maria, v. 5, n. 1, p. 89-97, 1997.

CARDOSO, G.G.G. *et al.* Fator de atrito em tubo de polietileno de pequeno diâmetro. *Acta Sci. Agron.*, Maringá, v. 30, n. 3, p. 299-305, 2008.

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

CONCEIÇÃO, M.A.F.; MANDELLI, F. Comparação entre métodos de estimativa da evapotranspiração de referência em Bento Gonçalves, RS. *Rev. Bras. Agrometeorol.*, Santa Maria, v. 13, n. 2, p. 303-307, 2005.

DOORENBOS, J.; PRUITT, W.O. *Necessidades hídricas das culturas*. Campina Grande: Universidade Federal da Paraíba, 1997.

FARIA, R.A. *et al.* Influência do método de estimativa da evapotranspiração de referência na demanda de irrigação suplementar para o milho (*Zea mays* L.), na bacia do rio Verde Grande (MG). *Cienc. Agrotec.*, Lavras, v. 24, Ed. especial, p. 187-196, 2000.

FIETZ, C.R. *et al.* Estimativa da evapotranspiração de referência diária para região de Dourados, MS. *Rev. Bras. Agrometeorol.*, Santa Maria, v. 13, n. 2, p. 250-255, 2005.

IAPAR. *Cartas climáticas do Paraná*. Disponível em: <[http://200.201.27.14/Site/Sma/Cartas\\_Climaticas/Classificacao\\_Climatica.htm](http://200.201.27.14/Site/Sma/Cartas_Climaticas/Classificacao_Climatica.htm)>. Acesso em: 30 maio 2006.

KHALIL, F.A. *et al.* Predicting the effect of optimum irrigation and water stress on yield and water use of barley crop. *J. Appl. Sci. Res.*, Punjab, v. 4, n. 6, p. 742-747, 2008.

KLOSOWSKI, E.S.; GALVANI, E. Estimativa de evapotranspiração potencial para a região de Maringá: estudo comparativo entre os métodos do Tanque Classe A, Thornthwaite, Camargo e Penman simplificado. *Rev. Unimar*, Maringá, v. 19, n. 4, p. 1113-1124, 1997.

MENDONÇA, J.C. *et al.* Comparação entre métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (Eto) na região Norte Fluminense, RJ. *Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambient.*, Campina Grande, v. 7, n. 2, p. 275-279, 2003.

NERY, J.T.; CASTAÑEDA, E. Cálculo da evapotranspiração potencial na região de Maringá: estudo estatístico. *Rev. Unimar*, Maringá, v. 14, n. 1, p. 59-74, 1992.

OLIVEIRA, L.F.C. *et al.* Estudo comparativo de modelos de estimativa da evapotranspiração de referência para algumas localidades no Estado de Goiás e Distrito Federal. *Pesq. Agropecu. Trop.*, Goiânia, v. 31, n. 2, p. 121-126, 2001.

OUDA, S.A. *et al.* Irrigation optimization for sunflower grown under saline conditions. *Res. J. Agricult. Biol. Sci.*, Punjab, v. 2, n. 6, p. 323-327, 2006.

PEREIRA, A.R. *et al.* *Evapo(transpi)ração*. Piracicaba: Fealq, 1997.

PEREIRA, A.R. *et al.* *Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas*. Guaíba: Agropecuária, 2002.

SENTELHAS, P.C.; CAMARGO, A.P. Equação para a estimativa da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo, baseada no método de Hargreaves - 1974. *Rev. Bras. Agrometeorol.*, Santa Maria, v. 4, n. 1, p. 77-81, 1996.

SILVA, O.K. *et al.* Análise de métodos de estimativa de evapotranspiração na otimização de sistemas de drenagem. *Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambient.*, Campina Grande, v. 9, n. 2, p. 161-165, 2005.

WILLMOTT, C.J. On the validation of models. *Phys. Geogr.*, Delaware, v. 2, n. 2, p. 184-94, 1981.

WRIGHT, J.L. New evapotranspiration crop coefficients. *J. Irrig. Drain. Div.*, New York, v. 108, n. IR2, p. 57-74, 1982.

Received on September 12, 2006.

Accepted on February 27, 2008.

License information: This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.