

## COMPARAÇÃO DE CINCO MÉTODOS DE ESTIMATIVA DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA PARA A REGIÃO DE PONTA GROSSA-PR

Wesley Esdras Santiago, Anderson Luís Scherer, Joseli Viviane Ditzel  
Nunes, Luis Fernando Souza Gomes e Reginaldo Ferreira Santos  
(Orientador/FAG), e-mail: [wesley@fag.edu.br](mailto:wesley@fag.edu.br).  
Faculdade Assis Gurgacz/Agronomia – Cascavel – PR.

**Palavras-chave:** Evapotranspiração de referência, agricultura, água.

### Resumo:

Uma maneira de verificar a eficiência de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) é a comparação com o método padrão. Este estudo tem como objetivo encontrar entre cinco métodos de estimativa da ET<sub>o</sub>: Thorntwaite, Camargo, Thorntwaite – Camargo, Hargreaves- Sarmani e Tanque classe A o que obtém melhor correlação com o método padrão de Penman-Monteith, com dados médios mensais para o período de 31 anos. A pesquisa foi desenvolvida utilizando-se de dados de uma estação meteorológica automatizada e de um tanque Classe A instalados na cidade de Ponta Grossa – PR. Os dados climatológicos disponíveis para cálculo da ET<sub>o</sub> foram variações de temperatura, umidade relativa, velocidade do vento medida a uma altura de 0,5 m, evaporação do Tanque Classe A e número de horas de brilho solar para o período. A análise de regressão indica que o método de Hargreaves- Sarmani obteve maior correlação com o padrão, podendo utilizar o modelo de regressão  $y = 1,184x - 0,1434$ .

### Introdução

A variação temporal da ocorrência de chuvas interfere consideravelmente no desenvolvimento da atividade agrícola, assim, a irrigação acaba tornando-se um grande aliado na compensação do déficit hídrico ocorrido em virtude da variabilidade da distribuição das chuvas.

O déficit hídrico afeta diretamente os aspectos que relacionam-se com o desenvolvimento das plantas, pois o mesmo provoca redução da área foliar; causando diminuição da fotossíntese e conseqüentes alterações no metabolismo da planta. (MAEHLER et al, 2003).

Na agricultura, informações quantitativas da evapotranspiração são de grande importância na avaliação da severidade, distribuição e freqüência dos déficits hídricos, o que torna a estimativa de evapotranspiração da cultura (ET<sub>c</sub>) o principal parâmetro a ser considerado no dimensionamento e manejo de sistemas de irrigação e drenagem (HENRIQUE, 2006), Faria (2000).

Para Filho (2005) a evapotranspiração é influenciada pela energia disponível na superfície, pelo gradiente de pressão de vapor d'água entre a

superfície e a atmosfera e pelas resistências às transferências de vapor. Para determinar quanta água está sendo perdida por evapotranspiração é necessário a utilização de métodos que levam em consideração fatores climáticos como temperatura, velocidade de ventos, radiação solar entre outros, além dos fatores característicos da cultura implantada.

Devido a importância do processo de transferência de água para a atmosfera na forma de vapor, bem como a sua complexidade, em virtude das relações existentes entre o sistema solo, água e planta, imenso esforço tem sido despendido por pesquisadores do mundo inteiro, na compreensão e estabelecimento de métodos de estimativa desse processo (BERGAMASCHI et al, 2004).

Ao escolher um método de determinação da evapotranspiração, devem ser levados em consideração praticidade e precisão, pois, apesar de esses métodos teóricos e micrometeorológicos serem baseados em princípios físicos, apresentam limitações, principalmente quanto à instrumentação, o que pode restringir a utilização, já que nem toda propriedade rural possui estações meteorológicas completas (CLARK e DIAS, 2006).

Apesar de existirem diversos estudos relacionados a evapotranspiração, a pesquisa requer a atualização continua desse importante tema na área agroambiental. Além disso, muito há de ser feito para que a prática da irrigação ocorra de forma sustentável. O desenvolvimento de tecnologias de informática, aliadas a estudos agrometeorológicos, representa uma contribuição importante para que, efetivamente, ocorra a sustentabilidade dos recursos hídricos de qualquer região (HENRIQUE, 2006).

Este estudo teve como objetivo encontrar entre cinco métodos de estimativa de evapotranspiração o que obtém melhor correlação com o método padrão de Penman-Monteith para a cidade de Ponta Grossa – PR.

## **Materiais e Métodos**

Foram utilizados dados diários processados em médias mensais, obtidos durante o período de 31 anos (Janeiro/1976 a dezembro/2007) na estação meteorológica IAPAR (Instituto Agrônomo do Paraná) em Ponta Grossa-PR (latitude: 25°05'58", longitude: 50°09'30" e altitude: 969m).

Os dados climatológicos diários disponíveis para cálculo da ETo foram os seguintes: temperaturas máxima, mínima e média, umidade relativa, velocidade do vento medida a uma altura de 0,5 m, evaporação do Tanque Classe A e números de horas de brilho solar para o período. A ETo foi estimada empregando os métodos de Thorntwaite, Camargo, Thorntwaite – Camargo, Hargreaves- Sarmani, Tanque classe A o método padrão de Penman-Monteith.

A seleção do modelo que melhor se ajustam as condições da região de Ponta Grossa, PR, foi realizada comparando-se os resultados obtidos pelos modelos Thorntwaite, Camargo, Thorntwaite – Camargo, Hargreaves-Sarmani, Tanque classe A com o método padrão de Penman-Monteith.

A comparação dos valores de ETo entre o modelo tomado como padrão e os demais modelos, baseou-se no coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>) das equações de regressão, tomando-se como melhor alternativa os que apresentaram maiores valores de R<sup>2</sup>.

#### *Método de Thorntwaite*

De acordo com CAMARGO e CAMARGO (2000), na década de 40, Thorntwaite associado a Wilm, ao introduzir o conceito de evapotranspiração potencial, estava tencionando chegar a um elemento meteorológico único que representasse a real necessidade hídrica do ambiente relacionada com a precipitação pluviométrica do local, assim chegou a seguinte equação:

$$E_{To} = 16 [10 * T_n / I]^a \quad 0 < T_n < 26,5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Em que:

ETo- Evapotranspiração de referência (mm dia-1)

Tn – Temperatura média do mês, °C

I – Índice que expressa o nível de calor disponível na região.

#### *Método de Camargo*

Desenvolvido baseado no método de Thorntwaite

$$E_{To} = 0,01 Q_0 T ND$$

Em que:

ETo- Evapotranspiração de referência (mm dia-1)

Q0 – irradiância solar global (cal/cm<sup>2</sup>.dia)

T – Temperatura média do ar, °C

ND – Número de dias do período considerado.

#### *Método de Thorntwaite-Camargo*

$$E_{To} = 16 (10 T_{ef} / I)^a$$

Em que:

ETo- Evapotranspiração de referência (mm dia-1)

Tef- temperatura efetiva (°C)

I – Índice que expressa o nível de calor disponível na região.

a- Função cúbica de I

#### *Método de Hargreaves- Samani*

$$E_{To} = 0,0023 * Q_0 * (T_{max} - T_{min})^{0,5} * (17,8 + T_{med}) * NDP$$

Em que:

ETo- Evapotranspiração de referência (mm dia<sup>-1</sup>)

Qo- irradiância solar extraterrestre (mm/dia)

Tmax- Temperature máxima (°C)

Tmin- Temperatura mínima (°C)

Tmed- Temperatura média (°C)

NDP- Número de dias possíveis

#### *Método de Tanque Classe A ( TCA)*

$$ETo = ECA * Kp$$

Em que:

ETo- Evapotranspiração de referência (mm dia<sup>-1</sup>)

ECA- Evaporação em tanque classe A (mm dia<sup>-1</sup>)

Kp- Coeficiente de conversão do Tanque Classe A

#### *Método de Penman-Monteith-Monteih\**

$$ETP = \frac{0,408s(Rn - G) + \frac{\gamma 900 U_2 (e_s - e_a)}{T + 273}}{s + \gamma(1 + 0,34 U_2)}$$

Em que:

ETP- Evapotranspiração de referência (mm dia<sup>-1</sup>)

Rn – Saldo de radiação diária (MJm<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>)

G – Fluxo de calor no solo (MJm<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>)

s – fator psicrométrico (kPa°C<sup>-1</sup>)

U<sub>2</sub> – velocidade do vento a 2m de altura (ms<sup>-1</sup>)

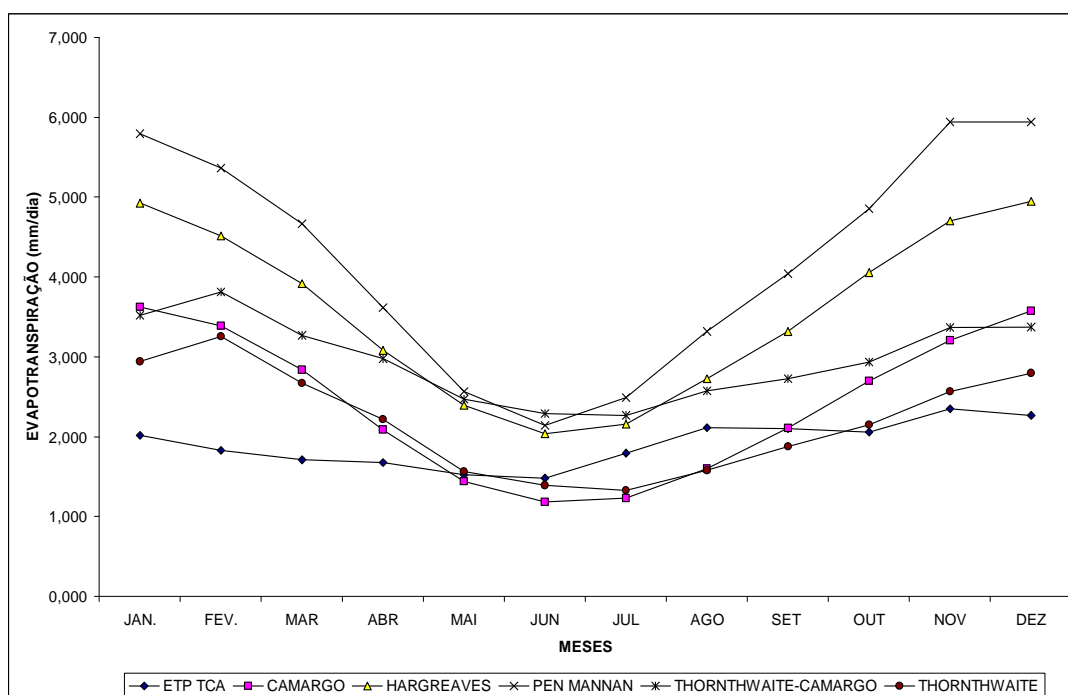
E<sub>s</sub> – Pressão de saturação de vapor do ar (kPa)

E<sub>a</sub> – pressão parcial de vapor do ar (kPa)

S – declividade da curva de saturação do vapor d'água (kPa°C<sup>-1</sup>)

## **Resultados e Discussão**

A figura 01 indica os valores obtidos para a evapotranspiração nos cinco métodos analisados dado em mm dia<sup>-1</sup>. Avaliando o método padrão verifica-se que a evapotranspiração máxima foi de 5,94 mm dia<sup>-1</sup> encontrada nos meses de Novembro e Dezembro e a mínima de 2,18 mm dia<sup>-1</sup>. Entre os demais métodos, o de Camargo no mês de Junho obteve menor ETo, sendo 1,18 mm dia<sup>-1</sup>. A média de evapotranspiração obtida entre todos os métodos foi de 2,86 mm dia<sup>-1</sup>.

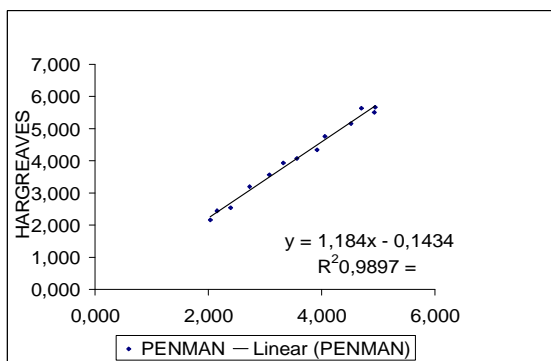


**Figura 01: Estimativa da evapotranspiração média mensal dos últimos 31 anos.**

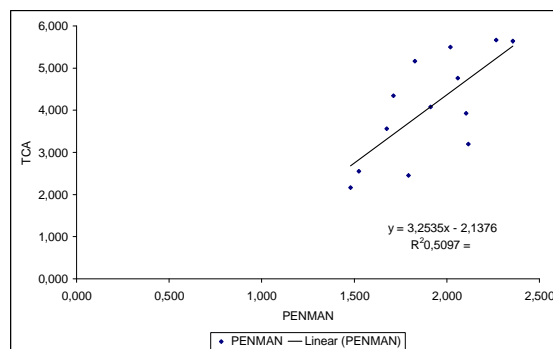
As equações referentes as correlações entre os métodos estão descritas na tabela 1, assim como seus respectivos coeficientes de correlação. Conforme indica o coeficiente de regressão, o método de Hargreaves – Sarmani obteve melhor correlação com Penman-Monteith, tendo uma variação de 1,03%. Santiago *et al* (2008), avaliando métodos de estimativa da ETo para Cândido Abreu encontrou uma variação de 0,59% para o método de Hargreaves – Sarmani, ocorrendo o mesmo em trabalhos feitos por FERNANDES *et al* (2006), ao avaliar métodos que utilizam radiação global e temperatura, reafirmando a citação de FOLEGATTI *et al*. (1997), onde em experimento conduzido sob as mesmas condições ambientais, dados de irradiação solar global constituem-se nos elementos meteorológicos mais importantes na estimativa da evapotranspiração de referência

**Tabela 1: Análise da correlação existente entre os métodos de evapotranspiração para Ponta Grossa**

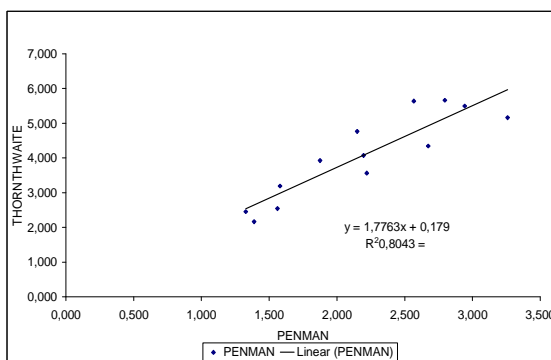
Métodos	Equação da reta	R <sup>2</sup>
Hargreaves	$y = 1,184x - 0,1434$	0,9897
TCA	$y = 3,2535x - 2,1376$	0,5097
Thorntwaite	$y = 1,7763x + 0,179$	0,8043
Thorntwaite-Camargo	$y = 2,3236x - 2,8133$	0,8335
Camargo	$y = 1,3716x + 0,7641$	0,9589



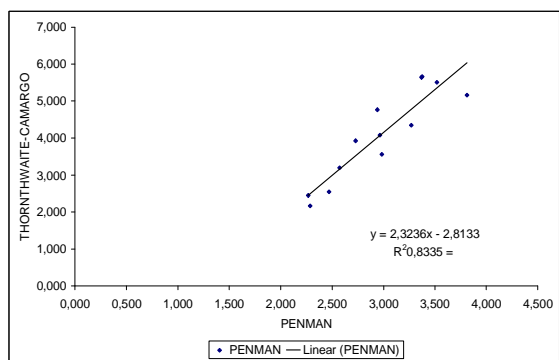
(a)



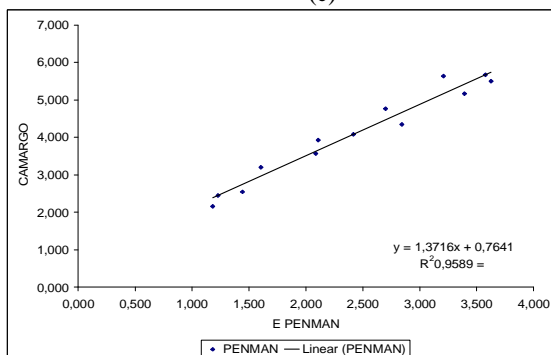
(b)



(c)



(d)



(e)

**Figura 02: Curva de regressão com base no método de Penman-Monteith e nos métodos: Hargreaves Sarmani (a), Tanque classe A (b), Thornthwaite (c), Thornthwaite-Camargo (d) e Camargo (e).**

Realizando análise de regressão dos diferentes métodos de evapotranspiração em função de Penman-Monteith, verifica-se pela figura 2 comportamento linear em todas as variáveis analisadas. Os métodos de Hargreaves e de Camargo obtiveram menores dispersões dos dados em relação aos demais, indicando maior proximidade de resultados com o modelo padrão e maior homogeneidade dos dados. Conceição e Mandelli em 2005 encontraram o mesmo comportamento ao trabalhar com o método de Hargreaves Sarmani ( $R^2=0,89$ ) para a cidade de Bento Gonçalves no Rio Grande do Sul.

## Conclusões

O método que obteve melhor correlação com o método padrão de Penman-Monteith foi o de Hargreaves Sarmani, seguido pelos métodos de Camargo e Thorntwaite-Camargo, assim conclui-se que é possível a utilização destes métodos, com ênfase no de Hargreaves Sarmani para calcular a ETo da cidade de Ponta Grossa em substituição do método de Penman-Monteith.

## Referências

- Bergamaschi H.; Dalmago, G. A.; Bergonci, J. I.; Menegassi, B.; Müller, A. G.; Comiran, F. e Heckler, B. M. M. Distribuição hídrica no período crítico do milho e produção de grãos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.39, 2004.
- Camargo, A. P. e Camargo, M. B. P. (Uma revisão analítica da evapotranspiração potencial). Campinas, *Bragantia* 59 vol nº2, 2000.
- Carvalho, D. F. E Oliveira, L. F. C. (Regionalização da lâmina suplementar de irrigação e época de plantio da cultura de feijão, no Estado de Goiás). *Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental*. vol.7 no.1, Campina Grande, Jan./Abr. 2003.
- Clark, E. T. e Dias, P. L. S (As necessidades de observação e monitoramento dos ambientes brasileiros quanto aos recursos hídricos). São Paulo. Nov. 2006.
- Conceição, M. A. F. e Mandelli, F. (Comparação entre métodos de estimativa de evapotranspiração de referência em Bento Gonçalves, RS). *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v. 13, n.2, p. 303-307, 2005.
- Crusciol, C. A. C.; Arf, O.; Soratto, R. P.; Rodrigues, R. A. F. e Machado, J. R. (Manejo de irrigação por aspersão com base no "kc" e adubação mineral na cultura de arroz de terras altas). *Bragantia*, Campinas, v.62, n.3, p.465-475, 2003.
- Fernandes, A. L.T. Folegatti, M. V.; Pereira, A. R. (Avaliação de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração da cultura do crisântemo (*chrisantemun spp.*) cultivado em estufa plástica). *Revista Irrigação*, Botucatu, v. 11, n.2, abr-jun, 2006.
- Filho, J. D. C. S.; Ribeiro, A.; Costa, M. H. e Cohen, J.C.P. (Mecanismos de controle da variação sazonal da transpiração de uma floresta tropical no nordeste da Amazônia). *Acta Amazônica*, Belém, VOL. 35(2) P. 223 – 229, 2005.
- Folegatti, M. V.; Scatolini, M. E.; Paz, V. P. S.; Pereira, A. R e Frizzone, J. A. (Efeitos da cobertura plástica sobre os elementos meteorológicos e evapotranspiração da cultura de crisântemo em estufa). *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v. 5, n. 2, p. 155-163, 1997.

Henrique, F.A.N. (*Estimativa da evapotranspiração de referência em Campina Grande-Pb*). Campina Grande, 2006. Tese ( Pós-graduação) UFCG.

Maehler, A. R.; Pires, J. L. F.; Costa, J.A. e Ferreira, F. G. (Potencial de rendimento da soja durante a ontogenia em razão da irrigação e arranjo de plantas). Brasília. *Pesquisa agropecuária brasileira*. v. 38, n. 2, p. 225-231, fev. 2003.

Oliveira, A. D. E Volpe, C. A. (Comparação de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência, utilizando dados de estações meteorológicas convencional e automática). *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v. 11, n. 2, p. 253-260, 2003.

Oliveira, R. Z.; Oliveira, L.F.C.; Wher, T.R.; Borges, L. B. e Bonomo, R. (Comparação de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para a região de Goiânia, GO). *Biosci*, Uberlândia, v. 21, n. 3, p. 19-27, set. 2005.

Santiago, W.E.; Noreto, L. M.; Colet, C.; Valente, V. C.; Scherer, A. L.; Ferreira, D. T. L. E Santos, R. F. (Avaliação de diferentes métodos de estimativa de evapotranspiração potencial para a cidade de Cândido Abreu –PR). *In: Anais do I Seminário científico de sistemas agroindustriais sustentáveis*, Cascavel, 2008.