
AVALIAÇÃO DO EFEITO DA ENERGIA ADVECTIVA NA ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA PARA A REGIÃO DE LAVRAS-MG¹

J.L.M. SOUZA²; N.A. VILLA NOVA³; P. CASTRO NETO⁴

INTRODUÇÃO

A evapotranspiração, um componente importante do ciclo hidrológico, consiste na passagem da água na forma de vapor do sistema solo-planta para a atmosfera. A sua medida ou estimativa é fundamental na determinação da quantidade de água que deve ser fornecida às culturas sob a forma de irrigação.

THORNTHWAITE (1948) e PENMAN (1956), foram os primeiros a introduzir e definir o conceito de evapotranspiração potencial (ETp). Outras conceituações específicas foram apresentadas posteriormente. DOORENBOS e PRUITT (1977), respeitando as mesmas condições definidas por THORNTHWAITE (1948) e PENMAN (1956), porém considerando a grama com 0,08 a 0,15 metros de altura como cobertura vegetal, cobrindo uma superfície extensa, denominaram de evapotranspiração de referência (ETo) a esta nova condição.

Vários são os fatores que podem interferir na evapotranspiração. PRUITT *et al.* (1972) verificaram que a abertura dos estômatos, a refletância, a rugosidade aerodinâmica, bem como a extensão da área coberta pelo vegetal e a estação do ano, são fatores significativos no processo. BURMAN *et al.* (1983), SEDIYAMA (1987) e BERNARDO (1989), comentam que a quantidade de água evapotranspirada depende principalmente da planta, solo e do clima, sendo que este último fator predomina sobre os demais.

Atualmente, inúmeros são os métodos propostos para se quantificar a evapotranspiração. Alguns métodos obtêm as medidas com a utilização de equipamentos instalados no campo, enquanto outros empregam modelos teóricos que consideram elementos do clima, solo e da planta.

VILLA NOVA e REICHARDT (1989), descrevem que para as condições brasileiras os métodos mais usuais de avaliação da evapotranspiração são: método do balanço hídrico, gravimétrico, sonda de nêutrons, lisímetros e evapotranspirômetros para medida da ETo;

¹ Parte da dissertação apresentada pelo primeiro autor à Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP para obtenção do título de Mestre em Agronomia.

² Prof. Assist./DETR/SCA/UFPR — Cx. P. 672 — CEP 80035-050, Curitiba-PR.

³ Prof. Titular/DFM/ESALQ/USP — Cx. P. 9 — CEP 13400.000, Piracicaba-SP.

⁴ Prof. Adjunto/DBI/ESAL, CEP 37200.000, Lavras-MG.

método de Penman, Thornthwaite, Radiação solar, Tanque classe A e Coeficiente de cultura para a estimativa da ETp.

Para CAMARGO (1966), OMETTO (1981) e BURMAN *et al.* (1983), os lisímetros e evapotranspirômetros, corretamente instalados e bem operados, constituem os métodos mais precisos para calibrar e desenvolver métodos de estimativa da evapotranspiração ou determinação do consumo de água por uma cultura qualquer nas distintas fases de seu desenvolvimento.

BURMAN (1983) e CAMARGO (1966), destacam o processo de cálculo e precisão nas estimativas da evapotranspiração obtidas através dos métodos Penman, Thornthwaite e Tanque classe A.

CASTRO NETO e SOARES (1989), citam que os métodos de estimativa da evapotranspiração são desenvolvidos em condições climáticas específicas, segundo a disponibilidade de dados e a realidade física do local, o que torna necessário a verificação do comportamento de cada método para as regiões do país.

SILVA (1989), comenta que a diversidade dos resultados alcançados pelos diversos métodos, em diferentes regiões do mundo, quase sempre são motivo de preocupação para os pesquisadores, que têm desenvolvido estudos com o objetivo de avaliar a adequação destes métodos a determinadas regiões e ajustar as relações já existentes.

MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido em uma área localizada no campus da Escola Superior de Agricultura de Lavras — ESAL, de dezembro de 1987 a junho de 1988. O local encontra-se junto ao posto agrometeorológico, no campo experimental do Departamento de Biologia, a uma latitude de 21°15' S, longitude 45°00' W Gr. e altitude 915 m.

O solo do local classifica-se como Latossolo Roxo Distrófico, e o clima da região, de acordo com os critérios propostos por WILHEM KÖPPEN, classifica-se como Cwb.

Os dados meteorológicos complementares utilizados no experimento foram coletados no posto agrometeorológico. Foram coletados diariamente dados de evaporação, número de horas de insolação, temperaturas máxima e mínima do ar, temperaturas de bulbo seco e úmido, velocidade média do vento a 2 metros de altura e a evapotranspiração de referência (EToEt) medida nos evapotranspirômetros do tipo Thornthwaite-modificado.

A mensuração da evapotranspiração da cultura de referência (EToEt) foi obtida através do balanço de massas para um intervalo de tempo:

$$EToEt = I + P - Q \pm \Delta A$$

Sendo:

EToEt = evapotranspiração de referência medida (mm/dia);

P = altura pluviométrica (mm);

Q = lâmina coletada no reservatório de drenagem do evapotranspirômetro (mm);

I = irrigação (mm);

ΔA = variação do armazenamento (mm).

Para estimativa da evapotranspiração foram utilizados os métodos do Tanque classe A, Penman e Thornthwaite.

Para o método do Tanque classe A, que calcula a evapotranspiração de referência com base em informações coletadas em tanque classe A, foi utilizada a expressão:

$$EToA = Kp \cdot EVA$$

Sendo:

EToA = evapotranspiração de referência (mm/dia);

EVA = evaporação do tanque classe A (mm/dia);

K_p = coeficiente de conservação da evaporação em evapotranspiração de referência.

Para o método de Thornthwaite, que necessita apenas dados de temperatura do ar, foi utilizada a seguinte expressão:

$$ET_{ToTw} = 16 (10 T/l)^a \cdot F_c \cdot (m/30)$$

Sendo:

ET_{ToTw} = evapotranspiração de referência (mm/dia);
 T = temperatura média do ar no período considerado ($^{\circ}C$);
 l = índice de calor;
 a = função cúbica de l ;
 F_c = fator de conversão da evapotranspiração mensal;
 m = período de determinação considerado (dias).

O método de Penman (1948), que considera o balanço de energia radiante e princípios aerodinâmicos, consiste da seguinte expressão:

$$ET_{ToPe} = \frac{\Delta/\gamma \cdot H + E_a}{\Delta/\gamma + 1}$$

Sendo:

ET_{ToPe} = evapotranspiração de referência (mm/dia);
 Δ = tangente à curva de saturação de vapor d'água (mmhg/ $^{\circ}C$);
 H = balanço de energia (cal cm/dia);
 E_a = poder evaporante do ar à sombra (mm/dia);
 γ = constante psicrométrica.

Para avaliação da precisão com que os métodos de Penman (ET_{ToPe}), Thornthwaite (ET_{ToTw}) e Tanque classe A (ET_{ToA}) estimam a evapotranspiração medida nos evapotranspirômetros tipo Thornthwaite-modificado (ET_{ToEt}), os dados diários da evapotranspiração de referência (ET_{To}) foram agrupados em períodos de 10 dias (decêndios). Na realização destes agrupamentos, dois procedimentos foram considerados:

— procedimento 1 — considerou-se todos os dias do período experimental, exceto aqueles em que ocorreram precipitações. O descarte destes dias deveu-se à grande quantidade de água gravitacional que ficava temporariamente retida na caixa principal do evapotranspirômetro, resultando em dados inconsistentes. CAMARGO (1966) denominou este efeito de retenção da água na caixa principal do evapotranspirômetro de "detenção incontrolada";

— procedimento 2 — considerou-se somente os 5 primeiros dias que sucedem as precipitações ocorridas durante o experimento. Esse procedimento objetivou: evitar a interferência da energia advectiva, citada por PENMAN (1956) e CAMARGO (1966), proporcionada pela área adjacente ao evapotranspirômetro, e que eleva a evapotranspiração medida por este instrumento a um valor muito acima do potencial; e evitar, também, o problema da "detenção incontrolada".

Para análise dos dados, entre os valores correspondentes da evapotranspiração medida e calculada, foi estabelecida uma análise de regressão linear com seu respectivo coeficiente de correlação. A comparação entre os valores médios decendiais da evapotranspiração de referência (ET_{To}), medidos e estimados, agrupados conforme os procedimentos 1 e 2, efetuou-se também: com base no coeficiente de correlação das análises de regressão linear; no desvio (em percentagem) existente entre o valor correspondente de cada decêndio; e no desvio padrão (s) destes desvios.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados decendiais da evapotranspiração, medida e estimada, obtidos conforme procedimentos 1 e 2, podem ser observados na Tabela 1 estão representados graficamente nas Figuras 1 e 2.

Tabela 1 — Valores médios decendiais da ETo, em mm/dia, medidos e estimados durante o experimento, agrupados conforme os procedimentos 1 e 2.

Decêndio	Procedimento 1				Procedimento 2			
	EToEt	EToPe	EToTw	EToA	EToEt	EToPe	EToTw	EToA
1	4,6	5,3	3,8	4,5	—	5,6	3,6	—
2	3,7	4,6	3,9	5,7	3,5	4,7	3,9	5,7
3	—	4,9	3,3	6,0	—	—	3,3	—
4	4,6	5,9	4,8	5,8	4,3	6,2	4,8	5,9
5	4,1	5,7	4,1	4,5	3,9	5,2	4,1	4,5
6	2,5	5,3	2,9	4,8	2,5	3,8	2,9	4,8
7	3,5	3,7	3,2	4,8	3,1	3,7	3,2	4,2
8	3,5	4,3	3,5	4,7	3,1	4,2	3,5	4,5
9	3,4	4,7	3,2	3,6	3,2	4,1	3,2	3,9
10	3,4	4,7	3,0	3,6	3,3	4,9	3,0	3,4
11	3,2	4,3	3,4	4,1	—	—	3,4	—
12	3,2	3,5	2,8	3,6	2,9	3,4	2,8	4,2
13	2,5	3,1	2,8	2,9	2,4	3,5	2,8	3,4
14	2,7	3,2	2,6	3,0	2,3	3,2	2,6	3,2
15	2,4	3,0	2,6	3,6	2,4	3,0	2,6	3,3
16	2,6	2,9	2,5	2,9	2,2	2,8	2,5	2,6
17	1,8	2,1	1,9	2,6	1,7	1,9	1,9	2,1
18	1,2	2,3	1,5	2,5	1,2	2,3	1,5	1,7
19	2,0	2,0	1,3	2,4	1,8	2,1	1,3	2,5

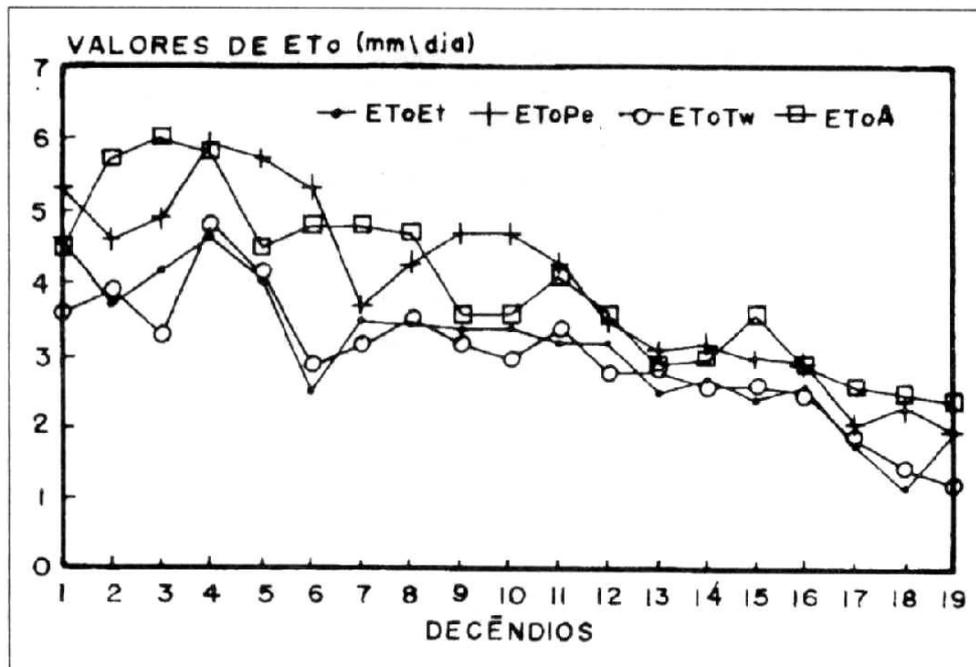


Figura 1 — Valores médios decendiais da ETo, medidos no Evapotranspirômetro (EToEt) e estimados pelos métodos de Penman (EToPe), Thornthwaite (EToTw) e Tanque classe A (EToA), agrupados conforme o procedimento 1.

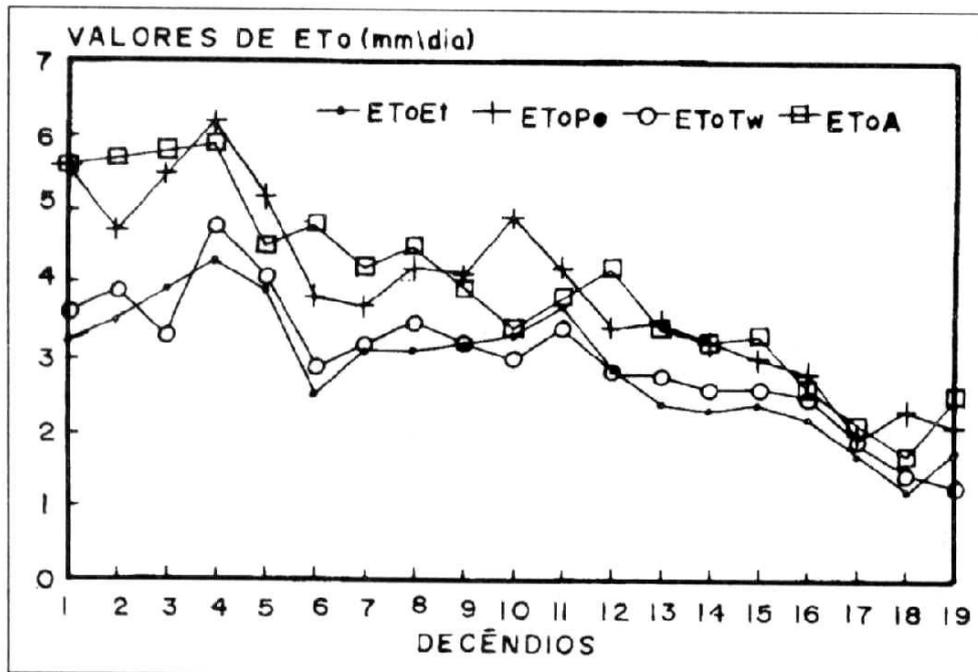


Figura 2 — Valores médios decendiais da ETo, medidos no Evapotranspirômetro (EToEt) e estimados pelos métodos de Penman (EToPe), Thornthwaite (EToTw) e Tanque classe A (EToA), agrupados conforme o procedimento 2.

Os resultados das análises de regressão linear, bem como o seu respectivo coeficiente de correlação, estão apresentados nas Tabelas 2 e 3.

Tabela 2 — Análise de regressão entre os valores médios decendiais da ETo, medida (y) e estimada (x), considerando todos os dias do período experimental (Procedimento 1).

Correlação	Regressão Linear	r	x	y
EToEt x EToPe	$y = 0,5529 + 0,6367x$	0,8501**	70,6	54,9
EToEt x EToTw	$y = 0,1883 + 0,9610x$	0,9149**	53,6	54,9
EToEt x EToA	$y = 0,3891 + 0,6882x$	0,7870**	69,6	54,9

** significativo a 1% de probabilidade pelo teste t.

As avaliações realizadas para os decêndios que desconsideram os dias chuvosos do período experimental (procedimento 1), mostram que a ETo estimada pelos métodos de Penman (EToPe) e Tanque classe A (EToA) superestimam a medida no evapotranspirômetro (EToEt) em média 30,8% ($s = 0,2837$) e 31,4% ($s = 0,2978$), respectivamente. O método de Thornthwaite (EToTw) apresentou o menor desvio médio, subestimado em média a ETo medida em 2,8% ($s = 0,1763$) e proporcionou também a correlação mais estreita (0,9149**). Estes resultados concordam com os obtidos por CASTRO NETO e SOARES (1989), em experimento realizado em Lavras-MG, no mesmo local.

Tabela 3 — Análise de regressão entre os valores médios decendiais da ETo, medida (y) e estimada (x), considerando somente os 5 primeiros dias que sucedem as precipitações ocorridas no experimento (Procedimento 2).

Correlação	Regressão Linear	r	x	y
EToEt x EToPe	$y = 0,2716 + 0,6687x$	0,9513**	59,0	43,8
EToEt x EToTw	$y = 0,2160 + 0,8658x$	0,9539**	46,6	43,8
EToEt x EToA	$y = 0,4860 + 0,6014x$	0,8726**	59,9	43,8

** significativo a 1% de probabilidade pelo teste t.

As avaliações realizadas para os decêndios que foram agrupados considerando somente os 5 primeiros dias que sucedem as precipitações ocorridas no experimento (procedimento 2), mostram que a ETo estimada pelos métodos de Penman (EToPe), Tanque classe A (EToA) e Thornthwaite (EToTw) superestimam a medida no evapotranspirômetro em média 35,6% ($s = 0,1922$); 37,4% ($s = 0,2043$) e 6,0% ($s = 0,146$), respectivamente. As correlações mais estreitas foram obtidas pelos métodos de Penman (0,9513**) e Thornthwaite (0,9539**).

As avaliações realizadas para os valores médios decendiais correspondentes de ETo não apresentaram entre os procedimentos 1 e 2 desvios superiores a 4,7%, em média. No entanto, a diminuição dos valores do desvio padrão (s) dos desvios, bem como o estreitamento verificado nas correlações realizadas com os decêndios agrupadas conforme o procedimento 2 em comparação ao procedimento 1, mostram a importância de se considerar o efeito da energia advectiva, mesmo para um local que apresente valores médios de umidade, velocidade do vento e temperatura iguais a 77,3%; 2,32 m/s e 21,2°C, respectivamente.

CONCLUSÕES

De acordo com as informações coletadas e analisadas no presente estudo concluiu-se que:

— O efeito da energia advectiva proporcionado pela área adjacente ao evapotranspirômetro, mesmo para uma região com características climáticas iguais à de Lavras-MG, deve ser considerada através do agrupamento dos dados (conforme o procedimento 2) ou evitada com a utilização de irrigação numa área o mais extensa possível;

— O método de Thornthwaite mostra-se como o mais indicado para se estimar a evapotranspiração de referência (ETo) na região de Lavras-MG no período compreendido pelos meses de janeiro a maio, posto que, além de ser um método muito simples de cálculo, seus resultados decendiais apresentam-se próximos e com estreita correlação aos obtidos por medição no evapotranspirômetro;

— Muito embora os métodos de Penman e Tanque classe A tenham superestimado acentuadamente a evapotranspiração de referência (ETo) do período estudado, eles apresentam-se como excelentes métodos alternativos, uma vez que seus resultados mostram-se também estreitamente correlacionados com as medidas do evapotranspirômetro.

AGRADECIMENTOS

— À Coordenadoria do Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos;

— Ao Departamento de Biologia da Escola Superior de Agricultura de Lavras — DBI/ESAL, pela oportunidade concedida para a realização do experimento de campo.

RESUMO

SOUZA, J.L.M. DE; VILLA NOVA, N.A.; CASTRO NETO, P. Avaliação do efeito da energia advectiva na estimativa da evapotranspiração de referência para a região de Lavras-MG. *Rev. Set. Ciênc. Agr.*, 13(1-2).

O presente trabalho teve como objetivo avaliar, para a região de Lavras-MG, a precisão de três métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (ETo), em relação à medida em evapotranspirômetro.

Na avaliação da ETo, os melhores resultados foram obtidos através do procedimento que levava em consideração o efeito da energia advectiva. Entre os métodos de estimativa, o método de Thornthwaite foi o que apresentou os menores desvios, superestimando a ETo em 6,0% (0,9539**). Os métodos de Penman e Tanque classe A superestimaram em média a ETo medida em 35,6% e 37,4% e apresentaram altos coeficientes de correlação também.

ABSTRACT

SOUZA, J.L.M. DE; VILLA NOVA, N.A.; CASTRO NETO, P. Advective energy effect evaluation in the reference evapotranspiration estimative for Lavras, Minas Gerais state area. *Rev. Set. Ciênc. Agr.*, 13(1-2).

The goal of this work was to evaluate the accuracy of three estimative methods for reference evapotranspiration (ET_o) compared with evapotranspiration measurement for Lavras, Minas Gerais area.

In the ET_o evaluation, the best results were obtained by the method where advective energy effect was considered.

Among the estimative methods, Thornthwaite method showed the lowest deviation, overestimating ET_o in 6,0% (0,9539**).

Penman and Class A Tank methods in average overestimated the measured ET_o in 35,6 and 37,4% showing respectively high correlation coefficients, too.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BERNARDO, S. *Manual de irrigação*. 5. ed. Viçosa : Imprensa Universitária, 1989, 596 p.
- BURMAN, R.D.; NIXON, P.R.; WRIGHT, J.L.; PRUITT, W.O. Water requeriments. In: JENSEN, M.E., ed. *Design and operation of farm irrigation systems*. St. Joseph : ASAE, 1983. cap. 6, p.189-232.
- CAMARGO, A.P. DE. *Contribuição para a determinação da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo*. Campinas : Instituto Agrônômico, 1966. 59p. (IAC, Boletim Técnico, 16).
- CASTRO NETO, P.; SOARES, A.M. Avaliação sazonal de métodos para a estimativa da evapotranspiração potencial diária em Lavras, Estado de Minas Gerais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 6 (1989: Maceió). *Anais*. São José dos Campos : INPE, 1989, p.265-74.
- DOORENBOS, J.; PRUITT, W.D. *Guidelines for predicting crop water requeriments*. Rome : FAO, 1977. 179 p. (Irrigation and Drainage Paper, 24).
- OMETTO, J.C. *Bioclimatologia vegetal*. 25. ed. São Paulo : Agronômica Ceres, 1981. 440 p.
- PENMAN, H.L. Evaporation: an introductory survey. *Netherlands Journal of Agricultural Science*, Wageningen, v.4, p.9-29, 1956.
- PRUITT, W.O.; LOURENCE, F.J.; VON OETTINGEN, S. Water use by crops as affected by climate and plant factors. *California Agriculture*, Berkeley, v.26, n.10, p.10-15, Oct. 1972.
- SEDIYAMA, G.C. *Necessidade de água para os cultivos*. Brasília : ABEAS, 1987. 145 p. (Engenharia da Irrigação, Módulo, 4).
- SILVA, A.A.G. DA. *Avaliação da eficiência de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para o município de Parnaíba-PI*. Piracicaba, 1989. 80 p. (Mestrado) — Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP.
- THORNTHWAITE, C.W. An approach toward a rational classification of climate. *Geographical Review*, New York, v.28, n.1, p.55-94, 1948.
- VILLA NOVA, N.A.; REICHARDT, K. Evaporação e evapotranspiração. In: RAMOS, F.; OCCHIPINTI, A.G.; VILLA NOVA, N.A.; REICHARDT, K.; MAGALHÃES, P.C. DE; CLEARY, R.W. *Engenharia hidrológica*. Rio de Janeiro : UFRJ, 1989. cap. 3, p.143-197.