

Comparação de métodos para estimar a evapotranspiração de referência para Ilhéus - Itabuna, Bahia

*Hermes Alves de Almeida*¹

Resumo

Estimou-se a evapotranspiração de referência, através dos métodos de Penman, Penman Simplificado, Tanque Classe "A", Radiação Solar e Thornthwaite, em valores diários médios mensais. Confrontou-se a evapotranspiração estimada pelo método de Penman, eleito como sendo o padrão, com as estimadas pelos diferentes métodos. Os resultados mostraram que os métodos do Penman Simplificado, Tanque Classe "A", Radiação Solar e Thornthwaite apresentaram, respectivamente, coeficientes de determinação (r^2) e de variação (CV) de 0,960 e 4,56; 0,864 e 8,44; 0,861 e 8,51 e 0,691 e 12,72. Ressalta-se, portanto, que o método de Penman Simplificado apresentou maior significância estatística (r^2 e CV), assegurando maior precisão na sua estimativa, seguido pelos métodos do Tanque Classe "A", Radiação Solar e Thornthwaite.

Palavras-chave: Agrometeorologia, evapotranspiração, métodos.

Comparison of methods to estimate the reference evapotranspiration for the micro-region of Ilhéus - Itabuna, Bahia, Brazil

Abstract

The reference evapotranspiration was estimated by the methods of Penman, Penman Simplified, Class A Tank, Solar Radiation and Thornthwaite by average monthly daily values. The evapotranspiration estimated by the various methods was compared with the Penman method, selected as a standard. The results show that the Penman Simplified, Class A Tank, Solar Radiation and

¹Centro de Pesquisas do Cacau, Subunidade de Levantamento de Recursos Naturais (Climatologia), APT CEPLAC, 45600, Itabuna, Bahia, Brasil.

Thornwaite methods gave, respectively, coefficient of correlation (r^2) and variation (CV) of 0.960 and 4.56; 0.864 and 8.44; 0.861 and 8.51 and 0,691 and 12.72. The Penman Simplified method, however, stands out as it had greater statistical significance (r^2 and CV), assuring greater precision in its estimate, followed by Class A Tank, Solar Radiation and Thornwaite methods.

Key words: Agrometeorology, evapotranspiration, methods

Introdução

A quantificação das perdas de água para a atmosfera, por evaporação mais transpiração, constitui um dos elementos básicos na determinação das necessidades de água dos cultivos agrícolas. Assim, a determinação da evapotranspiração se torna essencial por ser um dos principais componentes do balanço hídrico em cultivos agrícolas e um dos parâmetros importantes no planejamento de reservatório de água e sistemas de irrigação.

Na literatura, existem dezenas de métodos para estimar a evapotranspiração de referência. A escolha de qualquer um dos métodos dependerá tanto de seu grau de precisão quanto da disponibilidade de dados meteorológicos utilizados nos métodos. Para Doorenbos e Kassam (1979), os métodos mais recomendados para estimar a evapotranspiração de referência são: Penman, Tanque Classe "A" e Radiação Solar.

Para Omar e Mehanna (1983), o método de Penman é o que oferece melhor estimativa, apresentando um erro em torno de 10% no verão e de 20% em condições de baixa evaporação. O método do Tanque Classe "A" apresentou um erro de aproxi-

madamente 15%, dependendo da localização do Tanque Classe "A", enquanto que, no método da Radiação Solar, o erro foi em torno de 20% no período de verão. Segundo Mota e Beirsdorf (1976), o método de Penman é suficientemente mais preciso para um período de 5 dias.

Correlacionando a evapotranspiração medida através de evapotranspirômetro com a de referência, estimada pelos métodos de Penman e Thornthwaite, em valores decendiais, Ortolani, Camargo e Villa Nova (1966) encontraram uma correlação mais alta para o método de Penman ($r = 0,95$) do que para o de Thornthwaite ($r = 0,84$).

No presente trabalho, procurou-se eleger o método que apresentasse maior precisão para estimar a evapotranspiração, através de uma análise estatística comparativa entre a evapotranspiração obtida pelo método de Penman e as estimadas através dos métodos Penman Simplificado, Tanque Classe "A", Radiação Solar e Thornthwaite, em valores diários médios mensais.

Material e Métodos

Utilizaram-se dados do posto Agrometeorológico do Centro de

Pesquisas do Cacau (CEPEC), Ilhéus, BA, latitude de 14° 45' S, longitude de 39° 13' W e altitude de 41m, correspondentes ao período de 1979 a 1985.

As médias compensadas da temperatura e umidade relativa do ar foram determinadas de acordo com as normas preconizadas pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). A velocidade do vento foi obtida, diariamente, utilizando-se um anemômetro totalizador mecânico de três conchas e o poder evaporante do ar, medido através de um evaporímetro de Piche de fabricação FUESS, graduado em milímetros, instalado no abrigo meteorológico, ambos a 2 metros acima do solo.

As leituras no Tanque Classe "A" (EOCA) foram feitas diariamente, às 09:00 e 21:00 hs, mantendo-se o nível de água na ponta da agulha instalada no interior do poço tranquilizador. A evaporação diária foi calculada a partir da contabilidade, na quantidade de água que era repostada ou retirada, a fim de manter o nível constante, medida através de uma cuba volumétrica graduada em milímetros e décimos adaptada para substituir o micrômetro por Sá e Almeida (s. d.).

A evapotranspiração de referência (ETO) foi estimada pelo método de Penman (1948), de acordo com a equação:

$$ETO = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \times \frac{H}{59} + \frac{\gamma}{\Delta + \gamma} \times Ea$$

onde:

H = Energia líquida disponível ao sistema (cal. cm⁻². dia⁻¹);

Δ = Tangente à curva de saturação de vapor sobre a água (mmHg. °C⁻¹);

γ = Constante psicrométrica (mmHg. °C⁻¹); e

Ea = Termo aerodinâmico.

A simplificação no método original de Penman, estabelecida por Almeida e Sá (1986) consistiu na substituição do seu termo aerodinâmico (Ea) pelo poder evaporante do ar, medido através do evaporímetro de Piche. Neste trabalho, foi analisada estatisticamente essa relação, em valores diários médios mensais. O método de Penman foi considerado como sendo o método padrão. Assim, procedeu-se uma análise comparativa com os seguintes métodos:

a) Penman Simplificado para o Sudeste da Bahia por Almeida e Sá (1986), para valores diários médios mensais (ETOMO);

b) Tanque Classe "A" (ETOCA)
ETOCA = k_p. EOCA

onde:

ETOCA = Evapotranspiração de referência estimada (mm);

K_p = Coeficiente do Tanque Classe "A" e

EOCA = Evaporação medida no Tanque Classe "A"

c) Método de Radiação Solar (ETORS)
ETORS = C(W.RS)

onde:

ETORS = Evapotranspiração de referência estimada (mm);

RS = Radiação Solar global (mm. Evap. Eq);

C = Coeficiente angular de ajuste em função da Umidade relativa e da velocidade do vento; e

W = Coeficiente relativo ao efeito da temperatura e altitude.

d) Método de Thornthwaite (1948) (ETOTH)

$$ETOTH_i = 1,6 (10 t/i)^a \times DN / 12$$

onde:

ETOTH_i = Evapotranspiração de referência estimada (mm);

t = Temperatura média do ar (°C);

I = Índice térmico anual, correspondente ao somatório dos índices mensais

$$I = \sum_{i=1}^{12} (t/5)^{1,514}$$

$$a = (0,675I^3 - 77,1 I^2 + 17920 I) \times 10^{-6} + 0,49239;$$

D = Número de dias do mês; e

N = Insolação máxima teoricamente possível.

A evapotranspiração de referência estimada pelo método de Penman (1948) foi comparada com a evapotranspiração estimada por diferentes métodos, em valores diários médios mensais. A análise de regressão foi

determinada utilizando-se o Sistema de Análise Estatística (SAS Institute, 1985) e a escolha do método pela significância dos parâmetros estatísticos.

Resultados e Discussão

As evapotranspirações de referência estimadas pelos métodos de Penman, Penman Simplificado, Tanque Classe "A" e Radiação Solar em valores diários médios mensais, correspondentes ao período de jan/79 a dez/85, são mostradas na Figura 1. No cômputo da evapotranspiração de referência pelo método de Penman (1948), utilizaram-se dados climáticos de temperatura do ar, umidade relativa, velocidade do vento, insolação, déficit de pressão de saturação e Radiação Solar. Esses elementos meteorológicos são fundamentais para explicar o efeito físico da evaporação.

O método de Penman Simplificado foi estabelecido a partir da substituição do termo aerodinâmico (E_a) da equação de Penman, que é função da velocidade do vento e do déficit de pressão de saturação, pelo poder evaporante do ar medido através do evaporímetro de Piche, que é, também, uma função desses mesmos elementos meteorológicos.

Observa-se, na Figura 1, um paralelismo na variação entre os valores da evapotranspiração estimada pelo método padrão e as estimadas pelos métodos de Penman Simplificado, Tanque Classe "A" e Radiação Solar. Ressalta-se, portanto, que

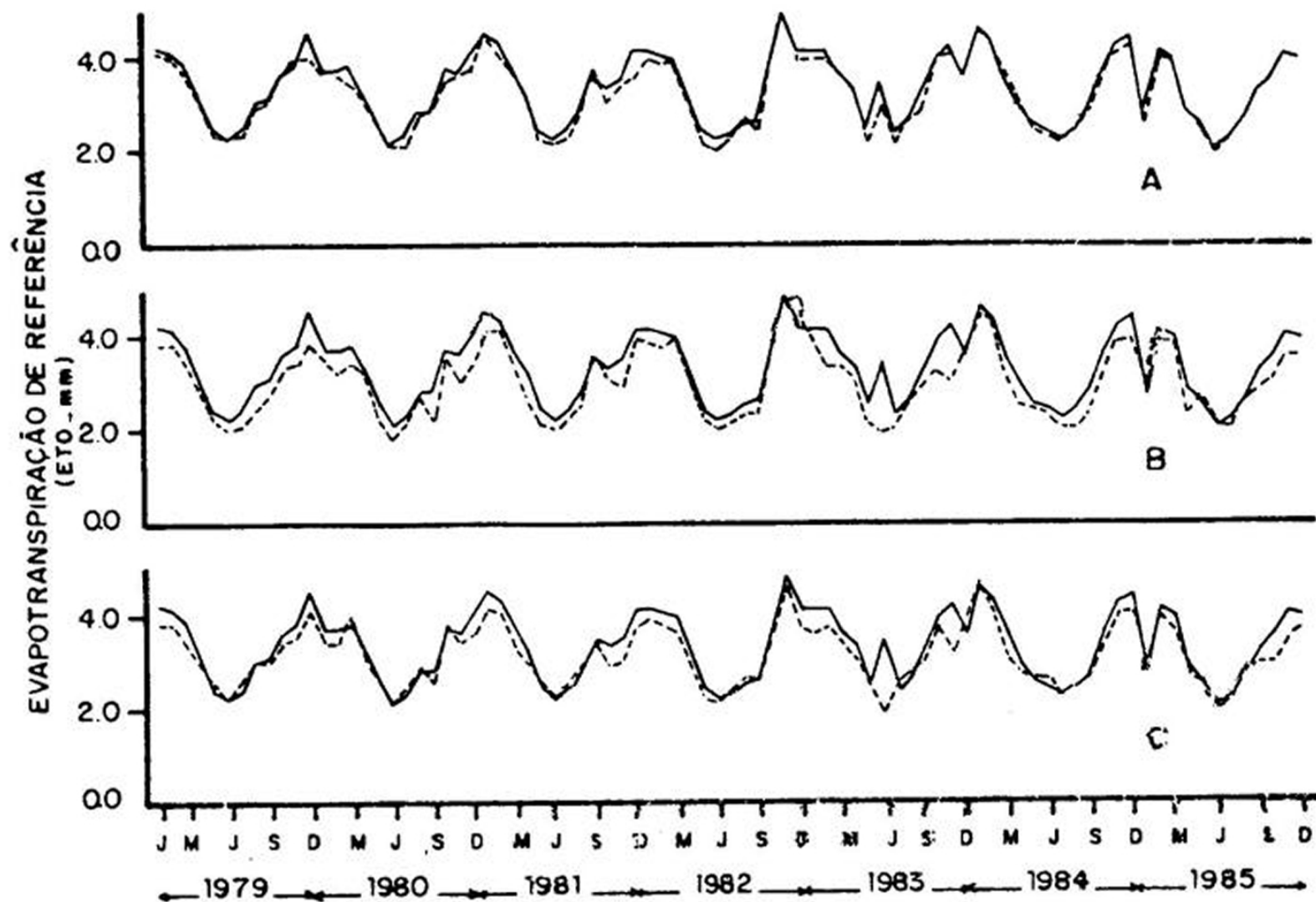


Figura 1 - Relação entre a evapotranspiração de referência, estimada pelo método de Penman (—), e a estimada pelos métodos: Penman Simplificado (--- A), tanque classe A (--- B) e radiação solar (--- C). Valores diários médios mensais. CEPEC, ILHÉUS, BA. Período: 1979 a 1985.

a estimativa da evapotranspiração de referência, através do método de Penman simplificado por Almeida e Sá (1986), apresentou um erro médio em torno de 5% em relação ao método original, com uma média diária de aproximadamente 0,2 mm. Isso demonstra que a substituição do termo aerodinâmico pelo evaporímetro de Piche, além de não alterar significativamente a precisão do método padrão, permite a utilização mais generalizada do método de Penman, para os locais desprovidos de anemômetros.

Os resultados referentes à evapotranspiração de referência, estimada pelos métodos do Tanque Classe "A" e Radiação Solar, apresentaram um desvio em torno de 10% em comparação com a evaporação calculada pela equação de Penman. O método do Tanque Classe "A", bastante recomendado para programar quantidades de água necessária às culturas e utilizado em larga escala em trabalhos de irrigação, apresentou variação máxima diária inferior a 0,5 mm e uma média em torno de 0,2 mm em relação ao método de Penman. Supõe-se que os pequenos desvios na evapotranspiração, estimada pelo método do Tanque Classe "A" sejam devidos ao fator de correção proposta por Doorenbos e Kassam (1979), aplicado ao Tanque de evaporação, ser adequado para corrigir a evaporação em evapotranspiração.

O método da Radiação Solar mostrou-se relacionado tanto com o

de Penman quanto com o de Penman Simplificado. Admite-se, portanto, que a eficiência no método da Radiação Solar está associado ao efeito da Radiação Solar e da Temperatura do ar na equação para estimativa da evapotranspiração, já que esses elementos meteorológicos são fundamentais para explicar os efeitos físicos da evaporação.

A evapotranspiração, estimada a partir do método de Thornthwaite, foi superior, em média, à calculada pelo método do Tanque Classe "A". Embora esse método venha sendo utilizado com maior frequência, já que necessita apenas da temperatura média do ar, não deve ser recomendado para períodos curtos: mensal ou anual.

A partir da técnica de análise de regressão aplicada aos diferentes métodos, mostrados na Figura 1, utilizando-se o Sistema de Análise Estatística (SAS Institute, 1985), determinaram-se os modelos (Figura 2) que relacionam a evapotranspiração de referência, estimada pelo método de Penman e a evapotranspiração de referência calculada pelos métodos de Penman Simplificado, Tanque Classe "A", Radiação Solar e Thornthwaite. Os resultados da análise estatística (Quadro 1) mostraram coeficientes de determinação (r^2) e variação (CV) de 0,960 e 4,56; 0,864 e 8,44; 0,861 e 8,51 e 0,691 e 12,72 para os métodos de Penman Simplificado, Tanque Classe "A", Radiação Solar e Thornthwaite, respectivamente.

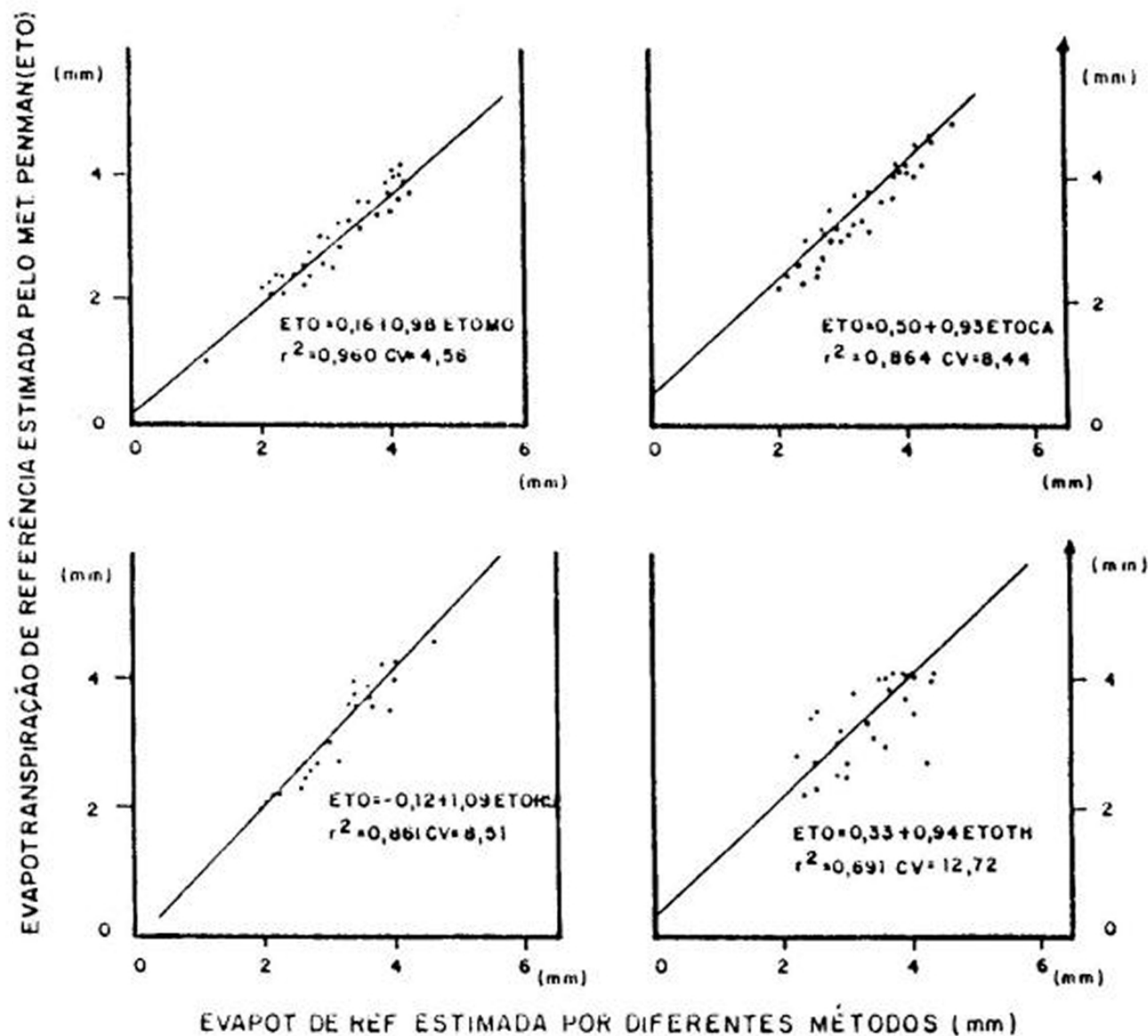


Figura 2 - Relação entre a Evapotranspiração de referência estimada pelo método original de Penman (ETO mm) e a estimada pelos métodos: Penman Simplificado (ETOMO-mm), Tanque Classe "A" (ETOCA-mm), Radiação Solar (ETORS-mm) e Thornthwaite (ETOTH-mm). CEPEC/Ilhéus, BA. Período 1979 a 1985. Valores diários médios mensais.

Quadro 1 - Análise estatística para as equações de estimativas da evapotranspiração de referência (mm), a partir do confronto entre o método de Penman (ETO) e os métodos de Penman Simplificado (ETOMO), Tanque Classe A (ETOCA), Radiação Solar (ETORS) e Thornthwaite (ETOTH). CEPEC, Ilhéus, BA, período 1979 a 1985. Valores diários médios mensais.

Métodos comparados	Equação de regressão	F	r ²	r ⁻²	CV	S
ETO X ETOMO	ETO = 0,16 + 0,98 ETOMO	1983,00**	0,960	0,959	4,56	0,02
ETO X ETOCA	ETO = 0,50 + 0,93 ETOCA	521,457**	0,864	0,862	8,44	0,04
ETO X ETORS	ETO = 0,11 + 1,09 ETORS	511,833**	0,862	0,860	8,51	0,05
ETO X ETOTH	ETO = 0,33 + 0,93 ETOTH	183,629**	0,691	0,687	12,72	0,07

** Significativo a 0,1% de probabilidade.

CV = Coeficiente de variação.

S = Desvio padrão da estimativa.

O método de Penman Simplificado apresentou mais estreita correlação com o método de Penman, o que assegura maior precisão na estimati-

va da evapotranspiração de referência, seguido pelos métodos do Tanque Classe "A", Radiação Solar e Thornthwaite.

Literatura Citada

- ALMEIDA, H.A. de e SÁ, D.F. de 1986. Simplificação do método de Penman para as condições climáticas do Sudeste da Bahia. *In* Congresso Interamericano de Meteorologia, 1º, e Congresso Brasileiro de Meteorologia, 4º, Brasília, DF, 1986. Anais. Brasília, Sociedade Brasileira de Meteorologia. v.1. pp. 62 - 67.
- DOORENBOS, J. and KASSAM, A.H. 1979. Yield response water. Rome. FAO. Irrigation and Drainage Paper nº 33. 193 p.
- MOTA, F.S. da e BEIRSDORF, M.I.C. 1976. Medidas e estimativas da evapotranspiração potencial em Pelotas, Rio Grande do Sul. *Ciência e Cultura (Brasil)* 28(6): 666 - 672.
- OMAR, M.H. and MEHANNA, A.M. 1983. Measurements and estimates of potential evapotranspiration over Egypt. *Agricultural and Forest Meteorology* 31(2): 117 - 129.
- ORTOLANI, A.O., CAMARGO, A.P. de e VILLA NOVA, N.A. 1966. Correlação entre valores decendiais da evapotranspiração potencial calculados segundo o método de Penman e de Thornthwaite e dados de evapotranspirômetro na Região de Ribeirão Preto (Nota). *Bragantia (Brasil)* 25(26,t.2): LXV - LXVII.
- PENMAN, H.L. 1948. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. *Proceedings of the Royal Society (Série A)* nº 193: 120 - 145.
- SÁ, D.F. de e ALMEIDA, H.A. de. s. d. Substituição de micrômetro pela cuba volumétrica na medida da evaporação do Tanque Classe "A". Ilhéus, BA, Brasil. CEPLAC/CEPEC. s.p. (datilografado).
- THORNTHWAITE, C.W. 1948. An approach toward a rational classification of climate. *Geographical Review* 38: 55 - 94.

* * *