

**ESTIMATIVAS DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO POTENCIAL PARA A
REGIÃO DE MARINGÁ: ESTUDO COMPARATIVO ENTRE OS
MÉTODOS DO TANQUE CLASSE "A", THORNTWHAITE,
CAMARGO E PENMAN SIMPLIFICADO**

Elcio Silvério Klosowski* e Emerson Galvani⁺

RESUMO. Os dados meteorológicos utilizados neste trabalho foram coletados na Estação Climatológica Principal de Maringá (ECPM), pertencente ao Departamento de Geografia da Universidade Estadual de Maringá e integrante, através de convênio, de rede do Instituto Nacional de Meteorologia. Está localizada na porção nordeste do campus universitário: latitude 23°25' S, longitude 51°57' W e altitude de 542m. O objetivo do presente trabalho é testar, comparativamente, a eficiência dos métodos de *Thornthwaite*, *Camargo* e *Penman simplificado*, com os dados obtidos pelo método do *tanque Classe "A"*, para a região de Maringá, Estado do Paraná. Comparados ao método do tanque classe "A", os modelos propostos por *Thornthwaite*, *Camargo* e *Penman simplificado* apresentaram boa concordância de acordo com os resultados obtidos através do índice de Willmott e bom desempenho de acordo com o índice "c". Podendo, assim, serem utilizados para a estimativa da evapotranspiração potencial na região de Maringá - Paraná. A escolha do método dependerá da disponibilidade de informações meteorológicas coletadas na região.

Palavras-chave: evapotranspiração, tanque classe "A", Thornthwaite, Penman simplificado, Camargo.

**ESTIMATION OF POTENTIAL EVAPOTRANSPIRATION FOR THE
REGION OF MARINGÁ: A COMPARATIVE STUDY OF CLASS
"A" PAN, THORNTWHAITE, CAMARGO AND SIMPLIFIED
PENMAN METHODOLOGIES**

ABSTRACT. The meteorological data used in this research were collected at *Estação Climatológica Principal de Maringá (ECPM)* (Main Weather Station of

* Departamento de Geografia, Universidade Estadual de Maringá, Av. Colombo, 5790, Câmpus Universitário, 87020-900, Maringá-Paraná, Brasil.

⁺ Departamento de Ciências Ambientais, Universidade Estadual Paulista, Campus Lageado, Cx. P. 237, 18603-970, Botucatu-São Paulo-Brasil.

Correspondência para Elcio Silvério Klosowski.

Data de recebimento: 03/11/97.

Data de aceite: 29/11/97.

Maringá - MWSM, Universidade Estadual de Maringá, State of Paraná, Brazil) which is a constituent of the Instituto Nacional de Meteorologia network (National System of Meteorology). Its location is 23°25'S latitude, 51°57'W longitude and 542m altitude. The objective of this study is to verify the efficiency of Thornthwaite, Camargo and simplified Penman methodologies when compared with the data obtained by class "A" pan methodology. The three models showed significant concordance through Willmott index and significant performance through "c" index, thus being feasible to be used to estimate potential evapotranspiration, but their choice will depend on meteorological information available.

Key words: evapotranspiration, class "A" pan, Thornthwaite, simplified Penman, Camargo.

INTRODUÇÃO

Em geral, para determinar as possibilidades de limitações climáticas na agricultura, procura-se estimar valores de precipitação pluviométrica e sua distribuição no tempo e espaço. É importante salientar que esta representa apenas uma das fases do balanço hídrico. A outra fase, de igual importância, é o consumo de água através do processo de evaporação do solo e de transpiração da planta, ou seja, da evapotranspiração.

A precipitação pluviométrica representa no balanço hídrico a transferência de água da atmosfera para o solo e a evapotranspiração, a fase oposta. E, evidentemente, é do balanço entre esses dois processos opostos que depende o estado final da umidade do solo.

O fenômeno da evapotranspiração apresenta-se de duas formas: a evapotranspiração real e evapotranspiração potencial. A evapotranspiração real é aquela que ocorre nas condições reais às quais o vegetal está submetido, ou seja, às condições de campo onde não necessariamente existe disponibilidade hídrica satisfatória e uma distribuição uniforme de vegetação sobre a superfície do solo. O termo evapotranspiração potencial é definido considerando-se uma extensa área coberta de vegetação na qual o solo apresente disponibilidade hídrica suficiente para atender o consumo vegetal (Cervellini, 1967).

A evapotranspiração é controlada principalmente pela disponibilidade de energia, pela demanda atmosférica e pelo suprimento de água do solo às plantas (Pereira, 1997; Nery e Castañeda, 1992).

Os valores de evapotranspiração podem ser obtidos através de instrumentos de medida, tais como: o evapotranspirômetro e lisímetros ou

ainda, podem ser estimados através de fórmulas empíricas. Existem diversos modelos de estimativa, cada um desenvolvido sob diferentes condições de acordo com a necessidade da aplicação. Para serem utilizados em locais diferentes daqueles onde foram gerados exigem, freqüentemente, fatores de correção (Doorenbos, 1976).

Thornthwaite e Mather (1955) desenvolveram uma equação para estimativa da evapotranspiração potencial com base unicamente no fator temperatura. Esse é, provavelmente, o método mais conhecido e mais aplicado em todo o mundo, pela sua simplicidade e facilidade na disponibilidade de dados (Caramori e Arita, 1988).

O objetivo do presente trabalho é testar, comparativamente, a eficiência dos métodos de *Thornthwaite*, *Camargo* e *Penman simplificado* com os resultados obtidos pelo método do *tanque Classe "A"*, para a região de Maringá, Estado do Paraná.

MATERIAIS E MÉTODOS

Os dados meteorológicos utilizados neste trabalho foram coletados na Estação Climatológica Principal de Maringá (ECPM), pertencente ao Departamento de Geografia da Universidade Estadual de Maringá e integrada à rede do Instituto Nacional de Meteorologia através de convênio. Acha-se localizada na porção nordeste do câmpus universitário, com as seguintes coordenadas geográficas: latitude 23°25'S, longitude 51°57'W e na altitude de 542m.

Em função dos registros obtidos junto a ECPM, optou-se por quatro métodos de estimativa que mais se adaptavam à série estudada. A seguir apresenta-se uma descrição dos métodos e do conjunto de dados utilizados.

Método do tanque classe "A"

O método do *tanque Classe "A"* consiste em converter a evaporação de uma superfície líquida livre em um valor de evapotranspiração de referência (ET_o), para tanto utiliza-se um coeficiente de tanque (k_p), assim temos:

$$ET_o = k_p \cdot ECA \quad (01)$$

Onde ECA é a lâmina de água evaporada no tanque classe "A" (mm.dia⁻¹); k_p é o coeficiente do tanque que depende da umidade relativa (UR), da velocidade do vento (U) e da área tampão (F). Os valores de k_p

são tabelados em função destes parâmetros (Doorenbos e Kassan, 1994) ou calculados através do modelo proposto por Snyder, 1992:

$$k_p = 0,482 + 0,024 \cdot \ln(F) - 0,000376 \cdot U + 0,0045 \cdot UR \quad (02)$$

Onde F é dado em metros; U em km.dia⁻¹ e UR em %.

A velocidade do vento foi monitorada através de anemômetro totalizador, instalado a 0,5m de altura ao lado do *tanque Classe "A"*.

Conjuntos psicrométricos não ventilados, instalados a 1,5m de altura, dentro de abrigo meteorológico padrão, monitoraram a temperatura dos bulbos seco e úmido e através destes obteve-se a umidade relativa.

Avaliou-se a evaporação do *tanque Classe "A"*, diariamente, através da diferença entre duas leituras consecutivas realizadas às 12h TMG (09h00min local), para o período compreendido entre os anos de 1991 a 1996.

Foram desconsiderados nos cálculos de evapotranspiração potencial os valores de evaporação do *tanque Classe "A"* referentes a dias chuvosos ou aqueles onde procedeu-se o enchimento do tanque. Tal procedimento justifica-se pelo fato deste método apresentar melhores resultados quando utilizados somente valores de evaporação obtidos em condições de dias sem chuva.

Método de Thornthwaite

As equações para estimativa da evapotranspiração por este método foram obtidas com base em medidas realizadas em lisímetros e utilizam apenas a temperatura como variável independente. A evapotranspiração média mensal padrão (mm.mês⁻¹) para um mês de 30 dias, com 12 horas diárias de fotoperíodo, foi bem representada pelo conjunto de equações a seguir:

$$ETP_p = 16 \cdot \left(10 \cdot \frac{T_i}{I}\right)^a \quad T_i > 0^\circ\text{C} \quad (03)$$

$$a = 6,75 \cdot 10^{-7} I^3 - 7,71 \cdot 10^{-5} I^2 + 1,7912 \cdot 10^{-2} I + 0,49239 \quad (04)$$

$$I = \sum_{i=1}^{12} (0,2 \cdot T_i)^{1,514} \quad T_i > 0^\circ\text{C} \quad (05)$$

Onde T_i é a temperatura média mensal (°C) e I é o índice de calor da região. Este índice deve ser calculado com valores normais (média climatológica).

Esta equação estima a evapotranspiração potencial padrão (ETPp) para uma condição de 12 horas de brilho solar e mês com trinta dias. Para estimar a evapotranspiração mensal, em um mês qualquer, com número de dias (ND) diferente de trinta e fotoperíodo médio (N), há necessidade de se ajustar a equação original através de fatores de correção:

$$ETP = ETP_p \cdot \left(\frac{N}{12}\right) \cdot \left(\frac{ND}{30}\right) \quad (06)$$

Método de Camargo

As estimativas de evapotranspiração potencial (mm.dia⁻¹) podem ser obtidas pela seguinte equação:

$$ETP = F \cdot Q_0 \cdot T \cdot D \quad (07)$$

Onde Q_0 (mm.dia⁻¹) representa a radiação solar extraterrestre diária no período considerado (valores tabelados), T é a temperatura média do período (°C) e F é o fator de ajuste que varia com a temperatura média anual do local (Tabela 1) e D é o número de dias do período.

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

Temp. média anual (°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 Penman simplificado

Em função da disponibilidade de medidas de evaporação do evaporímetro de Piche (P_i) e também medidas de temperatura do bulbo úmido (T_u), estimou-se a evapotranspiração potencial pelo método *Penman simplificado* (Villa Nova e Ometto, 1981):

$$ETP = \frac{0,28 \cdot P_i}{1 - W} \quad (08)$$

Onde W é definido por Makkink (1957), citado por Pereira, *et al.* (1997), como sendo uma função da temperatura do bulbo úmido:

$$W = 0,407 + 0,0145 \cdot T_u \quad 0 < T_u < 16,0 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (09)$$

$$W = 0,483 + 0,01 \cdot T_u \quad 16,1 < T_u < 32,0 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (10)$$

A evaporação do Piche (mm.dia^{-1}) foi monitorada a 1,5m de altura, em abrigo meteorológico padrão.

Para os métodos de *Thornthwaite*, *Camargo* e *Penman simplificado* a série de dados utilizada compreendeu o período correspondente entre os anos de 1976 a 1996.

O estudo comparativo entre o método do *tanque Classe "A"* e os demais métodos foi efetuado utilizando-se o índice de Willmott (1981) expresso em função do modelo:

$$d = 1 - \left[\frac{\sum (P_i - O_i)^2}{\sum (|P_i - O| + |O_i - O|)^2} \right] \quad (11)$$

Onde P_i é o valor estimado, O_i é o valor observado e O é a média dos valores observados.

Utilizou-se ainda como parâmetro estatístico de comparação o índice "c" proposto por Camargo e Sentelhas (1997), que serve como indicador de desempenho dos métodos, reunindo os índices de precisão "r" e de exatidão "d", sendo expresso da seguinte forma:

$$c = r \cdot d \quad (12)$$

O critério adotado para interpretar o desempenho dos métodos pelo índice "c", para as médias mensais de ET_p é apresentado na Tabela 2.

Tabela 2. Critério de interpretação do desempenho dos métodos de estimativa da ET_p , 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

Os resultados de evapotranspiração potencial obtidos pelo método do *tanque Classe "A"* correspondem a médias mensais referentes ao período de 1991 a 1996, e para os demais métodos utilizados neste trabalho, estas médias mensais representam o período entre os anos de 1976 a 1996.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Variação anual da evapotranspiração

Os resultados de estimativas de evapotranspiração potencial para a região de Maringá, no período em estudo, estão representados na Tabela 3 e Figura 1.

Tabela 3. Valores médios mensais de evapotranspiração potencial calculada pelos métodos do *tanque Classe "A"* (Classe A)*, *Thornthwaite* (TH)**, *Camargo* (CA)** e *Penman simplificado* (PE)** em milímetros por dia.

Meses	Classe A	TH	CA	PE
Janeiro	4,54	4,62	4,33	3,44
Fevereiro	3,90	4,41	4,10	3,29
Março	3,76	3,99	3,55	3,45
Abril	3,44	3,06	2,74	3,19
Mai	2,84	2,06	2,03	2,67
Junho	2,69	1,63	1,65	2,58
Julho	2,92	1,73	1,78	3,22
Agosto	3,46	2,29	2,28	3,96
Setembro	3,91	2,66	2,66	3,99
Outubro	4,59	3,71	3,66	4,32
Novembro	5,06	4,39	4,16	4,49
Dezembro	4,88	4,56	4,33	3,76
Média	3,83	3,26	3,11	3,53

* Médias mensais obtidas para o período de 1991 a 1996.

** Médias mensais obtidas para o período de 1976 a 1996.

Os métodos de *Thornthwaite* e *Camargo* apresentaram ao longo do ano um padrão semelhante de comportamento, considerando que esses métodos geram valores de evapotranspiração em função basicamente de medidas de temperatura do ar. Observa-se também uma tendência nos modelos de subestimar valores no período em que ocorrem as menores temperaturas, justamente porque as equações foram criadas em função da temperatura do local e não do balanço energético.

Os métodos do *tanque Classe "A"* e de *Penman simplificado* também apresentaram um comportamento semelhante ao longo do ano, pelo fato

de integrarem simultaneamente as características do poder evaporante e das condições aerodinâmicas do ar. Os valores médios anuais, obtidos pelos métodos que consideram o poder evaporante e as condições aerodinâmicas do ar, foram superiores àqueles resultantes dos métodos que consideram apenas a temperatura do ar.

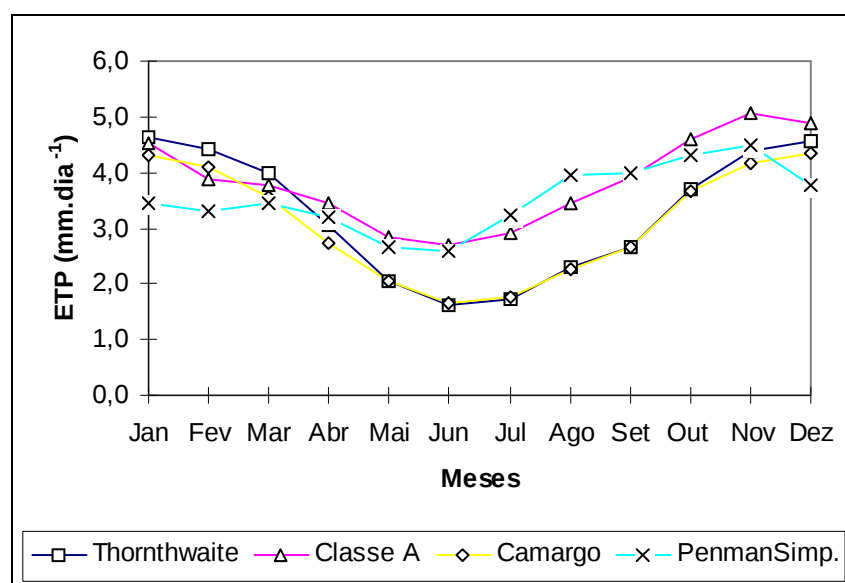


Figura 1. Variação anual da evapotranspiração pelos métodos do *tanque Classe "A"*, *Thornthwaite*, *Camargo* e *Penman simplificado*.

Comparação entre os métodos

Adotando-se como referência a evapotranspiração potencial obtida pelo método do *tanque Classe "A"* procedeu-se a comparação com os demais métodos. A escolha do *tanque Classe "A"*, como método padrão justifica-se pelo fato deste integrar o maior número de parâmetros, entre eles o efeito da temperatura do ar, radiação solar, umidade relativa, velocidade do vento e o poder evaporante do ar.

Utilizou-se os coeficientes de determinação, o índice de Willmott e o índice "c" para comparação entre o método do *tanque Classe "A"* e os demais métodos apresentados neste trabalho.

A análise do coeficiente de determinação mostra que o método de *Thornthwaite* comparado ao do *tanque Classe "A"* apresenta a melhor correlação. Em seguida o método de *Camargo* também mostra boa correlação.

E, por conseguinte, o método de *Penman simplificado* mostrou a mais baixa correlação com os dados obtidos no método do *tanque Classe "A"*.

Tabela 4. Coeficiente de determinação (R^2), índice de Willmott (d) e índice "c" como parâmetros de comparação entre os modelos.

	R^2				d				c			
	Classe A	TH	CA	PE	Classe A	TH	CA	PE	Classe A	TH	CA	PE
Classe A	1,00	0,76	0,82	0,63	1,00	0,82	0,80	0,83	1,00	0,71	0,72	0,66

* Cabe lembrar que o índice "c" é calculado pela relação $r \cdot d$, assim deve-se proceder o cálculo da raiz quadrada do coeficiente de determinação em seguida multiplicar pelo índice d.

Os valores obtidos pelo índice "c", de acordo com os critérios de interpretação, indicam que quando comparados com o método do tanque Classe "A", o desempenho dos métodos de *Thornthwaite*, *Camargo* e *Penman simplificado* é considerado "bom".

Aplicando o índice de concordância de Willmott, observa-se valores desse índice bastante próximos para os três métodos, assim os métodos comparados podem ser utilizados para estimativas de evapotranspiração potencial com boa aproximação em relação aos dados obtidos através do método do *tanque Classe "A"*.

As figuras 2, 3 e 4 representam o comportamento dos métodos em relação aos dados obtidos pelo método do *tanque Classe "A"*.

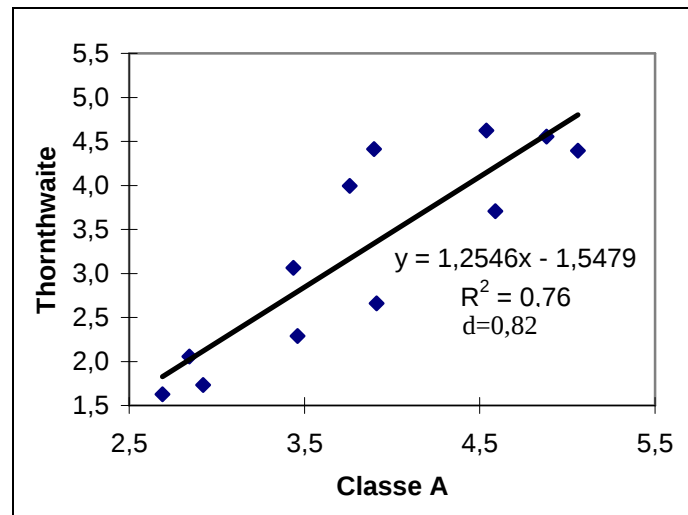


Figura 2. Comparação entre os métodos do *tanque Classe "A"* e de *Thornthwaite*.

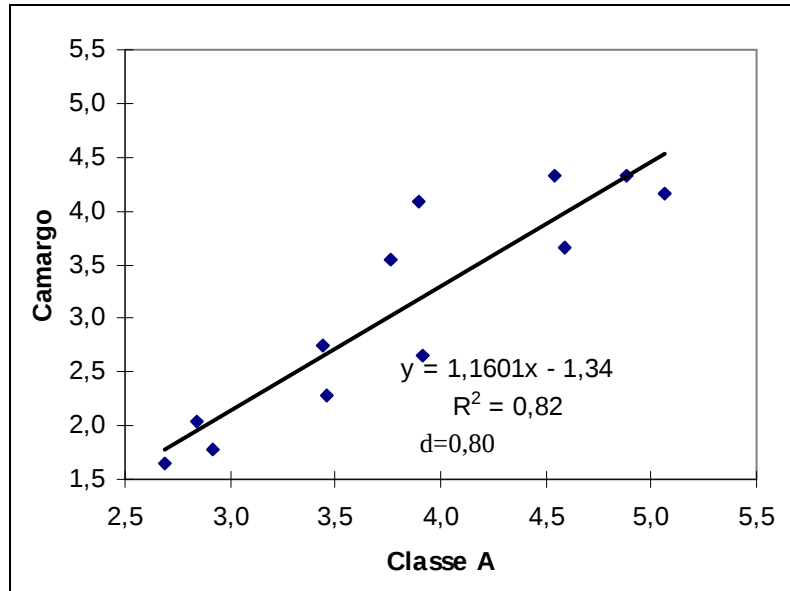


Figura 3. Comparação entre os métodos do tanque Classe "A" e de Camargo.

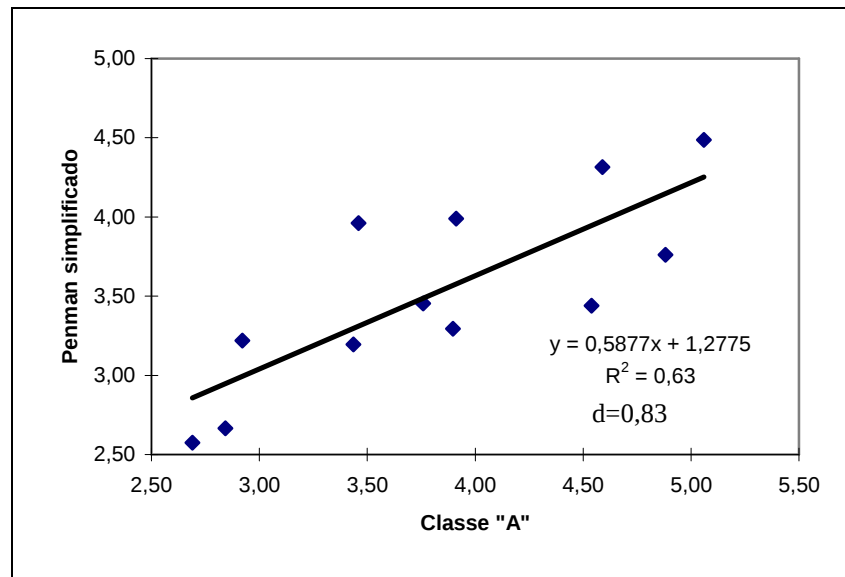


Figura 4. Comparação entre os métodos do tanque Classe "A" e de Penman simplificado.

CONCLUSÃO

A evapotranspiração potencial para a região de Maringá-PR estimada pelo método de *Thornthwaite*, apresentou média anual de $3,26\text{mm.dia}^{-1}$, com total anual de 1189mm, para o método de *Camargo*, a média anual obtida foi de $3,11\text{mm.dia}^{-1}$, com total anual de 1135mm. O método do *tanque Classe "A"* e de *Penman simplificado* apresentaram média de $3,83\text{mm.dia}^{-1}$ e $3,53\text{mm.dia}^{-1}$, com total anual de 1398mm e 1288mm, respectivamente.

Comparados ao método do *tanque Classe "A"*, os modelos propostos por *Thornthwaite*, *Camargo* e *Penman simplificado* apresentaram boa concordância, de acordo com os resultados obtidos através do índice de Willmott, e bom desempenho de acordo com o índice "c". Podendo, assim, serem utilizados para a estimativa da evapotranspiração potencial na região de Maringá. A escolha de determinado método dependerá da disponibilidade de informações meteorológicas coletadas na região.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CAMARGO, A.P. & CAMARGO, M.B.P. Teste de uma equação simples da evapo(transpi)ração potencial baseado na radiação solar extraterrestre e na temperatura média do ar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 3, 1983, Campinas. *Anais...* Campinas: SBA, 1983. p. 229-44.
- 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.*, 5(1):89-97, 1997.
- CARAMORI, P.H. & ARITA, C.A. *Evapotranspiração potencial no Estado do Paraná segundo o método de Penman*. Londrina: IAPAR, Boletim Técnico 25. 1988.
- CERVELLINI, A. (org.). *Apontamentos para reuniões de meteorologia*. Piracicaba, 1967. (Mimeogr.).
- DOORENBOS, J. *Agrometeorological field stations*. Rome: Fao, 1976. Irrigation and drainage paper, 27.
- DOORENBOS, J. & KASSAM, A.H. *Efeito da água no rendimento das culturas*. (Estudos Fao, Irrigação e Drenagem, 33), Campina Grande: Universidade Federal da Paraíba, FAO. 1994. 306p.
- NERY, J.T. & CASTAÑEDA, E. Cálculo da evapotranspiração potencial na região de Maringá: estudo estatístico. *Rev. Unimar*, 14(1):59-74, 1992.
- PEREIRA, A.R., VILLA NOVA, N.A. & SEDIYAMA, G.C. *Evapotranspiração*. Piracicaba: FEALQ, 1997.
- SNYDER, R.L. Equation for evaporation pan to evapotranspiration conversions. *J. Irrig. Drainage Eng.*, 118:977-80, 1992.

- WILLMOTT, C.J. On the validation of model. *Phys. Geogr.*, 2:184-94, 1981.
- VILLA NOVA, N.A. & OMETTO J.C. Adaptação e simplificação do método de Penman às condições climáticas do Estado de São Paulo. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE HIDROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS, 4, 1981, Fortaleza. *Anais...* Fortaleza: SBRH, 1981. p. 281-299.
- THORNTHWAITE, C.W. & MATTER, J.R. The water balance. New Jersey: Drexel Institute of Technology, 1955. 104 p. Publication in climatology.