

MEDIDAS E ESTIMATIVAS DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO NUMA CULTURA DE SOJA IRRIGADA, NAS CONDIÇÕES SEMI-ÁRIDAS DO NORDESTE DO BRASIL.

Pedro Vieira de Azevedo (*)
José de Paulo Rocha da Costa (**)
Mário de Miranda Vilas Boas Ramos Leitão (*)

(*) Departamento de Ciências Atmosféricas/UFPb
Av. Aprígio Veloso, 882 - Bodocongô
58100 - Campina Grande - Pb.

(**) Departamento de Meteorologia/JFPA
Caixa Postal 1611
66.000 - Belém-Pa.

RESUMO:

Este estudo objetivou a medida, através de evapotranspirômetros de lençol freático constante, da evapotranspiração máxima (ET_m) em soja irrigada, planta da numa área de 1.100 m² na Estação Experimental do CPATSA/EMBRAPA, em Juazeiro-Ba. Estimou-se a evapotranspiração de referência (ET_r) por vários métodos. Os valores diários de ET_m e ET_r foram comparados visando verificar os métodos que melhor se adaptam a estimativa do consumo hídrico da cultura nas condições ambientais e do experimento.

Observou-se que apenas o método de Penman-Monteith reproduziu ET_m satisfatoriamente para todo o ciclo da cultura, enquanto que o método do tanque "classe A" modelou bem ET_m apenas para o período de cobertura completa do solo. Os demais métodos sobestimaram ET_m na fase de crescimento vegetativo e subestimaram no período de completo desenvolvimento. O consumo hídrico da cultura foi de 620 mm.

ABSTRACT:

This study objectived through constant water level evapotranspirometers, the measurement of the maximum evapotranspiration (ET_m) for an irrigated soybean crop, planted in an area of 1,100 m², at the Experimental Station of the CPATSA/EMBRAPA, at Juazeiro-Ba. The reference evapotranspiration (ET_r) was estimated by several methods. Daily values of ET_m and ET_r were compared in order to verify what methods are better for estimating the crop water consumption in the environmental and experimental conditions.

It was observed that only the Penman-Monteith method estimated ET_m satisfactorily for the whole crop cycle, while the "class A" pan method modelated ET_m well only for the full soil cover period. The other methods overestimated ET_m in the vegetative growing phase and underestimated in the full crop development period. The crop water consumption was of 620 mm.

INTRODUÇÃO.

Informações sobre o consumo hídrico diário estacional ou de subperíodos

do ciclo vegetativo das culturas, constitui elemento fundamental para o estudo das relações entre a atividade agrícola e a produtividade das plantas cultivadas. Tais informações tornam-se mais relevantes quando há necessidade de suplementação d'água ao solo pela irrigação, proporcionando o uso da água de forma mais racional e eficaz, de acordo com a exigência da cultura. O conhecimento do consumo d'água em cada estágio de desenvolvimento da cultura, permite também o ajustamento da época de semeadura em função das disponibilidades hídricas, determinando assim uma maior eficiência no aproveitamento das precipitações pluviométricas (BERLATO & BERGAMASCHI, 1978).

Via de regra, o consumo hídrico das culturas é estabelecido com base nas perdas d'água para a atmosfera pelo processo de evaporação do sistema solo-planta, denominada de evapotranspiração. Isto ocorre porque toda a água que passa através da planta provem do solo e os processos de evaporação e transpiração ocorrem simultaneamente, não sendo fácil distinguir o fluxo de vapor d'água produzido por cada um desses processos (ROSENBERG et alii, 1983) e ainda porque a água perdida para a atmosfera através da cutícula representa uma fração insignificante do total evapotranspirada (MONTEITH, 1981). Para LEMON et alii (1957) e SLATIER & MCILROY (1961), a evapotranspiração é uma função dos fatores meteorológicos do solo e da própria planta. Não havendo restrição de umidade no solo, a evapotranspiração depende também do tipo e estágio de desenvolvimento da cultura (TANNER & LEMON, 1962; BERLATO & MOLLION, 1981). Por outro lado, se a cultura cobre totalmente o solo e a disponibilidade hídrica na zona das raízes é própria ao processo, a transferência de vapor d'água para a atmosfera será potencial e controlada exclusivamente pelos fatores climáticos (WITTERS & VIPOND, 1984).

Inúmeros métodos de estimativa da evapotranspiração tem sido sugeridos, descritos, testados e aplicados com variados graus de sucesso. Tais modelos variam desde fórmulas complexas, baseadas nos processos físicos que controlam a evaporação e a transpiração, até simples métodos empíricos, fundamentados em uma correlação linear entre a evapotranspiração medida e a temperatura do ar, radiação solar, gradiente de temperatura entre a folhagem e o ar, etc.

Vários pesquisadores (THORNTHWAITE, 1948; VILA NOVA, 1967, DYLLA et alii, 1980, BERLATO & MOLLION, 1981, ROSENBERG et alii, 1983; SHAW, 1983 e KLAR, 1984) tem descrito diferentes técnicas de medida e estimativa da evapotranspiração. No entanto, essas técnicas e modelos nem sempre reúnem precisão, facilidade de operação e baixo custo, o que tem levado a utilização dos métodos empíricos de estimativa da evapotranspiração, os quais necessitam de uma calibração local. A aplicação de qualquer modelo empírico para determinação da evapotranspiração de culturas é de validade duvidosa, a menos que tenha sido adaptado e testado localmente (DOORENBOS & PRUITT, 1975; RAMOS et alii, 1978). O método de estimati

va da evapotranspiração mais difundido é a equação de PENMAN (1948), que combina o saldo de radiação com os efeitos aerodinâmicos. Segundo THOM & OLIVER (1977), o sucesso da fórmula de Penman, na maioria dos regimes climáticos, se deve ao fato desta reunir os principais parâmetros reguladores do processo, com limitações apenas no termo aerodinâmico, que em certas situações torna-se tão ou mais importante quanto o termo energético. VAREJÃO SILVA (1977), estudando a demanda hídrica de uma cultura de alfafa irrigada no semi-árido do Nordeste do Brasil, obteve bom ajustamento ($r = 0,94$) entre a evapotranspiração medida pela variação de umidade no solo e aquela estimada pela equação de Penman, utilizando como termo aerodinâmico a evaporação do Piche. Ainda, segundo VILA NOVA et alii (1975), somente as medidas lisimétricas e as determinações baseadas no balanço de energia oferecem resultados satisfatórios na medida ou estimativa do consumo hídrico de culturas.

O presente trabalho objetivou a medida e estimativa, por vários métodos, da evapotranspiração de uma cultura de soja irrigada nas condições semi-áridas do Nordeste brasileiro. Foi também feita uma comparação entre os métodos empregados e avaliado o comportamento estacional da demanda hídrica consumida pela cultura ao longo de toda a estação de cultivo.

MATERIAIS E MÉTODOS.

O experimento de campo foi conduzido numa área de aproximadamente 1.100 m², em solo vertissolo, ao lado de uma estação meteorológica da Estação Experimental do Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semi-Árido (CPATSA) da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), localizada no perímetro irrigado do projeto Mandacarú, Juazeiro-Ba. Utilizou-se a cultura de soja (*Glycine max.* (L.) Merrill, cultivar tropical), plantada num espaçamento de 0,60 m entre fileiras e uma semeadura de 25 sementes por metro linear, perfazendo uma densidade aproximada de 400.000 plantas por hectare.

A evapotranspiração máxima da cultura (ET_m) foi medida em dois evapotranspirômetros de lençol freático constante, instalados a mais de dez anos na área do experimento. Após as primeiras irrigações a intervalos de 7 a 10 dias, irrigou-se de acordo com as necessidades da cultura — quando a taxa de evapotranspiração diária (ET_m) acumulava uma lâmina correspondente à irrigação anterior.

A evapotranspiração de referência (ET_r) foi estimada pelos seguintes processos:

a) Método de Penman.

A equação proposta por PENMAN (1948) para estimativa da evaporação (E_o), combina o balanço de energia com os efeitos aerodinâmicos, isto é:

$$E_o = \frac{S(R_n - G)/0,1\lambda + \gamma E_a}{S + \gamma} \quad (1)$$

onde o saldo de radiação R_n , foi medido diretamente sobre a vegetação, o que dispensa a correção, $ET_r = fE_0$ de transformação de evaporação em evapotranspiração de referência (THOM & OLIVER, 1977); G é o fluxo de calor sensível no solo; E_a é o termo referente ao poder evaporante do ar, obtido pela expressão:

$$E_a = 0,35 \left(1 + \frac{\bar{U}_2}{160}\right) (e_s - e_a) \quad (2)$$

em que \bar{U}_2 é a velocidade média do vento ao nível de 2 m acima da vegetação (Km/dia) e $(e_s - e_a)$ é o déficit de saturação do ar (mb); λ é o calor latente de vaporização dado pela expressão (WRIGHT, 1982):

$$\lambda = 595 - 0,51\bar{T}_a \quad (3)$$

Os termos S e γ referem-se respectivamente, a inclinação da curva de temperatura saturada do ar e a constante psicométrica.

b) Método Combinado Penman-Monteith.

A equação de MONTEITH (1965) para estimativa da evapotranspiração da cultura, foi utilizada na seguinte forma:

$$ET_r = \left[\frac{S(R_n - G) + 24,88 (e_s - e_a)/r_a}{S + \gamma(1 + r_c/r_a)} \right] (0,1\lambda)^{-1} \quad (4)$$

onde r_c e r_a referem-se a resistência estomática da cultura e aerodinâmica, respectivamente e o termo $0,1\lambda$ converte o fluxo de calor latente, λE , em mm/dia.

c) Método de Priestley & Taylor.

PRIESTLEY & TAYLOR (1972) mostraram que, na ausência de advecção, a evapotranspiração de referência pode ser estimada pela expressão:

$$ET_r = \alpha \left(\frac{S}{S + \gamma} \right) (R_n - G) \quad (5)$$

que equivale a equação de Penman (1) onde o termo aerodinâmico é substituído por uma constante α , a qual deve ser obtida para o local e cultura considerada. Para superfícies bem supridas de água, Priestley e Taylor obtiveram α variando de 1,08 a 1,34, com um valor médio de 1,26.

Visando adaptar a equação (5) às condições advectivas, JURY & TANNER (1975) propuseram a estimativa de ET_r pela equação:

$$ET_r = \left[1 + (\alpha - 1) \frac{\Delta e_a}{\bar{\Delta e}_a} \right] \frac{S}{S + \gamma} (R_n - G) \quad (6)$$

em que Δe_a é o déficit de saturação diário e $\bar{\Delta e}_a$ é o déficit de saturação médio para o período considerado.

d) Método de Penman Modificado por Doorenbos & Pruitt.

A FAO (1975) sugeriu o uso da equação de Penman (1) na seguinte forma

(DOORENBOS & PRUITT, 1975):

$$ET_r = W(R_n - G) + (1 - W) f(\bar{U}) (e_s - e_a) \quad (7)$$

onde W é um fator ponderante do efeito da temperatura (em tabela) e $f(\bar{U})$ é um coeficiente de transferência de vapor d'água para o ar dado por:

$$f(\bar{U}) = 0,27 (1 + \bar{U}_2/100) \quad (8)$$

e) **Método do Tanque "Classe A"**.

A evapotranspiração de referência foi também obtida pela expressão.

$$ET_r = K_p ECA \quad (9)$$

em que ECA é a evaporação medida no tanque "Classe A" (mm/dia) e K_p é um fator de correção determinado em função da umidade relativa, velocidade do vento e bordadura e exposição do tanque, dado em tabela, conforme DOORENBOS & PRUITT (1975).

RESULTADOS E DISCUSSÃO.

O comportamento estacional da evapotranspiração diária, medida e estimada pelo diferentes métodos, é mostrado nas figuras 1 a 3. Na figura 1 observa-se que o modelo de Penman-Monteith estimou muito bem a evapotranspiração máxima da cultura (ET_m) ao longo de todo o ciclo da cultura, ao passo que o método do tanque "Classe A" sobrestimou no período de crescimento vegetativo e modelou muito bem ET_m no período de completa cobertura do solo (pleno desenvolvimento da cultura). As figura 2 e 3 indicam que os demais métodos empregados sobrestimam na fase de crescimento vegetativo e subestimaram ET_m na fase de completo desenvolvimento. Isto se deve ao fato desses métodos refletirem apenas as potencialidades ambientais, não levando em conta as características fisiológicas da cultura, tendendo, assim a gerarem valores mais ou menos constantes durante todo o período de observações, uma vez que a variação dos parâmetros atmosféricos é muito pequena nas condições climáticas do experimento.

Observa-se também, na figura 2, que a adaptação de Jury e Tanner não foi capaz de reproduzir as condições advectivas reinantes no local e época do experimento. Talvez porque a adaptação é feita com base numa correção da variação estacional do déficit de saturação do ar ($\Delta e_a / \overline{\Delta e_a}$) que caracteriza uma advecção de vapor d'água. No entanto, observou-se que a advecção ocorrida no local foi essencialmente de calor sensível. A figura 3 mostra também que não houve diferença significativa entre as estimativa de ET_m pelos métodos de Penman e Penman modificado por Doorenbos e Pruitt.

A concordância entre os valores de ET , medidos e estimados pelo método de Penman-Monteith (evapotranspiração atual da cultura), evidência a preocupação de manutenção do solo em ótimas condições de umidade exigidas para um pleno de

envolvimento da cultura. O consumo hídrico da cultura foi de 620 mm.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- BAILEY, W.G. & DAVIES, J.A. Evapotranspiration from soybeans. *Boundary Layer Meteorol.*, 20:417-428, 1980.
- BERLATO, M.A. & BERGAMASCHI, H. Consumo de água da soja. Evapotranspiração estacional em condições de ótima disponibilidade de água no solo. *Seminário de Pesquisa da Soja*, I. Anais. Vol. 1 : 53-58, 1978.
- BERLATO, M.A. & MOLION, L.C.B. Evaporação e evapotranspiração. IPAGRO. Boletim Técnico nº 7, 95p, 1981.
- DOORENBOS, S.J. & PRUITT, W.O. Guidelines for predicting crop water requirements. Roma, FAO. 180 p, 1975.
- DYLLA, A.S., TOMMONS, D.R. & SAULL, H. Estimating water used by irrigated corn in west central. *Soil Sci. Soc. Amer. J. Minnesota* 44:823-827, 1980.
- FONTANA, D.C., BERLATO, M.A. & BERGAMASCHI, H. Estimativa da evapotranspiração da soja a partir do Tanque "Classe A", do saldo de radiação e da evapotranspiração calculada segundo Penman. Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, V. Coletânea de Trabalhos. Belém-Pa : 158-159, 1987.
- JURY, W.H. & TANNER, C.B. Advection modification of the Priestley and Taylor evapotranspiration formula. *Agron. J.*, 67:849-842, 1975.
- KLAR, A.B. A água no sistema solo-planta-atmosfera. Livraria Nobel, 408p, 1984.
- LEMON, E.R., GLASSER, A.H. & SATTERWHITE, L.E. Some aspects of the relationship of soil, plant and meteorological factors to evapotranspiration. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 21:464-468, 1957.
- MONTEITH, J.L. Evaporation and environment. *Symp. Soc. Exp. Biol.* XIX, 205-234, 1965.
- MONTEITH, J.L. Evaporation and surface temperature. *Quart. J.R. Meteorol. Soc.*, 107:1-27, 1981.
- PENMAN, H.L. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. *Proc. Roy. Soc. London*, 193:120-145, 1948.
- PRIESTLEY, C.H.B. & TAYLOR, R.J. On the assesement of surface heat flux and evaporation using large scale parameters. *Mon. Wea. Rev.*, 100:81-92, 1972.
- RAMOS, Z.S., PEQUENO, H.C. & CAMPOS, J.L.D. Um método empírico para estimativa da evapotranspiração potencial no Ceará. *Ciências Agronômicas*, 8:91-95, 1978.
- ROSENBERG, N.J., BLAD, B.L. & VERMA, S.B. *Microclimate: The biological environment*. 2d ed. John Wiley & Sons, Inc., 495p, 1983.

- SHAW, E.W. Hydrology in practice. Van Nostrand Reinhold (UK) Co. Ltd., 569p. 1983.
- SLATIER, R.C. & McILROY, J.C. Evaporation and the principles of its measurements. UNESCO. Austrália, 47-131, 1961.
- TANNER, S.B. & LEMON, E.R. Radiant energy utilized in evapotranspiration. Agron. J., 54:207-212, 1962.
- THOM, A.S. & OLIVER, H.R. On Penman's equation for determining regional evaporation. Quart. J.R. Meteorol. Soc., 103:345-357, 1977.
- THORNTHWAITE, C.W. An approach toward a rational classification of climate. Geogr. Rev., 38:55-94. 1948.
- VAREJÃO-SILVA, M.A. Evapotranspiração em cultura irrigada no semi-árido do sub-médio São Francisco. INPE, São José dos Campos-SP, 97p, 1977 (Dissertação de Mestrado).
- VILA NOVA, N.A. Estudos sobre o balanço de energia em cultura de arroz. ESALQ/USP. Piracicaba, 78p, 1967 (Tese de Doutorado).
- VILA NOVA, N.A., PEDRO JUNIOR, M.J. & PEREIRA, A.R. Balanço de energia numa cultura de arroz em condições de Sequeiro. Bragantia, Vol. 34, nº 9:171-176, 1975.
- WITTERS, B. & VIPOND, S. Irrigação: aplicação e prática, Livraria Nobel, 339p, 1984.
- WRIGTH, J.L. New evapotranspiration crop coefficients. Journal of the Irrigation and Drainage Division. ASCE, Vol. 108, No. IR2:57-74, 1982.

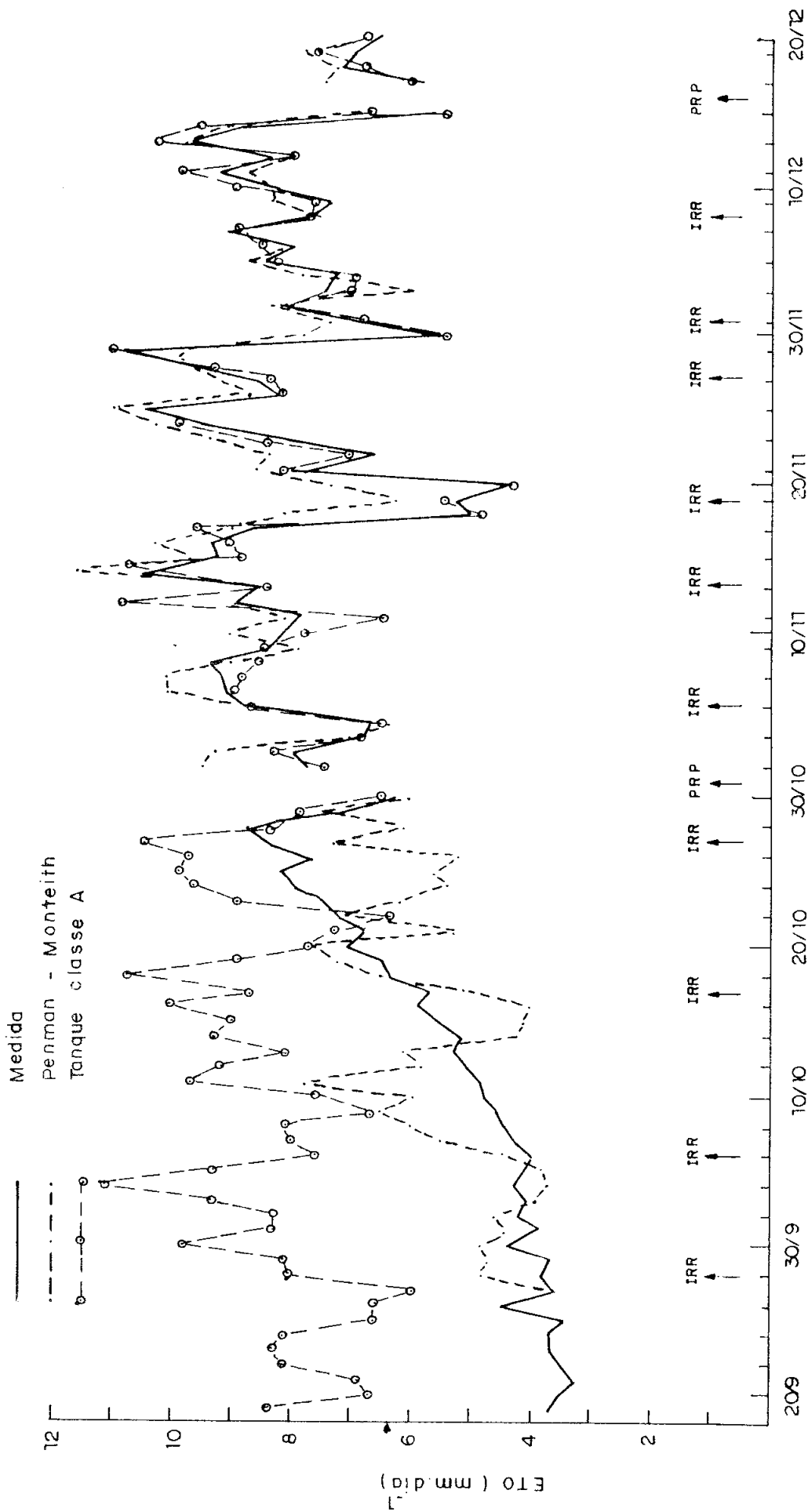


Figura 1 - Comportamento estacional da evapotranspiração diária, medida e estimada pelos métodos de Penman & Monteith e Tanque "classe A".

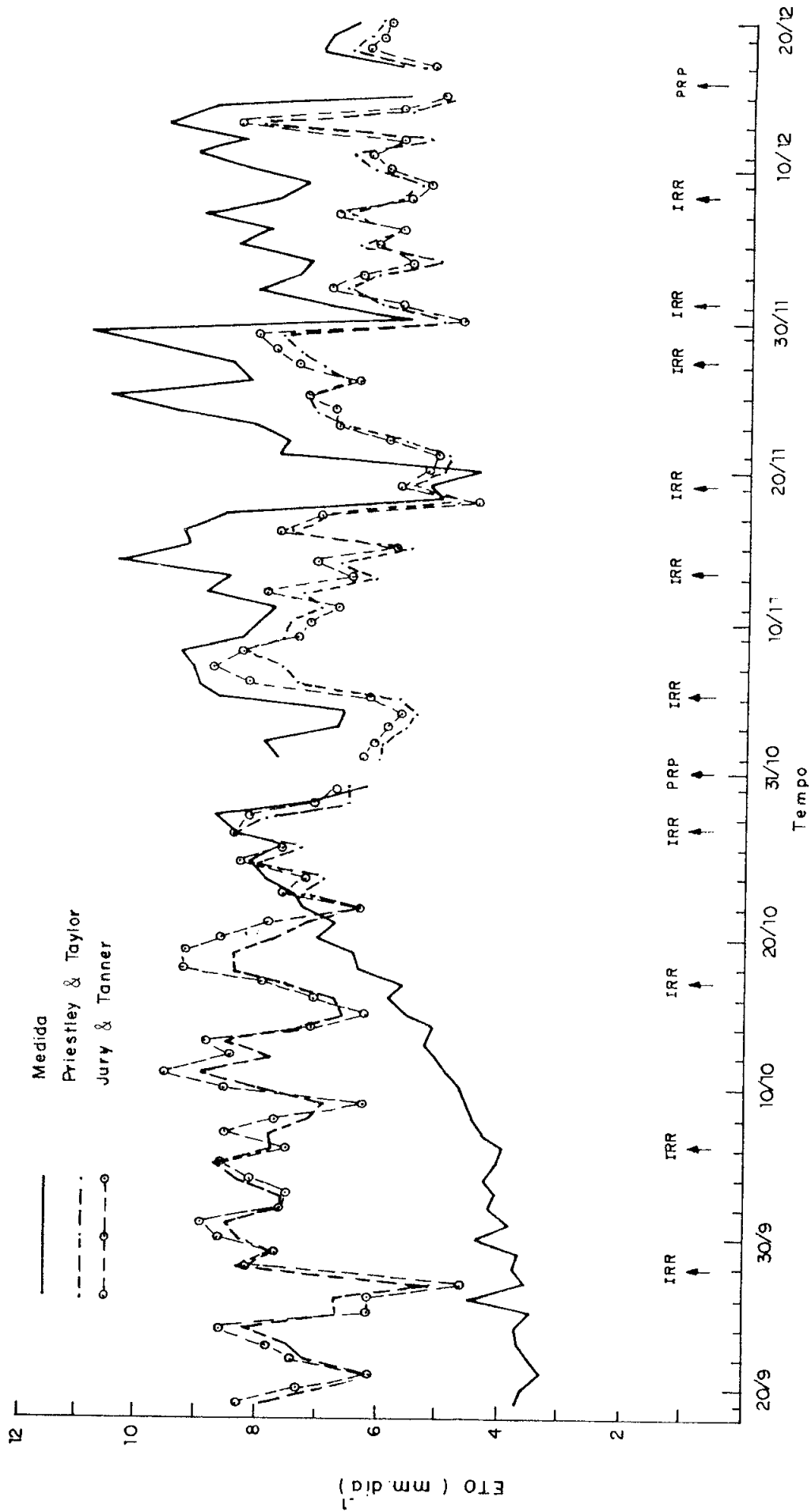


Figura 2 - Comportamento estacional da evapotranspiração diária, medida e estimada pelos métodos de Priestley & Taylor e Jury & Tanner.

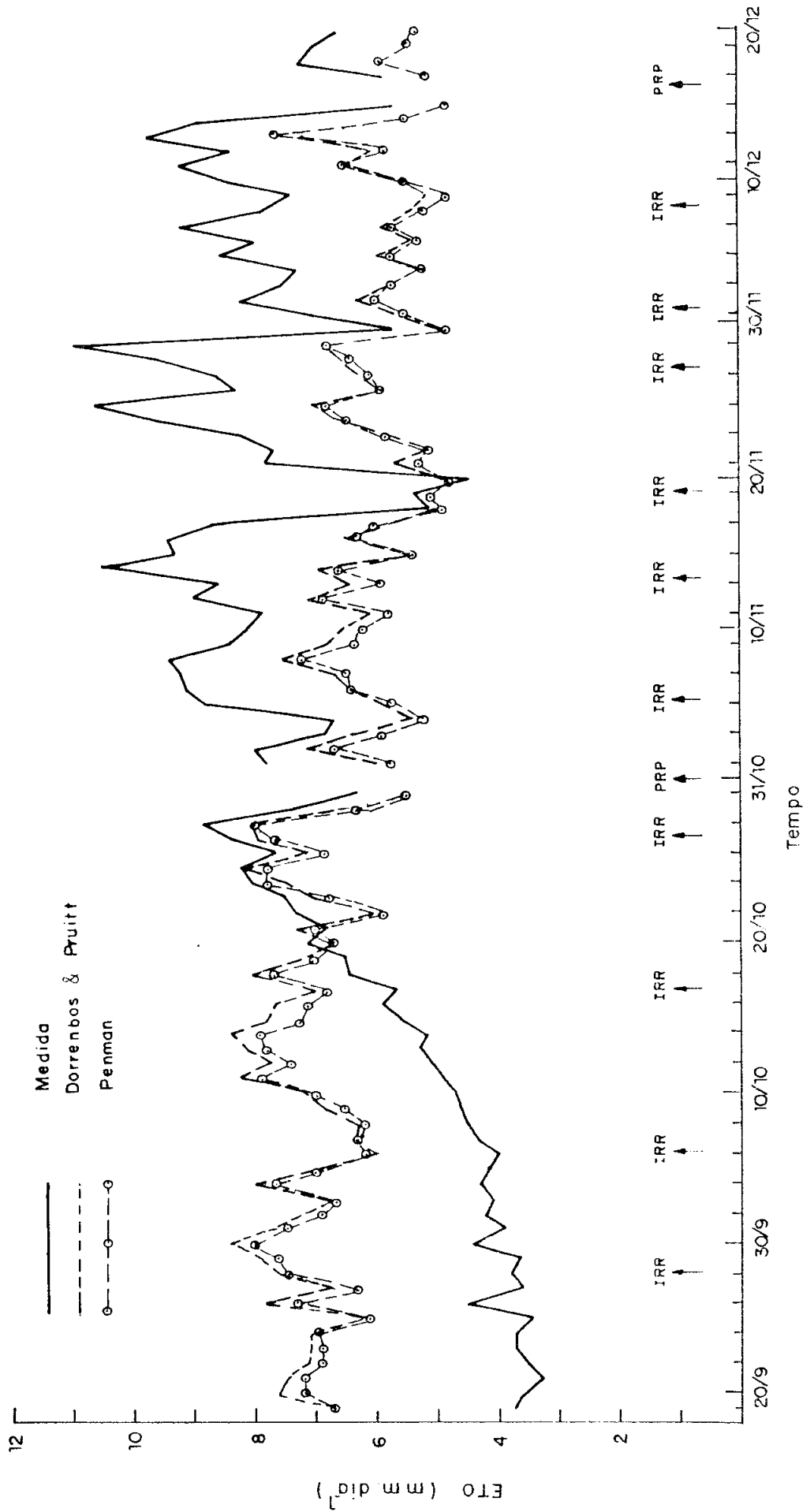


Figura 3 - Comportamento estacional da evapotranspiração diária, medida e estimada pelos métodos de Penman e Coorenbos & Pruitt.