

ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO REAL E POTENCIAL DE UMA CULTURA DE MILHO (ZEA MAYS, L.)*

PAULO TEODORO DE CASTRO**
KLAUS REICHARDT***

O prévio conhecimento das condições climáticas das novas áreas agrícolas é por demais importante para o sucesso na introdução de novas culturas, já que o déficit hídrico proveniente da ausência de chuvas pode apresentar significantes perdas na produção agrícola. A adição da água de irrigação para suplementar o requerimento da planta vem sendo realizada em nosso meio sem o devido respaldo de informações básicas, podendo levar a um aproveitamento inadequado dos recursos hídricos disponíveis.

Como se sabe, a irrigação corrige o *status* hídrico, evitando sobremaneira conseqüências drásticas no metabolismo da planta. Os processos de infiltração, redistribuição e evaporação da água do solo, bem como absorção de água pelas plantas, influem na sua dinâmica ao longo do perfil do solo, o que torna fundamental o conhecimento detalhado do sistema solo-planta-atmosfera, para que

se possa vaticinar suas respostas hídricas e fisiológicas sob condições de campo.

Um dos fatores que limitam o êxito de uma exploração agrícola é a sua demanda hídrica; daí a importância dos métodos que nos levam à determinação dos diversos componentes do balanço hídrico, principalmente da evapotranspiração, cuja estimativa permite avaliar quantidades de água a serem aplicadas às culturas.

A metodologia do balanço hídrico em um volume de controle de solo tem sido referenciada por vários autores, dentre eles ROSE (1966) e REICHARDT (1975), onde seus componentes precipitação, irrigação, deflúvio superficial, drenagem profunda e evapotranspiração se reúnem em uma equação de balanço de massa, podendo ser estimados direta ou indiretamente.

Objetivando estimar a evapotranspiração real de uma cultura de milho e conseqüentemente a água necessária ao processo fisiológico e dinâmico, utilizou-se a metodologia do balanço hídrico em um volume de controle de solo. Os resultados obtidos foram correlacionados com os de evapotranspiração estimados pelo método de Penman e evapotranspiração potencial estimada em função da evaporação do tanque "Classe A", durante o período considerado.

Parte do trabalho de Dissertação apresentada à Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", da USP, para obtenção do título de Mestre em Agrometeorologia. Piracicaba – S. P. Professor Assistente do Centro de Ciências Agrárias da UFC e Pesquisador do CNPq. – Fortaleza – Ceará.
Professor Adjunto do DFM/ESALQ/USP e Pesquisador junto ao Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA). Piracicaba – São Paulo.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Posto Agrometeorológico do Departamento de Física e Meteorologia da ESALQ – USP, em Piracicaba – S. P., durante o ano agrícola de 1978/79. As coordenadas geográficas do local são: latitude 22°42'30" S, longitude 47°38'00" W e altitude de 576 m. A caracterização climática média anual apresenta-se com precipitação de 1.247 mm, temperatura de 20,8°C e umidade relativa de 69,0%.

O solo da área experimental, segundo a Carta de Solos do Município de Piracicaba – S. P. (RANZANI *et alii*, 1966), a nível de grande grupo, é uma Terra Roxa Estruturada. De acordo com a Soil Taxonomy (1975), recebe a denominação de Oxic Paleudalf. É um solo argiloso, de perfil homogêneo, bastante permeável e lençol freático localizado a 7 – 8 m de profundidade.

A cultura de milho, variedade Cargill 111-X, tipo híbrido duplo, obtido a partir de linhagens com mais de seis ciclos de seleção, foi semeado a 14.11.1978 em fileiras distantes de 1,0 m e com 0,2 m entre plantas, em uma área de 15m x 30m, com uma semente por cova, totalizando 50.000 plantas/ha.

Antes do plantio da cultura foram instaladas 4 baterias de 9 tensiômetros com manômetro de mercúrio. Para cada bateria foi colocado um tensiômetro à profundidade de 15, 30, 45, 60, 75, 90, 105, 120 e 135 cm. Os manômetros de mercúrio foram conectados em uma única cuba, a 40 cm da superfície do solo. O potencial matricial (ζ) foi calculado pela fórmula:

$$\zeta = -12,6 h_z + h_c + z \dots \dots (1)$$

onde h_z = leitura (cm de Hg) do tensiômetro instalado na profundidade z ; h_c = altura do nível de mercúrio na cuba até a superfície do solo, 40 cm; z = profundidade de instalação do tensiômetro.

Pelo método da gravimetria, utilizando amostras indeformadas, elaborou-se uma curva de retenção de água do solo, para cada profundidade de instalação dos tensiômetros, de modo que para cada potencial matricial (ζ) correspondia um valor de umidade volumétrica (Θ).

A variação de armazenagem (ΔA) foi estimada a partir de perfis de umidade do solo (Θ), obtidos indiretamente das leituras de tensiômetros. A armazenagem (A), de água do solo, até a profundidade L , foi calculada pela fórmula:

$$A = \int_0^L \bar{\Theta} dz = \bar{\Theta} \cdot L \dots \dots (2)$$

onde, $\bar{\Theta}$ = umidade média do perfil do solo (0 – L cm); e L = profundidade do perfil do solo (cm).

A drenagem profunda (q_L) no limite inferior ($z = 120$ cm), do volume de solo considerado, estimou-se a partir da Equação de Darcy:

$$q_L = -K_L(\Theta) \left(\frac{\partial \psi}{\partial z} \right)_L \dots \dots (3)$$

onde $K_L(\Theta)$ = condutividade hidráulica do solo na profundidade L ; $(\partial \psi / \partial z)_L$ = gradiente de potencial total da água do solo, profundidade $z = L$. Os valores da condutividade hidráulica em $z = 120$ cm (K_{120}) e em mm/dia foram obtidos pela expressão:

$$K_{120} = 10 \exp 37,04 (2,65 \Theta - 1) \dots \dots (4)$$

elaborada por SAUNDERS (1978).

A precipitação pluviométrica (P) foi registrada em um pluviômetro (ESALQ) e um pluviógrafo marca *fless* mod. 95, com sifonação e registro diário, localizados no Posto Agrometeorológico da ESALQ – USP.

A irrigação (I) não foi necessária durante o período experimental devido às freqüentes chuvas e o deflúvio superficial (R) foi negligenciado, pois a declividade do terreno é praticamente nula.

A estimativa da evapotranspiração real (E) da cultura do milho foi calculada

a partir da equação do balanço hídrico:

$$P_s + I \pm Q_L - E \pm R = \pm \Delta A \dots (5)$$

A evapotranspiração de Penman (E_{pen}) calculou-se a partir da equação do mesmo autor e envolve dois termos distintos: o energético, fundamentado na energia líquida disponível na superfície; e o aerodinâmico, baseado na velocidade média do vento e no déficit de saturação de vapor d'água no ar pela expressão:

$$E_{pen} = \frac{\Delta/\gamma \cdot H + E_a}{(\Delta/\gamma + 1)} \dots \dots \dots (6)$$

onde, Δ = Tg. à curva de tensão de saturação de vapor d'água (mm de Hg/°C); γ = constante psicrométrica (mm de Hg/°C); H = radiação líquida (mm) e E_a , dado pela expressão:

$$E_a = 0,35 (1,0 - U_2/160,9) (e_s - e_a) (7)$$

onde, U_2 = velocidade média do vento (Km/dia); $(e_s - e_a)$ = déficit de saturação de vapor (mm de Hg). Todos esses valores, para estimativa da evapotranspiração de Penman, foram colhidos no Posto Agrometeorológico da ESALQ/USP.

A evapotranspiração potencial (ETP) foi obtida pela correção da evaporação do tanque "Classe A", com o coeficiente de tanque (K_p) obtido segundo recomendações da F. A. O., (1975), pela expressão:

$$ETP = ECA \cdot K_p \dots \dots \dots (8)$$

onde, ECA = evaporação do tanque "Classe A"; K_p = coeficiente de tanque. Os dados de evaporação são média de dois tanques "Classe A" instalados sobre gramas batatais (*Paspalum notatum*), no Posto Agrometeorológico, obedecendo às normas da Organização Mundial de Meteorologia (W.M.O., 1966).

Para estimativa da evapotranspiração real (E), evapotranspiração de Penman (E_{pen}) e evapotranspiração potencial (ETP) foram escolhidos 40 dias, nos

quais a cultura se apresentava em franco desenvolvimento vegetativo. Esse período foi dividido em 10 intervalos menores, de 4 dias, visando minimizar os efeitos do intervalo de tempo considerado para o balanço. Os resultados obtidos foram ainda correlacionados em uma equação de regressão linear e determinados os respectivos coeficientes de correlação.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela I encontram-se todos os componentes do balanço hídrico para o período considerado, determinados e estimados conforme a metodologia descrita. São apresentados os valores da evapotranspiração estimados pelo método de Penman e os dados de evapotranspiração potencial calculados em função da evaporação do tanque "Classe A", bem como os valores de drenagem profunda, precipitação e variação de armazenagem, para os intervalos considerados. Vê-se ainda que o componente drenagem profunda não pode ser negligenciado nos cálculos estimativos de evapotranspiração, pois apresentou 58,71% das perdas de água no intervalo de 07 a 10.12.78, assumindo percentuais relativamente menores no decorrer dos intervalos subsequentes, e 15,20% das perdas para o período total do balanço. Esses dados concordam com os de VACHAUD *et alii* (1973) e REICHARDT e LIBARDI (1974), mostrando novamente que esse componente deve ser levado em conta para estimativas do balanço hídrico de cultivos agrícolas, mormente em solos de região de clima tropical.

A Figura I mostra, durante o período considerado para o balanço, os valores de armazenagem (A), precipitação (P), drenagem profunda (Q_L) e da evapotranspiração real (E), estimados pelo balanço hídrico. Figuram ainda os valores de evapotranspiração de Penman (E_{pen}) e de evapotranspiração potencial (ETP), estimados em função da evaporação do tanque "Classe A". Observa-se que os va-

lores de E, E_{pen} e ETP apresentam uma mesma tendência de variação ao longo do período. Por esse motivo, fez-se uma análise de regressão linear a partir de seus dados acumulados, cujas equações obtidas foram:

a) ETP x E

$$ETP = -3,900 + 1,320 E, r = 0,998$$

b) $E_{pen} \times E$

$$E_{pen} = -1,000 + 1,053 E, r = 0,999$$

Os altos valores de correlação resultantes mostram a possibilidade de se obter E a partir de E_{pen} e ETP.

TABELA I

Valores dos componentes do balanço hídrico (precipitação, drenagem profunda, variação de armazenagem, evapotranspiração real) e evapotranspiração estimados pelo método de Penman e pela evaporação do tanque "Classe A", além das perdas de água por drenagem profunda para os intervalos considerados para o balanço.

dias	P (mm)	Q_L (mm)	ΔA (mm)	E (mm)	E_{pen} (mm)	ETP (mm)	Q_L (%)
07-10	10,0	-19,96	-24,00	14,04	14,12	18,44	58,71
11-14	37,8	-8,73	+ 9,00	20,07	22,08	24,76	30,31
15-18	12,5	-2,78	-10,95	20,62	19,92	24,00	11,85
19-22	-	-1,01	-24,03	23,29	24,88	25,48	4,17
23-26	9,8	-0,41	-13,20	22,59	22,09	26,92	1,78
27-30	5,1	-0,17	-4,50	9,43	13,04	23,64	1,77
31-03	14,3	-0,10	-4,50	18,70	17,02	27,88	0,54
04-07	10,3	-0,12	-9,00	19,18	21,01	25,16	0,62
08-11	4,8	-0,03	-16,35	21,12	22,77	21,16	0,14
12-15	3,3	-0,02	-16,20	19,48	22,38	28,48	0,10

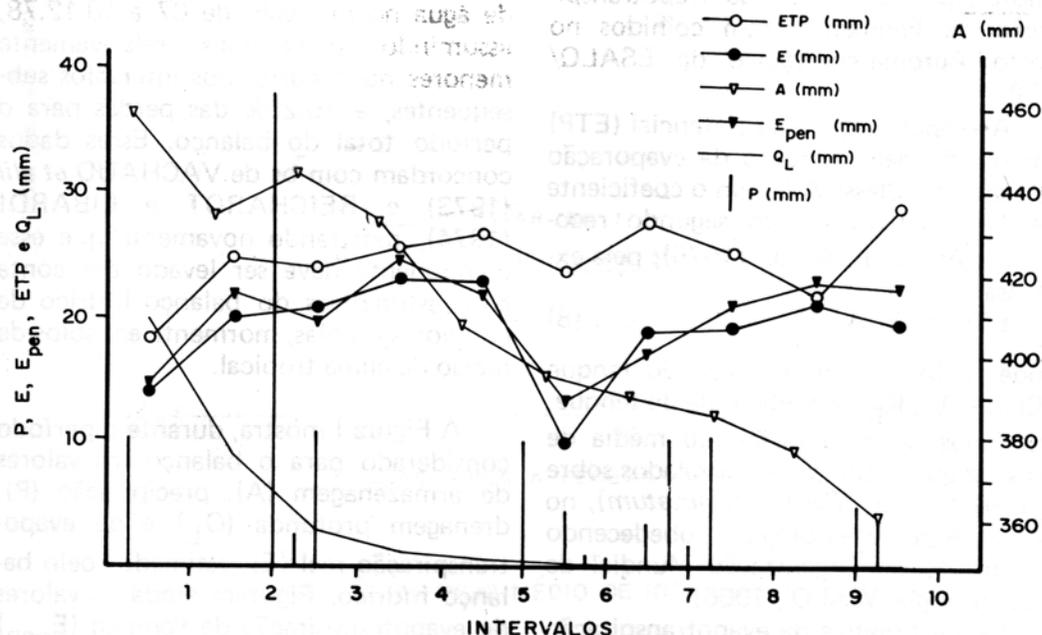


Figura I - Variação dos componentes da equação do balanço hídrico, da evapotranspiração calculada pela fórmula de Penman, evapotranspiração potencial estimada em função da evaporação do tanque "Classe A", nos intervalos do balanço, na cultura do milho.

CONCLUSÕES

A análise e interpretação dos resultados obtidos conduziram às seguintes conclusões:

- 1) os percentuais mais elevados de perdas por drenagem profunda ocorrem quando o armazenamento de água no perfil de solo apresentava valores mais elevados, devido ao não aproveitamento rápido da água que se encontrava à disposição e também devido ao potencial gravitacional;
- 2) os valores acumulados de evapotranspiração real, evapotranspiração de Penman e evapotranspiração potencial, estimados em função da evaporação do tanque "Classe A", se relacionaram respectivamente por:

$$ETP = -3,900 + 1,320 E, r = 0,998$$

$$E_{pen} = -1,000 + 1,050 E, r = 0,999$$

Mostrando que a evapotranspiração real pode ser estimada a partir da evapotranspiração de Penman ou evaporação do tanque "Classe A";

- 3) o fluxo de evapotranspiração real médio da cultura do milho foi de 4,72 mm/dia;
- 4) a evaporação do tanque "Classe A", corrigida pelo coeficiente de tanque (k_p), pode ser utilizada para estimar a evapotranspiração real da cultura do milho sob condições de campo.

SUMMARY

In a soil (Alfisol) located at the Meteorological Station of Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (USP), Piracicaba — S. P., Brazil, the actual eva-

potranspiration of a corn (*Zea mays*, L.), crop was estimated by the water balance method.

The results obtained from this method were correlated with those estimated by Penman's method and with the potential evapotranspiration estimated from "Class A" evaporation pan.

Linear correlation coefficients greater than 0,98 were obtained between actual evapotranspiration and evapotranspiration estimated by Penman's method and between actual evapotranspiration and potential evapotranspiration estimated from "Class A" evaporation pan.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- F. A. O. FOOD AND AGRICULTURAL ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS — 1975. Crop water requirements. Roma, 179 p. (*Irrigation and Drainage Paper*, n.º 24).
- RANZANI, G.; O. FREIRE e T. KINJO — 1966. *Carta de Solos do Município de Piracicaba*. ESALQ/ Centro de Estudos de Solos. 85 p.
- REICHARDT, K — 1975. *Processos de transferência no Sistema Solo-Planta-Atmosfera*. São Paulo. Fundação Cargill, Piracicaba— S. P. CENA. 286 p.
- REICHARDT, K. e P. L. LIBARDI — 1974. An analysis of soil water movement in the field: I-Hydrological field site characterization. Piracicaba — S. P., CENA (*Boletim Científico* n.º 021).
- ROSE, C. W. — 1966. *Agricultural Physics*. Oxford, Pergamon Press. 230 p.
- SAUNDERS, L.C.U. — 1978. Métodos de determinação e variabilidade espacial da condutividade hidráulica sob condições de campo. Piracicaba — S. P. ESALQ/USP. Tese de Doutorado.
- SOIL SURVEY STAFF SOIL TAXONOMY. EUA — 1975. A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. *Agriculture Hand Book* n.º 436 U.S. Government Printing Office. Washington DC. 754 p.
- VACHAUD, G.; J. TEHEL; J. M. ROYER e R. BO-CALATO — 1973. Contrôle automatic *in situ* des transferts d'eau dans la zone non saturée. In: I.A.E.A. Isotopes and radiation techniques in soil physics and irrigation studies. Vienna, p. 1-5.
- W.M.O. — 1966. Measurement and estimation of evaporation and evapotranspiration. Geneva, p. 9. (*Technical Note* n.º 83).