

BALANÇO HÍDRICO NUM LATOSSOLO VERMELHO-ESCURO ÁLICO CULTIVADO COM MILHO COM IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO ^{1/}

Camilo de Lelis Teixeira de Andrade ^{2/}
Gilberto Chohaku Sedyama ^{3/}
Lairson Couto ^{4/}
Luiz Marcelo Aguiar Sans ^{4/}
Paulo Afonso Ferreira ^{3/}

1. INTRODUÇÃO

O estudo da dinâmica da água no sistema solo-planta-atmosfera fornece elementos essenciais para o desenvolvimento ou aprimoramento de práticas de manejo agrícola. Ela tem sido estudada por intermédio de balanços hídricos, baseados, principalmente, em informações climáticas, permanecendo em segundo plano as informações edáficas (18).

Em se tratando do balanço de água no solo, nas condições de campo, a determinação de alguns dos seus componentes é difícil e passível de erros. Um dos componentes que mais concorre para o aumento do erro na estimativa do fluxo de evapotranspiração, com o uso do balanço de água no solo, é o fluxo de água na zona radicular, na forma de drenagem profunda ou de ascensão capilar (2, 12, 16, 22).

A equação diferencial que descreve o movimento de água no solo tem sido utilizada para estimar os fluxos de água numa profundidade do perfil. Entretanto, seu uso requer o conhecimento acurado das propriedades físico-hídricas do solo, variáveis no espaço e no tempo (5, 14, 20). Diante dessas dificuldades, têm sido propostas algumas simplificações dessa equação, além de outras, destinadas especificamente à estimativa do fluxo de drenagem profunda, que procuram evitar o

^{1/} Aceito para publicação em 4-11-1987.

^{2/} Bolsista da EMBRAPA/CNPMS. Sete Lagoas, MG.

^{3/} Departamento de Eng. Agrícola da UFV, 36570 Viçosa, MG.

^{4/} EMBRAPA/CNPMS. Sete Lagoas, MG.

uso direto da função $K(\Theta)$ (13, 20).

Uma outra forma de estimar os fluxos de drenagem profunda ou de ascensão capilar, que dispensa o conhecimento de $K(\Theta)$, é a utilização simultânea de perfis sucessivos de umidade e de potencial total de água no solo, quando é estabelecida uma zona de gradiente de potencial nulo, chamada plano de fluxo zero (PFZ). O fluxo acima do PFZ é devido à evapotranspiração ou evaporação e o fluxo abaixo do PFZ é devido à drenagem profunda, podendo, ainda, ser devido à ascensão capilar, quando o PFZ está bem abaixo da zona radicular ou da seção de controle. A obtenção dos perfis sucessivos de umidade do solo é facilitada pela utilização de uma hidrossonda de nêutrons, que, além de fornecer resultados mais precisos, minimiza os efeitos da variabilidade espacial das características físico-hídricas do solo.

Embora as técnicas de estimativa da drenagem profunda e ascensão capilar careçam de aprimoramento, os pesquisadores são unânimes em ressaltar a importância desses componentes do balanço hídrico, quer para a determinação da evapotranspiração real das plantas, quer pelo seu efeito direto na drenagem profunda e no transporte vertical de defensivos agrícolas (17, 19).

Apesar dessas limitações, o balanço hídrico vem sendo usado, com sucesso, no estudo da dinâmica da água no sistema solo-planta-atmosfera e, notadamente, na estimativa do fluxo de evapotranspiração das culturas, apresentando precisão aceitável, com a vantagem de que a determinação é feita no campo, com a planta submetida a interferências edafoclimáticas e hídricas reais.

Ante a necessidade do desenvolvimento de tecnologia para a irrigação do milho cultivado em solos de cerrado, empreendeu-se este trabalho, com os seguintes objetivos: a) estabelecer o balanço de água em solo de cerrado cultivado com milho, em condições de irrigação por aspersão; b) determinar o fluxo de evapotranspiração, diariamente, para os estádios de maior consumo de água pela cultura irrigada por aspersão; e c) estabelecer a relação entre o coeficiente de cultura (K_c) e os estádios de crescimento do milho, com irrigação por aspersão.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em Latossolo Vermelho-Escuro Álico, fase relevo suave ondulado cerrado, em área cultivada por mais de duas décadas, no Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo — EMBRAPA, Sete Lagoas, MG.

A cultura utilizada foi o milho (*Zea mays* L.), cultivar Cargill 111-S, semeado manualmente, após o preparo convencional do solo, com um metro entre fileiras e dez sementes por metro de linha, obtendo-se uma população final, após o desbaste, de 50.000 plantas por hectare.

A adubação constou de 250 kg ha⁻¹ da formulação 8-28-16, 10 kg ha⁻¹ de sulfato de zinco, no plantio, e 60 kg ha⁻¹ de nitrogênio, em cobertura, parcelados aos 35 e 45 dias após o plantio.

O experimento constituiu-se de duas parcelas, com dimensão de 12 x 12 m, marcadas dentro de uma área maior, contínua e uniforme, e devidamente separadas por uma bordadura maior que o alcance máximo dos jatos dos aspersores utilizados na irrigação.

Ambas as parcelas foram irrigadas, com um turno de rega de aproximadamente sete dias, até o estádio de pendoamento, a partir do qual uma delas (parcela 2) foi submetida ao déficit hídrico. As lâminas de irrigação foram aplicadas de acordo com a evapotranspiração (ET) ocorrida no período anterior, obtida a partir da evapotranspiração de referência (ET_o), corrigida pelo coeficiente cultural (K_c) mé-

dio do período, segundo DOORENBOS e PRUITT (6). O sistema da irrigação utilizado foi a aspersão convencional, com taxas de aplicação de água inferiores à velocidade de infiltração básica, para evitar escoamento superficial.

Os teores de umidade volumétricos foram obtidos a partir de leituras diárias com hidrossonda de nêutrons, em quatro tubos de acesso de alumínio, instalados em cada uma das duas parcelas, utilizando-se uma equação de calibração estabelecida para a área, segundo BELTRAME e TAYLOR (1). As leituras com a hidrossonda foram feitas de 20 cm até 160 cm de profundidade, com intervalos de 20 cm.

Os potenciais matriciais de água no solo, na faixa de 0 a -1,500 MPa, foram estimados por meio de blocos de resistência elétrica revestidos de gesso, calibrados em laboratório e instalados, de 20 em 20 cm, até a profundidade de 160 cm, com duas repetições em cada parcela. As leituras foram feitas diariamente, e o potencial total de água no solo foi obtido pela soma dos potenciais matricial e gravitacional, tomando como referência a superfície.

A caracterização do perfil do solo foi feita por: a) descrição morfológica do perfil do solo, segundo LEMOS e SANTOS (10); b) análise granulométrica e química dos horizontes do perfil do solo, até a profundidade de 200 cm; c) determinação da densidade de partículas, pelo método do balão volumétrico, da densidade global, pelo método do anel volumétrico, e da porosidade total, baseada nos valores da densidade de partículas e da densidade global, para todos os horizontes; e d) curvas de retenção de água, determinadas para cada horizonte, por dessorção, com amostras não-deformadas, utilizando-se o sistema de membrana e placa porosa (7).

O fluxo de evapotranspiração de referência foi estimado por meio do método desenvolvido por PENMAN (15), utilizando-se um programa de computador, na linguagem BASIC, ajustado por COUTO *et alii* (4). Os dados meteorológicos foram coletados na Estação Climatológica Principal de Sete Lagoas.

De 15 em 15 dias, aproximadamente, foram coletadas as plantas contidas em um metro da linha de plantio, com duas repetições, tomadas aleatoriamente nas proximidades de cada parcela, para determinação da área foliar (usando um medidor LI 3000 e acessório LI 3050A, da LAMBDA) e do peso da matéria seca das diversas partes da planta, visando à comparação com o fluxo de evapotranspiração (q_e) e com o coeficiente de cultura.

A equação que expressa o balanço hídrico, da forma como a apresentam REICHARDT *et alii* (18), é do tipo

$$\int_{t_j}^{t_{j+1}} (c + i - q_e \pm q_z) dt = \int_0^z \int_{t_j}^{t_{j+1}} \left(\frac{\partial \Theta}{\partial t} \right) dt dz \quad \text{eq. 1}$$

em que

- c — fluxo devido à chuva (cm dia^{-1});
- i — fluxo devido à irrigação (cm dia^{-1});
- q_e — fluxo devido à evapotranspiração (cm dia^{-1});
- q_z — fluxo de água no solo na profundidade z (drenagem profunda ou ascensão capilar) (cm dia^{-1});
- Θ — conteúdo volumétrico de água ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$);
- z — coordenada vertical sobre um eixo orientado positivamente para baixo (cm); e
- t — tempo (dia).

Integrando a equação 1, com relação ao tempo e à profundidade, obtém-se a equação mais comumente empregada em estudos de balanço hídrico:

$$C + I - Q_e \pm Q_z = \Delta A_z \quad \text{eq. 2}$$

em que

- C = lâmina de chuva (cm);
- I = lâmina de irrigação (cm);
- Q_e = lâmina de evapotranspiração (cm);
- Q_z = lâmina de drenagem profunda ou de ascensão capilar (cm); e
- ΔA_z = variação do armazenamento de água na camada de solo de profundidade z (cm).

O balanço foi realizado no período de 42 a 115 dias após o plantio (DAP), que engloba os estádios da cultura mais importantes, no aspecto de consumo de água.

A lâmina de chuva (C) foi medida diariamente, por intermédio de um pluviômetro instalado junto ao experimento, e a lâmina de irrigação (I) foi medida por três baterias de coletores, instaladas em clareiras, dentro de cada uma das duas parcelas.

O volume de controle considerado para o balanço correspondia à camada do perfil do solo de área unitária, compreendida entre as coordenadas $z_1 = 0$ cm e $z_2 = 100$ cm, visto que a máxima profundidade efetiva do sistema radicular do milho, nas condições do trabalho, não ultrapassou 100 cm (22).

Para calcular a variação do armazenamento de água no volume de controle, num intervalo de tempo qualquer, $t_{j+1} - t_j$, utilizou-se o membro da direita da equação 1, que, em termos práticos, nada mais é que a área compreendida entre os perfis de unidade nos tempos t_j e t_{j+1} e entre as coordenadas $z_1 = 0$ cm e $z_2 = 100$ cm (Figura 1a).

As lâminas de drenagem profunda ou de ascensão capilar (Q_z) foram estimadas por meio da técnica testada por REICHARDT *et alii* (17), baseada no método proposto por Geisel, Larch e Renger, em 1970.

Conhecida a distribuição do gradiente de potencial total ($\partial\psi/\partial z$) ao longo do perfil do solo durante o intervalo de tempo $t_{j+1} - t_j$, foram estabelecidas as zonas $\partial\psi/\partial z > 0$ e $\partial\psi/\partial z \leq 0$. A transição entre essas duas zonas é um plano de fluxo zero (PFZ), sendo $\partial\psi/\partial z = 0$. As lâminas de drenagem ($-Q_z$) ocorridas num intervalo de tempo qualquer, $t_{j+1} - t_j$, foram obtidas pela integração dos perfis de umidade, de acordo com o membro da direita da equação 1, fazendo-se z_1 igual à profundidade do PFZ e $z_2 = 100$. Da mesma forma, quando a profundidade do PFZ era maior que o limite inferior do volume de controle, a integração dos perfis de umidade no intervalo de tempo $t_{j+1} - t_j$, entre $z_1 = 100$ cm e z_2 igual à profundidade do PFZ, possibilitou a obtenção das lâminas de ascensão capilar ($+Q_z$). As figuras 1b e 1c exemplificam o cálculo das lâminas de drenagem profunda e de ascensão capilar.

Para obter os fluxos médios diários de evapotranspiração da cultura, explicitou-se Q_e na equação 2 e dividiu-se pelo número de dias de cada período estudado.

O fluxo de evapotranspiração da cultura da parcela 1 (q_{e1}), normalmente irrigada, foi comparado com o fluxo de evapotranspiração de referência (ET_0), para a determinação do coeficiente de cultura (K_c), nos diversos períodos estudados.

As informações a respeito da planta, especialmente peso de matéria seca e IAF, foram relacionadas com os valores de K_c , o que possibilitou associá-lo às características fenológicas da cultura.

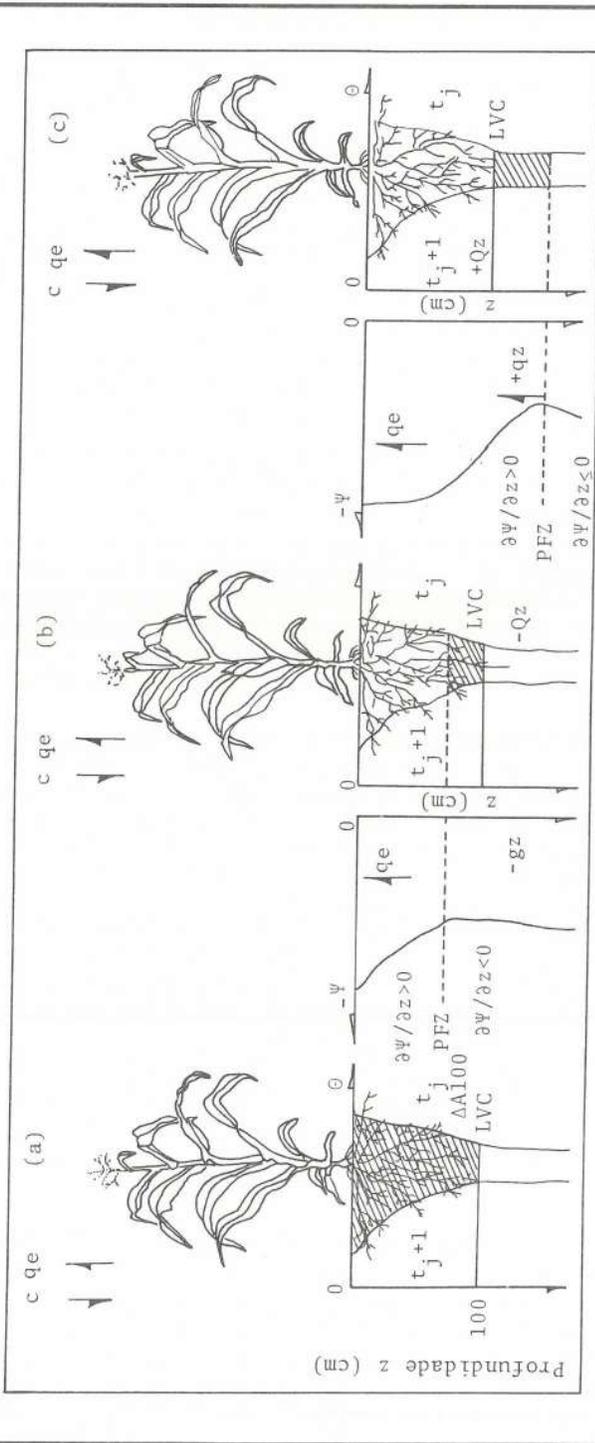


FIGURA 1 - Esquema de determinação da variação do armazenamento (a), da drenagem profunda (b) e da ascensão capilar (c) no volume do controle considerado (LVC).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Características Físico-Hídricas do Solo

Os valores da densidade, de partículas e global, da porosidade total, da composição granulométrica e da porcentagem de argila natural e de matéria orgânica de cinco horizontes do solo estudado encontram-se no Quadro 1.

A porcentagem de argila, de silte e de areia (grossa e fina) nos horizontes do perfil do solo, com exceção dos horizontes A_p e A_3 , ficou dentro dos valores esperados e de acordo com as observações feitas por COSTA *et alii* (3), em área contígua, e por FERNANDES *et alii* (9), em outros locais de cerrado. Nos horizontes A_p e A_3 , a porcentagem de silte aumentou, em detrimento da de argila, provavelmente em decorrência de uma falha na determinação dessa fração, quando se computou argila, agrupada em agregados maiores, como silte.

Os valores da densidade das partículas, em todos os horizontes, ficaram em torno de $2,56 \text{ g cm}^{-3}$, já os da densidade global, com exceção do horizonte A_3 , mantiveram-se abaixo de $1,0 \text{ g cm}^{-3}$ e dos valores observados por COSTA *et alii* (3) e FERNANDES *et alii* (9). O valor mais elevado da densidade global do solo, observado no horizonte A_3 , resultou, provavelmente, do adensamento do solo, decorrente do uso intensivo e prolongado de máquinas e implementos agrícolas.

A despeito das variações verificadas nas propriedades físicas, trata-se de um solo bem homogêneo, o que, de certa forma, facilita o estudo da dinâmica da água em seu interior.

As características de retenção de água do solo podem ser vistas no Quadro 2 e na Figura 2.

Com exceção do horizonte A_3 , na faixa de potencial matricial de 0 a $-1,500 \text{ MPa}$, aproximadamente 58, 70 e 87% da água estavam em equilíbrio com $-0,006$, $-0,010$ e $-0,100 \text{ MPa}$, respectivamente. Se o potencial de $-0,006 \text{ MPa}$ for considerado o limite entre os macro e os microporos, evidencia-se a importância dos poros grandes no equilíbrio da água com potenciais elevados, embora o volume de macroporos corresponda sempre a menos da metade do volume total de poros.

No caso do horizonte A_3 , o adensamento do solo, além de reduzir o volume total de poros, favoreceu o equilíbrio da água com potenciais mais baixos, como consequência do aumento do volume de microporos, em detrimento do de macroporos (Quadro 2 e Figura 2).

Considerando a lâmina de água armazenada no volume de controle (camada de 0 a 100 cm), conforme os potenciais matriciais, observou-se que mais de 63% da lâmina de água em equilíbrio com potenciais de 0 a $-1,500 \text{ MPa}$ estavam submetidos a potenciais acima de $-0,006 \text{ MPa}$ e 72% e 88% a potenciais maiores que $-0,010$ e $-0,100 \text{ MPa}$, respectivamente.

3.2. Balanço de Água no Solo

Observou-se que o plano de fluxo zero (PFZ) variou com o perfil de umidade do solo. Nos dias chuvosos, a tendência do fluxo vertical é ser descendente, de acordo com o PFZ, depois que cessa a chuva, localizado na superfície. À medida que o solo seca, devido à evapotranspiração, o PFZ caminha para baixo. Entretanto, se ocorre uma nova chuva ou se a irrigação é aplicada, o potencial total na superfície aumenta, criando um novo PFZ. Para superar essa dificuldade, considerou-se sempre o PFZ mais baixo, pois, nessa situação, ele representa a profundidade máxima de extração de água pela planta.

QUADRO 1 - Características físico-hídricas e químicas do Latossolo Vermelho-Escuro Álico, fase cerrado. Sete Lagoas, MG, 1986

Horizonte	Profundidade (cm)	Densidade de partículas (g cm ⁻³)	Densidade global I/ total I/ (cm ³ cm ⁻³)	Porosidade total I/ (cm ³ cm ⁻³)	Composição granulométrica				Argila natural orgânica	
					Areia Grossa	Areia fina	Silte	Argila		
A _p	0 - 10	2,56	0,87	0,658	5	3	39	53	8	4,20
A ₃	10 - 26	2,56	1,08	0,579	5	3	24	68	13	3,40
B ₁	26 - 49	2,53	0,95	0,623	5	4	18	73	12	3,09
B ₂₁	49 - 102	2,55	0,89	0,650	5	4	18	73	6	2,41
B ₂₂	102 - 142	2,62	0,85	0,673	5	4	16	75	9	2,28

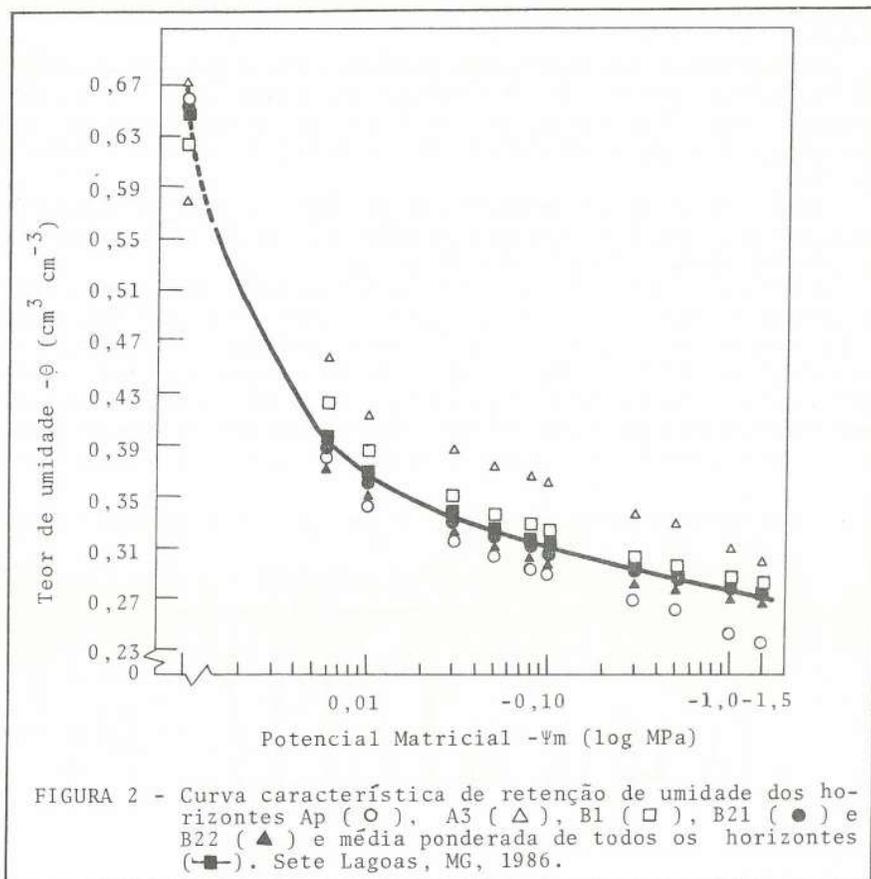
I/ Média de nove repetições.

QUADRO 2 - Teor de umidade em equilíbrio com potenciais matriciais de 0 a -1,500 MPa, volume de macro e microporos e armazenamento de água no volume de controle, para cinco horizontes do Latossolo Vermelho-Escuro Álico, fase cerrado. Sete Lagoas, MG, 1986

Potencial matricial (MPa)	Horizontes					Média ponderada	Al00 2/ (mm)	Al00 2/ (%)
	A _p	A ₃	B ₁ Profundidade 26-49 (cm ³ cm ⁻³) 1/	B ₂₁ Z (cm) 49-102	B ₂₂ 102-142			
0	0,6580	0,5790	0,6236	0,6505	0,6739	0,6452	633,62	0
-0,006	0,3795	0,4559	0,4230	0,3868	0,3743	0,3964	405,46	63,43
-0,010	0,3465	0,4132	0,3851	0,3590	0,3527	0,3667	372,43	72,62
-0,030	0,3183	0,3874	0,3506	0,3295	0,3220	0,3365	342,50	80,94
-0,050	0,3045	0,3740	0,3356	0,3168	0,3119	0,3240	329,05	84,68
-0,080	0,2953	0,3665	0,3281	0,3105	0,3028	0,3164	321,99	86,64
-0,100	0,2895	0,3614	0,3227	0,3056	0,2990	0,3117	316,85	88,07
-0,300	0,2673	0,3359	0,3012	0,2902	0,2829	0,2935	297,75	93,38
-0,500	0,2609	0,3282	0,2925	0,2841	0,2781	0,2871	290,77	95,32
-1,000	0,2426	0,3075	0,2841	0,2763	0,2702	0,2770	279,72	98,39
-1,500	0,2359	0,2981	0,2782	0,2723	0,2658	0,2716	273,94	100,00
MACROPOROS	0,2784	0,4251	0,2006	0,2637	0,2996	-	-	-
MICROPOROS	0,3796	0,4559	0,4230	0,5868	0,3743	-	-	-

1/ - Média de nove repetições

2/ - Lâmina de água armazenada no volume de controle.



A posição do PFZ variou de 10 a 120 cm, abaixo da superfície do solo, na parcela 1, e de 10 a 160 cm, na parcela 2, comprovando a contribuição das camadas inferiores do solo no processo de evapotranspiração. Especificamente, na parcela 2, que foi submetida a déficit hídrico a partir do florescimento, a contribuição atingiu até a profundidade de 160 cm. Como a maior parte do sistema radicular está concentrada nos primeiros 45 cm do perfil do solo (22), a contribuição das camadas inferiores deve ocorrer na forma de fluxos de ascensão capilar.

As lâminas diárias de drenagem profunda e ascensão capilar foram agrupadas em períodos maiores e, juntamente com as lâminas de chuva, de irrigação e de variação do armazenamento, permitiram o cálculo das lâminas de evapotranspiração, mediante o uso da equação 2. Os resultados encontram-se nas Figuras 3a e 3b.

O PFZ permaneceu acima do contorno inferior do volume de controle até 81 DAP, caracterizando um período de ocorrência de drenagem profunda nas duas parcelas (Figura 3b). No período de 42 a 60 DAP, tais perdas representaram 67% e 58% do total das perdas (drenagem e evapotranspiração), nas parcelas 1 e 2, respectivamente. Os fluxos de drenagem profunda atingiram um valor médio de até 4 mm dia^{-1} nesse período, valor idêntico ao encontrado por VAN BAVEL *et alii*

(21), nos primeiros quatro dias após a irrigação, numa parcela cultivada com sorgo.

Embora tenham ocorrido irrigações pesadas no período de 60 a 84 DAP (Figura 3a), as perdas, por drenagem, nas parcelas 1 e 2, reduziram-se para 23% e 14%, respectivamente. Essa redução resultou do aumento da extração de água, em decorrência do maior desenvolvimento do sistema radicular e da parte aérea da planta.

As elevadas perdas por drenagem profunda observadas anteriormente confirmam a importância desse componente do balanço de água no solo na evapotranspiração e na lixiviação de nutrientes e herbicidas.

A partir de 82 DAP a posição do PFZ passou para baixo do contorno inferior do volume de controle, dando início a um período em que se verificaram fluxos de ascensão capilar em ambas as parcelas (Figura 3b). Notadamente na parcela 2, no período de 84 a 108 DAP, o fluxo de ascensão capilar contribuiu com 22% da evapotranspiração. No período de 108 a 115 DAP, não só contribuiu para o fluxo de evapotranspiração, como também para o acréscimo do armazenamento de água no volume de controle. Embora a condutividade hidráulica desse solo caia violentamente,

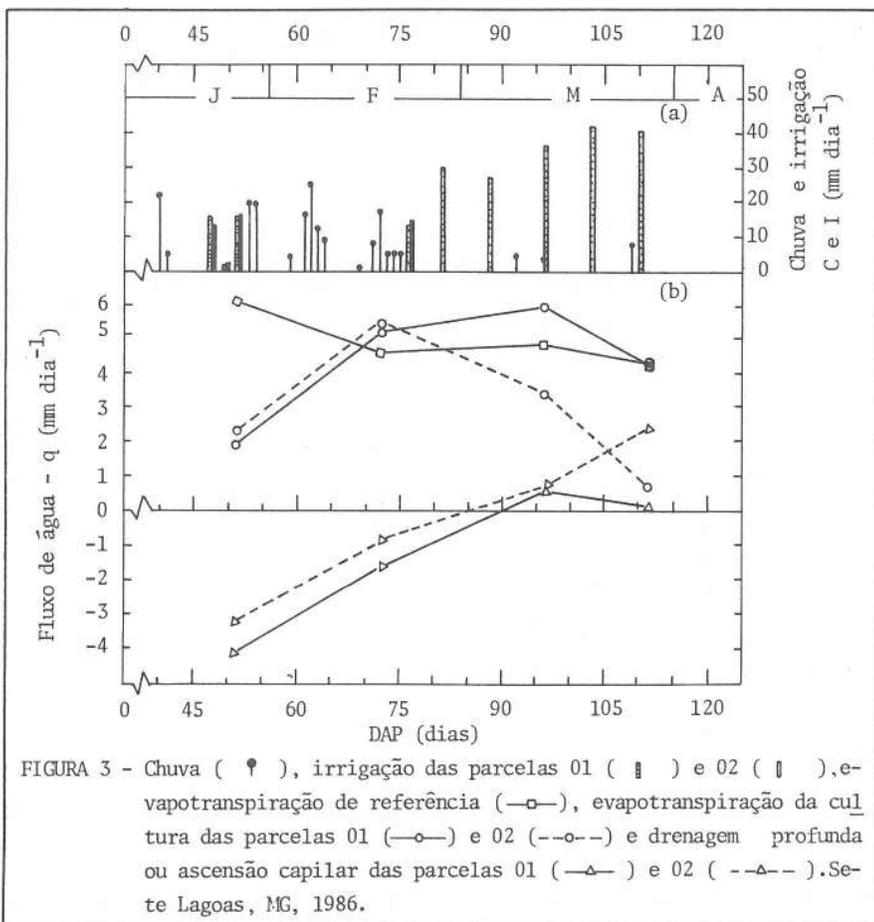


FIGURA 3 - Chuva (\uparrow), irrigação das parcelas 01 (\square) e 02 (\square), evapotranspiração de referência (—○—), evapotranspiração da cultura das parcelas 01 (—○—) e 02 (—○—) e drenagem profunda ou ascensão capilar das parcelas 01 (—△—) e 02 (—△—). Sete Lagoas, MG, 1986.

tamente com o decréscimo do teor de umidade (3), os gradientes de potencial total, desenvolvidos entre as diversas camadas do solo, foram suficientes para manter fluxos ascendentes relativamente elevados na parcela 2. Valores de até 2,4 mm dia⁻¹ foram detectados após o longo período de déficit hídrico subsequente ao período chuvoso de dezembro, janeiro e fevereiro (Figura 3a). A contribuição desses fluxos não deve ser desprezada em balanços hídricos, visando à estimativa da evapotranspiração, nem na determinação do limite inferior de água disponível no campo.

O fluxo de evapotranspiração de referência (ET₀), estimado por meio da equação de PENMAN (15), variou de aproximadamente 6,0 mm dia⁻¹, em janeiro, até em torno de 4,5 mm dia⁻¹, nos meses seguintes (Figura 3b).

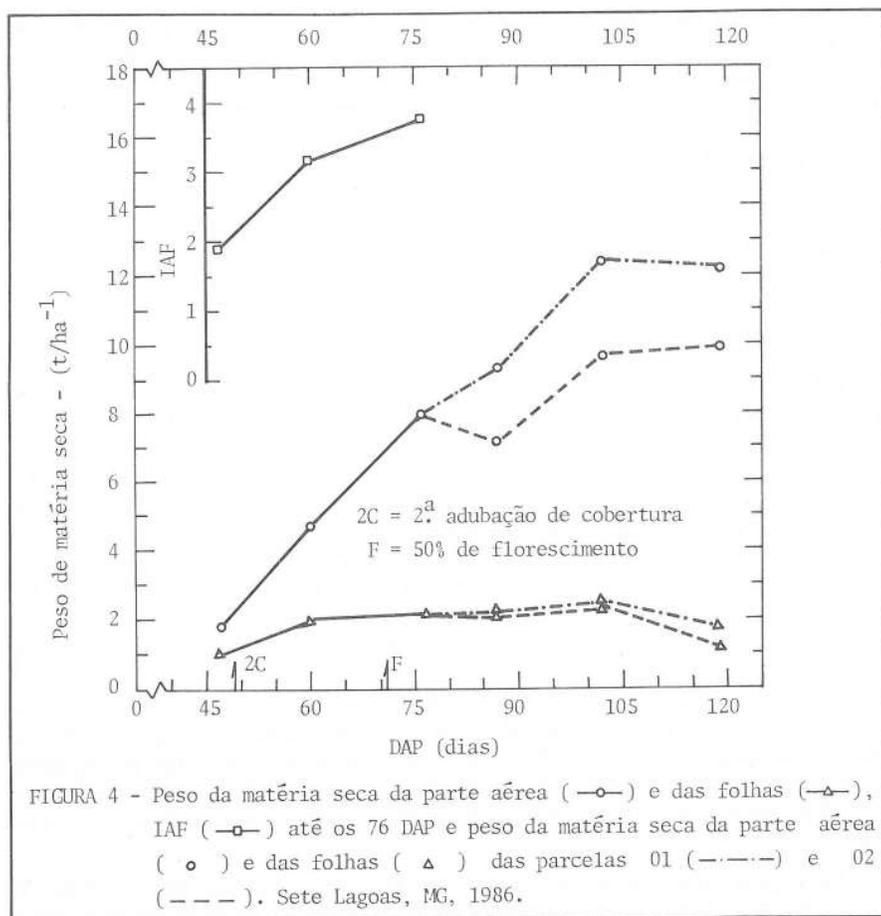
Os fluxos de evapotranspiração da cultura, nas parcelas 1 e 2, foram praticamente iguais até o florescimento da cultura, que ocorreu por volta de 75 DAP (Figura 3b). Nesse período, os tratamentos de irrigação nas duas parcelas eram iguais e a pequena diferença verificada no fluxo de evapotranspiração resultou da diferença no fluxo de drenagem e no armazenamento de água no solo. Como esses dois componentes foram obtidos a partir de dados de umidade, possivelmente essas diferenças derivaram da variabilidade espacial do solo, no que se refere às suas propriedades físicas. Mesmo nos solos considerados homogêneos, com a utilização de hidrossonda de nêutrons para estimar a umidade, foi observada variabilidade nas características de transmissão de água, com implicações no balanço hídrico do solo.

Na parcela 1, normalmente, o fluxo de evapotranspiração da cultura estava em torno de 2,0 mm dia⁻¹ por volta dos 50 DAP, aumentando para 5,2 mm dia⁻¹ aos 72 DAP e atingindo um valor máximo de 6,0 mm dia⁻¹ aos 96 DAP, decrescendo, em seguida, para 4,2 mm dia⁻¹ aos 111 DAP (Figura 3b). O aumento do fluxo de evapotranspiração da cultura, sem limitação de água, ao longo do seu ciclo, com posterior decréscimo no início do período de senescência, está relacionado principalmente com o desenvolvimento da parte aérea, especificamente com o índice de área foliar (IAF).

Na Figura 4 pode-se verificar o aumento do peso da matéria seca das folhas e da parte aérea, com o consequente aumento do IAF, a partir de 45 DAP. A partir de 75 DAP, a cultura atingiu seu pico de desenvolvimento vegetativo, praticamente não se verificando aumento no peso da matéria seca das folhas, o que coincidiu com o pico do fluxo de evapotranspiração. Por outro lado, aos 110-120 DAP, na parcela 1, ocorreu um ligeiro decréscimo no peso da matéria seca das folhas, como resultado do início do período de senescência da planta, refletindo-se também na redução do fluxo de evapotranspiração (Figura 3b).

Na parcela 2, cuja irrigação foi suspensa aos 76 DAP, embora o fluxo de evapotranspiração de referência tenha permanecido constante, a planta experimentou uma redução rápida no seu fluxo de evapotranspiração, como consequência do decréscimo da disponibilidade de água (Figuras 3a e 3b). Nessa fase de decréscimo, o fluxo de evapotranspiração da cultura torna-se praticamente independente da demanda de evapotranspiração e aparentemente dependente da densidade de raízes, das características fisiológicas da cultura e das características físico-hídricas do solo.

O fluxo de evapotranspiração da cultura, na parcela 2, passou de um valor máximo de 5,49 mm dia⁻¹, aos 72 DAP, para praticamente zero, por volta de 112 DAP, causando uma redução de 25% no rendimento de grãos, em relação à parcela 1, embora durante esse período tenham ocorrido chuvas leves e fluxos de ascensão capilar, que podem ter reduzido o efeito de estresse hídrico prolongado.



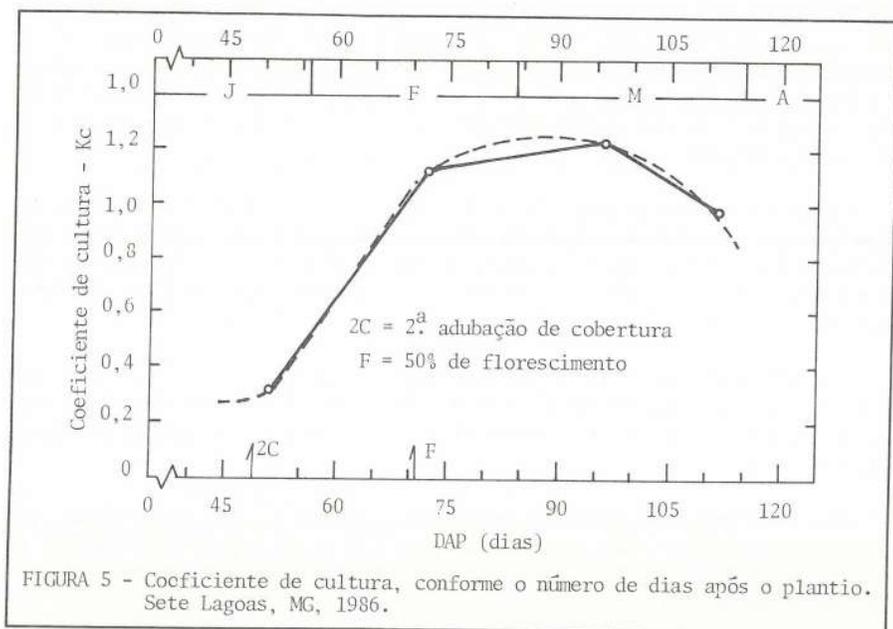
3.3. Coeficiente de Cultura — K_c

Os valores do coeficiente de cultura (K_c) foram plotados, conforme a Figura 5, de acordo com o número de dias após o plantio (DAP).

O valor médio do coeficiente de cultura foi de 0,32 no período de 42 a 60 DAP, aumentando bruscamente para 1,13 no período de 60 a 84 DAP e atingindo um valor máximo de 1,23 no período de 84 a 108 DAP, decrescendo para 0,98 no período de 108 a 115 DAP. No período de 42 a 60 DAP o valor de K_c esteve abaixo do esperado, que seria mais próximo de 1,0, pois nesse período a planta encontrava-se em franco crescimento, com o IAF ultrapassando 3,0 aos 60 DAP (Figura 4). A evapotranspiração do milho atinge o valor máximo quando a planta se encontra em cobertura total, o que ocorre quando o IAF alcança valores entre 2,0 e 3,0.

Nos períodos de 60 a 84 e de 84 a 108 DAP, registraram-se aumentos acentuados nos valores de K_c (Figura 5), decorrentes do aumento da área foliar (Figura 4) e, conseqüentemente, do consumo de água pela planta (Figura 3b).

O valor médio máximo de 1,2, para o K_c , ocorreu no período de 84 a 108 DAP, muito próximo dos valores encontrados por ESPINOZA (8), na época das secas, e por MATZENAUER *et alii* (11), no verão, embora a época de ocorrência do pico,



observada por esses pesquisadores, tenha sido antecipada algumas semanas.

Após ter atingido o valor máximo, durante a fase de maturação, o K_C diminuiu 0,98 no período de 108 a 115 DAP, prenunciando a redução do consumo de água (Figura 3b) e da atividade fotossintética (Figura 4), que ocorre no final do ciclo da cultura (11).

4. RESUMO

Determinaram-se os componentes do balanço de água num Latossolo Vermelho-Escuro Álico, fase cerrado, cultivado com milho (*Zea mays* L.), com irrigação por aspersão. Foi utilizada uma hidrossonda de nêutrons para determinar os perfis de umidade, que, juntamente com os perfis de potencial total de água no solo, possibilitaram a separação dos fluxos de drenagem profunda (ou de ascensão capilar) e de evapotranspiração da cultura. Este último foi comparado com o fluxo de evapotranspiração de referência, visando ao estabelecimento dos coeficientes de cultura para os principais estádios de crescimento da planta.

Pela análise dos resultados, conclui-se que:

1) a técnica de separação dos fluxos de evapotranspiração e de drenagem profunda, utilizando-se perfis de umidade e de potencial total de água no solo, mostrou-se confiável nos períodos de déficit hídricos definidos, falhando, porém, nos períodos chuvosos, quando ocorrem aumentos no armazenamento de água no solo;

2) embora o sistema radicular do milho, nas condições estudadas, estivesse concentrado nas camadas superficiais do perfil do solo, o movimento ascendente da água contribuiu significativamente para o suprimento da planta, principalmente depois de um período prolongado de estresse;

3) a perda de água por drenagem profunda atingiu o valor de 67% do total de perdas de água (drenagem e evapotranspiração) por volta dos 60 dias após o plantio, decrescendo em seguida para 23%, como consequência do desenvolvimento do sistema radicular e da parte aérea da planta, o que comprova o caráter dinâmico da água no sistema solo-planta-atmosfera e a importância desse componente no balanço de água no solo;

4) o fluxo de evapotranspiração médio da cultura, sem limitação hídrica, foi de 1,94 mm dia⁻¹ no período de 42 a 60 dias após o plantio (DAP), aumentando rapidamente para 5,19 mm dia⁻¹ no período de 60 a 84 DAP e atingindo o máximo de 5,96 mm dia⁻¹ no período de 84 a 108 DAP, decrescendo em seguida para 4,25 mm dia⁻¹ no período de 108 a 115 DAP;

5) a redução, no fluxo de evapotranspiração da cultura, de um valor médio de 5,49 mm dia⁻¹ para praticamente zero, em decorrência do déficit hídrico, causou um decréscimo de 25% no rendimento de grãos, em relação à produção sem limitação hídrica;

6) o valor médio do coeficiente de cultura (K_c) foi de 0,32 no período de 42 a 60 dias após o plantio (DAP), aumentando para 1,13 no período de 60 a 84 DAP e atingindo o máximo de 1,23 no período de 84 a 108 DAP, decrescendo para 0,98 no período de 108 a 115 DAP.

5. SUMMARY

(WATER BALANCE IN A DARK RED LATOSOL PLANTED WITH CORN (*Zea mays* L.) AND IRRIGATED WITH SPRINKLERS)

The water balance components were determined for «cerrado» soil planted with corn (*Zea mays* L.) under sprinkler irrigation conditions. A neutron probe was used to determine the soil moisture profile, which was then used, in association with soil water potential, to estimate deep percolation and evapotranspiration fluxes.

The method used to estimate deep percolation and evapotranspiration fluxes proved to be reliable for soil water stress condition and unreliable for rainy day condition, when water storage increased in the soil profile.

The upward movement of soil water was the major source of water supply for corn growth, mainly after a shortage of water in the soil profile. Deep percolation represented up to 67% of total water loss (through drainage and evapotranspiration). The averages for evapotranspiration fluxes, with no water stress condition, were: 1.94 mm day⁻¹, for 42 through 60 days after planting; increasing to 5.19 mm day⁻¹, during 60 through 84 days after planting; reaching a maximum of 5.96 mm day⁻¹, during 84 through 108 days after planting; and decreasing to 4.25 mm day⁻¹, during 108 through 115 days after planting.

6. LITERATURA CITADA

1. BELTRAME, L. & TAYLOR, J.C. Uso da sonda de nêutrons para determinação da umidade do solo no campo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 4:57-61. 1980.
2. BRUNINI, O.; GROHMANN, F. & SANTOS, J.M. dos. Balanço hídrico em con-

dições de campo para dois cultivares de arroz sob duas densidades de plantio. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 5:1-6. 1981.

3. COSTA, E.P. da; COUTO, L. & AVELAR, B.C. *Infiltração e redistribuição de água em um Latossolo Vermelho-Escuro distrófico, fase cerrado, no campo*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 18, Salvador, Anais 1981. Salvador, s.ed., 1981. np.
4. COUTO, L.; COSTA, E.F. da; SANS, L.M.A. & LEÃO, A.A. Estimativa da evapotranspiração de referência pelo método de Penman, utilizando programa de computador na linguagem BASIC. *Série Documento EMBRAPA*. (no prelo).
5. DAVIDSON, J.M.; STONE, L.R.; NIELSEN, D.R. & LARUE, M.E. Field measurement and use of soil-water properties. *Water Resources Research*, 5: 1312-1321. 1969.
6. DOORENBOS, J. & FRUITT, W.O. *Guidelines for predicting crop water requirements*. Rome, Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1977. 144 p. (FAO Irrigation and Drainage Paper, 24).
7. EMBRAPA. Serviço nacional de levantamento e classificação de solos. *Manual de métodos de análise de solo*. Rio de Janeiro, 1979. n.p.
8. ESPINOZA, W. Resposta de doze cultivares de milho ao déficit hídrico. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 17:905-915. 1982.
9. FERNANDES, B., RESENDE, M. & REZENDE, S.B. de. Caracterização de alguns solos sob cerrado e disponibilidade de água para culturas. *Experientiae*, 24:209-260. 1978.
10. LEMOS, R.C. & SANTOS, R.D. *Manual de métodos de trabalho de campo*. Rio de Janeiro, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1976. 36 p.
11. MATZENAUER, R.; WESTPHALEN, S.L. & BERGAMASCHI, H. Relações entre a evapotranspiração do milho e as fórmulas de Penman e Thornthwaite. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 18:1207-1214. 1983.
12. MILLER, D.E. & AARSTAD, J.S. Available water as related to evapotranspiration rates and deep drainage. *Soil Science Society America Proceedings*, 35:131-134. 1971.
13. MILLER, D.E. & AARSTAD, J.S. Estimating deep drainage between irrigations. *Soil Science Society America Proceedings*, 36:124-127. 1972.
14. NIELSEN, D.R.; BIGGAR, J.W. & ERH, K.T. Spatial variability of field-measured soil-water properties. *Hilgardia*, 42:214-259. 1973.
15. PENMAN, H.L. Natural evapotranspiration from open water, bare soil and grass. *Proc. Roy. Soc. London A.*, 193:120-146, 1948.
16. REICHARDT, K. *Determinação da condutividade hidráulica em condições de campo para a estimativa da drenagem profunda em balanços hídricos*. Piraci-

- caba, Centro de Energia Nuclear na Agricultura, USP-CNEN, 1974. 12 p. (Boletim Científico, 15).
17. REICHARDT, K.; LIBARDI, P.L. & SANTOS, J.M. dos. *An analysis of soil-water movement in the field: II. Water balance in a snap bean crop*. Piracicaba, Centro de Energia Nuclear na Agricultura. 1974. 19 p. (Boletim Científico, 22).
 18. REICHARDT, K.; LIBARDI, P.L.; SAUNDERS, L.C.U. & CADIMA, Z. Dinâmica da água em solo cultivado com milho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 3:1-5. 1979.
 19. STONE, L.R.; HORTON, M.L. & OLSON, T.C. Water lose from an irrigated sorghum field: I. Water flux within and below the root zone. *Agronomy Journal*, 65:492-495. 1973.
 20. VAN BAVEL, C.H.M.; STIRK, G.B. & BRUST, K.J. Hydraulic properties of a clay loam soil and the field measurement of water uptake by roots: I. Interpretation of water content and pressure profiles. *Soil Science Society America Proceedings*, 32:310-317. 1968.
 21. VAN BAVEL, C.H.M.; BRUST, K.J. & STIRK, G.B. Hydraulic properties of a clay loam soil and the field measurement of water uptake by roots: II. The water balance of the root zone. *Soil Science Society America Proceedings*, 32: 317-321. 1968.
 22. VASCONCELLOS, C.A.; SANS, L.M.A. & PACHECO, E.B. Influência da rotação de culturas no sistema radicular do milho e em algumas características químicas de um Latossolo Vermelho-Escuro distrófico da região de Sete Lagoas. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 16, Belo Horizonte, 1986. *Resumos ... Sete Lagoas, EMBRAPA/CNPMS*, 1986. p. 99-100.
 23. WILCOX, J.C. Rate of soil drainage following an irrigation: II. Effects on determination of rate of consumptive use. *Canadian Journal of Soil Science*, 40:15-27. 1960.