

COMPORTAMENTO DE DUAS VARIEDADES DE FEJJOEIRO SOB DOIS REGIMES DE DISPONIBILIDADE HÍDRICA NO SOLO.

I. EXTRAÇÃO DE ÁGUA DO SOLO E EVAPOTRANSPIRAÇÃO¹

HAMILTON JUSTINO VIEIRA², PAULO LEONEL LIBARDI³, HOMERO BERGAMASCHI⁴
e LUIZ ROBERTO ANGELOCCI⁵

RESUMO - Objetivando estudar o comportamento de duas variedades de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) com relação à extração da água do solo e à evapotranspiração real, frente a um déficit hídrico no campo, instalou-se um experimento em área da ESALQ/USP (latitude 22°70' sul, longitude 47°63' oeste e altitude de 586 metros). Quando a primeira época encontrava-se no início de formação de grãos, a segunda no início de formação de vagens e a terceira no início de formação de gemas florais, suspendeu-se a irrigação por dezessete dias em uma das repetições. Durante todo o ciclo da cultura foram estimados o consumo e a extração de água pelo método tensiométrico, e no fotoperíodo acompanharam-se as variações do potencial da água no solo, nas profundidades de 15; 30; 45; 60 e 75 cm. Calculou-se, também, a fração de água disponível (FAD). O consumo de água da variedade Aroana 80 variou de 286,9 mm a 320,8 mm e de 341,7 mm a 467,2 mm para os tratamentos com e sem interrupção da irrigação, respectivamente. Para a variedade Aeté 3, esta variação foi de 291,3 mm a 307,1 mm no tratamento com a interrupção da irrigação. A FAD atingiu valores em torno de 0,40. Nos tratamentos sem deficiência hídrica estes valores variaram de 0,52 a 0,60.

Termos para indexação: *Phaseolus vulgaris*, déficit hídrico, consumo de água, tensiometria.

BEHAVIOR OF TWO BEAN VARIETIES UNDER TWO DIFFERENT SOIL WATER AVAILABILITY CONDITIONS.

I. WATER UPTAKE AND EVAPOTRANSPIRATION

ABSTRACT - This study aimed at testing different responses of two bean varieties (*Phaseolus vulgaris* L.), Aroana 80 and Aeté 3, in relation to water uptake and actual evapotranspiration over a period of soil water deficit. The trial was conducted at the Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (ESALQ/USP), Brazil, at a 22°70'S latitude, 47°63'W longitude and at an altitude of 586 m. Three different sowing times (15 day interval) were used. When plants of the first sowing time were at the initiation of grain formation stage, the second at the initiation of pod formation stage and the third at the initiation of bud formation stage, spray irrigation was interrupted for 17 days, in one of the replicates. During all crop cycle, water uptake by plants and water matric potential at soil depths of 15, 30, 45, 60 and 75 cm were measured daily by tensiometers. Available soil water fractions were also calculated. The water consumption for the variety Aroana 80 ranged from 286.9 mm to 320.8 mm and from 341.7 mm to 467.2 mm for the treatments with and without irrigation interruption, respectively. For the Aeté 3 variety, the water consumption ranged from 291.3 mm to 307.1 mm with irrigation interruption. Available soil water fraction values were approximately 0.40, during nonirrigation period. With irrigation these values ranged from 0.52 to 0.60.

Index terms: *Phaseolus vulgaris*, water deficit, water consumption, tensiometry.

INTRODUÇÃO

O Brasil tem posição de destaque na produção de feijão, contribuindo com mais de 20% da área total plantada no mundo. Enquanto outros grandes produtores mundiais, como Índia, México e Estados Unidos tiveram um aumento no rendimento no período de 1980-83, comparado ao triênio 1969-71, o Brasil mostrou, naquele período um decréscimo acentuado no rendimento (Instituto de Economia Agrícola 1983).

¹ Aceito para publicação em 28 de setembro de 1987. Parte da dissertação de Mestrado do primeiro autor, ESALQ/USP, Piracicaba, julho/84.

² Eng. - Agr., M.Sc., Empresa Cataninense de Pesquisa Agropecuária S.A. (EMPASC), Caixa Postal 1460, CEP 88001 Florianópolis, SC.

³ Eng. - Agr., Livre-Docente, Prof., Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (ESALQ/USP), CEP 13400 Piracicaba, SP. Bolsista do CNPq.

⁴ Eng. - Agr., Dr., Prof. - Adjunto, Fac. de Agron. da UFRGS, CEP 90001 Porto Alegre, RS. Bolsista do CNPq.

⁵ Eng. - Agr., Dr., Prof., ESALQ/USP. Bolsista do CNPq.

A situação de baixo rendimento e de sua diminuição no País é provocada por vários fatores, entre eles o uso inadequado de variedades em relação às condições edafoclimáticas das regiões produtoras, as doenças e as oscilações meteorológicas. Neste último caso, verifica-se que as variações de disponibilidade hídrica contribuem de maneira significativa para a redução do rendimento, dado o aparecimento de deficiência hídrica.

O impedimento ou a amenização dos efeitos dos períodos de deficiência hídrica sobre o rendimento final das culturas somente é possível conhecendo-se as características edafoclimáticas da região de cultivo, as respostas das cultivares quanto ao desenvolvimento, e a variação da disponibilidade hídrica no solo. Em vista disso, foi realizado um trabalho experimental no qual foi estudado o comportamento de duas variedades de feijoeiro, submetidas a períodos de deficiência hídrica em diferentes estádios de crescimento, com base em parâmetros hídricos no solo e na planta, bem como de crescimento vegetativo, tendo em vista detectar possíveis diferenças de respostas ao estresse hídrico entre ambas, quanto aos caracteres estudados. No presente trabalho, primeiro de uma série, serão discutidos os dados de extração de água do solo e de evapotranspiração obtidos nas condições edafoclimáticas do experimento.

MATERIAL E MÉTODOS

Local e condições edafoclimáticas

O experimento foi conduzido na área experimental do Departamento de Física e Meteorologia da ESALQ/USP, localizada em latitude de 22°7' Sul, em longitude 47°6' Oeste e altitude de 586 metros, no município de Piracicaba, SP.

O clima desta região é do tipo mesotérmico (Cwe-subtropical úmido com estiagem no inverno). A temperatura do mês mais frio é inferior a 18,0°C, e a do mês mais quente é superior a 22°C. Este tipo, segundo Camargo et al. (1974), é denominado de "tropical de altitude".

A área em que foi instalado o experimento possui o solo descrito e classificado, segundo Ranzani et al. (1966), como pertencente à série "Luiz de Queiróz", terra roxa estruturada, tendo como material de origem rochas eruptivas básicas. De acordo com a classificação americana (Estados Unidos 1975), é um Oxíc Paleodalf.

Variedades e tratamentos

Foram utilizadas duas variedades de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.), ambas de crescimento indeterminado do tipo II, segundo classificação do Centro Internacional de Agricultura Tropical (s.d.): uma, a "Aroana 80", que, em média, tem o início do florescimento aos 35-40 dias após a emergência, e duração do período de desenvolvimento (emergência-maturação fisiológica) é, em média, de 90 a 100 dias (Instituto Agronômico de Campinas 1982); e a outra, a "Aeté 3", que tem o início do florescimento aos 30-35 dias após a emergência, e duração do período de desenvolvimento (emergência-maturação fisiológica) de 90 a 95 dias (Instituto Agronômico de Campinas 1982).

Foram realizados dois tratamentos relativos à disponibilidade hídrica no solo, os quais representaram as parcelas; no primeiro, a cultura foi mantida em condições de disponibilidade hídrica no solo de tal modo que era irrigada por sistema de aspersão sempre que o potencial matricial da água no solo a 15 cm de profundidade atingiu valores em torno de 0,05 MPa; no segundo, com suspensão da irrigação durante 17 dias, a partir de 25 de setembro. Dentro de cada parcela, a cultura foi semeada em três datas (07.07.83; 22.07.83; 04.08.83), correspondentes às subparcelas, cada uma com dimensões de 30 m x 20 m, de modo que na época da suspensão da irrigação, as culturas plantadas na primeira data encontravam-se no estágio de pré-maturação fisiológica; as plantadas na segunda data, no estágio da formação de vagens, e as na terceira data, no estágio de florescimento.

Medidas de água do solo e de evapotranspiração

Os valores de evapotranspiração máxima e de evapotranspiração real foram estimados com base na determinação do balanço hídrico no solo, em cada subparcela, até a profundidade de 67,5 cm, que serviu também para caracterizar o movimento de água no solo.

Na determinação do balanço hídrico, utilizou-se a expressão do balanço de massa para um intervalo de tempo $t_2 - t_1$ (t_2 - tempo final do período; t_1 - tempo no início do período), numa camada do solo até uma profundidade de z cm.

$$\int_{t_1}^{t_2} p dt + \int_{t_1}^{t_2} i dt - \int_{t_1}^{t_2} e dt - \int_{t_1}^{t_2} q dt - \int_0^z \left(\frac{\partial \theta}{\partial z} \right) dt dz \quad (1)$$

Sendo:

p = intensidade da precipitação pluvial

i = intensidade de irrigação

e = intensidade de evapotranspiração

q = intensidade de percolação profunda (sinal negativo) ou de ascensão capilar (sinal positivo) na profundidade "Z"

r = intensidade do deflúvio superficial
 θ = umidade do solo com base em volume.

Os dados de precipitação pluvial foram obtidos através de pluviógrafo instalado em estação meteorológica, a 100 m de distância do local do experimento, e a intensidade de irrigação, por amostragem da água adicionada por aspersão, em pontos tomados ao acaso junto ao conjunto de tensiômetros em cada tratamento, sendo duas amostragens por dose de irrigação, por tratamento.

O termo de flúvio superficial foi desprezado, pois as condições locais de declividade do terreno assim o permitiram.

A obtenção do termo variação de armazenamento de água no solo (ΔA), no volume de solo considerado, dado pela integral dupla na equação (1), foi feita por integração dos valores do conteúdo de água nos 67,5 cm superiores do perfil do solo. A umidade, em cada camada do perfil, foi determinada com base em curvas médias de retenção de umidade no solo elaboradas para as profundidades 0-15, 15-30, 30-45, 45-60 e 60-75 cm, sendo os valores de potenciais matriciais obtidos com auxílio de tensiômetros instalados nas profundidades-limites das camadas, para potenciais matriciais de até -0,08 MPa, sendo que para valores inferiores à relação entre umidade e potencial matricial da água no solo foi obtida em câmara de pressão de Richards.

O termo (D) foi estimado com base na equação geral, que descreve o fluxo de água em um perfil de solo:

$$q = K(\theta) \left| \frac{\partial H}{\partial z} \right|_z \quad (2)$$

onde: $\left| \frac{\partial H}{\partial z} \right|_z$

é o gradiente de potencial da água operando através do plano "z";

$K(\theta)$ é a condutividade hidráulica do solo, em função da umidade com base em volume (θ);

e q é a densidade de fluxo de água, já comentada anteriormente.

A condutividade hidráulica do solo foi determinada no local do experimento, pelo método proposto por Libardi et al. (1980), sendo que para o solo em questão apresentou-se a seguinte expressão que a relaciona à umidade do solo θ :

$$K(\theta) = 0,188 \cdot e^{272,590(\theta - 0,367)}$$

O quociente da diferença entre os potenciais hidráulicos nas profundidades de 60 cm a 75 cm pela distância entre as duas profundidades foi considerado como o gra-

diente do potencial de água no plano a 67,5 cm de profundidade.

Para o cálculo da evapotranspiração de referência utilizou-se a equação proposta por Penman (1948):

$$ET_p = \frac{\Delta}{\Delta + \delta} \cdot H + \frac{\delta}{\Delta + \delta} \cdot E_c \quad (3)$$

ET_p = Evapotranspiração máxima (mm);

Δ = tangente à curva de pressão de saturação de vapor

D'água;

δ = constante psicrométrica ($mm \cdot ^\circ C^{-1}$);

H = radiação líquida disponível ao sistema;

E_c = termo aerodinâmico.

Para a determinação diária da energia líquida disponível (H), utilizou-se a equação $H = 9,51 + 0,617 RG$ obtida através de regressão linear simples entre a radiação global (RG), medida através de um piranômetro Eppley tipo branco-e-preto, com dez junções, e a radiação líquida, obtida pelo balanço de energia radiante determinado na própria cultura em estádio de máximo desenvolvimento e sem restrição hídrica. Esta relação foi determinada através de 15 pares de dados ($RG \times H$), obtendo-se um coeficiente de determinação de $r = 0,982$.

Na determinação do balanço de energia, utilizou-se saldo-radiômetro marca MIDDLETON, não ventilado, com constante de 28,173 mV/cal. $cm^{-2} \cdot min^{-1}$. Para a obtenção do fluxo de calor no solo, utilizaram-se dois fluxímetros em série, marca MIDDLETON, com constantes de 16,55 e 17,05 mV $cal^{-1} \cdot cm^{-2} \cdot min^{-1}$ para cada uma delas.

Os sinais elétricos destes equipamentos foram medidos com um potenciômetro fabricado pela Cambridge Instrument Company Limited, com sensibilidade de até 0,01 mV.

Na determinação diária do termo aerodinâmico (E_c), foi utilizada a equação:

$$E_c = (0,35 + 0,184 u) \cdot (e_s - e_a)$$

onde:

u = velocidade do vento a 2 m acima da superfície evaporante ($m \cdot s^{-1}$).

$e_s - e_a$ = déficit de saturação de vapor d'água do ar (mmHg).

Para o cálculo da fração da capacidade de água disponível no solo (FAD), utilizou-se a expressão:

$$FAD = \frac{\theta - \theta_{PMP}}{\theta_{cc} - \theta_{PMP}}$$

onde:

θ_{cc} = umidade do solo em base volumétrica quando em capacidade de campo.

θ_{PMP} = umidade do solo em base volumétrica quando em "ponto de murcha permanente".

θ = umidade observada do solo em base volumétrica.

O valor de θ_{cc} foi estimado através da curva representativa da variação do teor de umidade (θ) em função do tempo, obtida após o solo ter sido saturado e coberto com plástico para evitar a evaporação. Quando os valores de θ apresentaram pequena variação no tempo, da ordem de $0,05 \text{ cm}^3 \text{ H}_2\text{O}/\text{cm}^3 \text{ solo}/\text{dia}$, caracterizou-se esta umidade como sendo a da capacidade de campo.

Os valores de θ_{PMP} nas diferentes profundidades foram adotados com base nas curvas características de água e solo, obtidas com três amostras indeformadas a cada profundidade, considerando-se um potencial matricial de 1,5 MPa.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Varição da fração da capacidade de água disponível no solo

A Fig. 1 mostra a variação da fração de água disponível FAD para a variedade "Aroana 80" nas parcelas que não sofreram interrupção do suprimento de água no solo (tratamento I) e para as duas variedades utilizadas nas parcelas que sofreram interrupção na irrigação (tratamentos D).

Embora os valores de FAD, no período compreendido entre a emergência e a primeira elevação dos teores de umidade do solo possam, aparentemente, apresentar-se semelhantes aos do período de retirada da irrigação, em termos de restrição hídrica eles não o são; isto porque, no primeiro período citado, as camadas inferiores do solo encontravam-se com baixos teores de água disponível e quantidade de água aplicada por irrigação ficou retida nas camadas superiores do solo. Durante o período de suspensão da irrigação, a situação era inversa, ou seja, as camadas superficiais continham valores menores de FAD que as camadas mais profundas. A situação apresentou-se desta maneira pelo fato de que no período de pré-semeadura a não-ocorrência de precipitação pluvial condicionou o secamento do perfil do solo, enquanto no período anterior à retirada da irrigação a frequência e a quantidade relativamente elevadas de precipitação provocaram a saturação do solo, ocorrendo, inclusive, valores significativos de drenagem profunda, a 67,5 cm de profundidade.

Para que estas afirmativas sejam visualizadas, na Fig. 2 são apresentadas as variações do potencial da água do solo na profundidade de 15 cm e de 75 cm para a primeira época de semeadura da variedade Aetê 3, tratamento com deficiência hídrica. Os valores do potencial da água do solo para as demais camadas do perfil e demais tratamentos não estão representados, por apresentarem valores intermediários.

Outro fato a ser considerado é o estágio de desenvolvimento da cultura. Segundo Doorenbos & Pruit (1975), a absorção da água pelas plantas é feita preferencialmente dentro do perfil do solo pelas raízes, sendo que a maioria das culturas retiram 40% de toda a água utilizada no quarto superior do perfil abrangido pelo sistema radicular. Stansell & Smittle (1980) admitem que a extração de água pela cultura do feijoeiro ocorre geralmente na camada de 0 cm a 30 cm.

Essa absorção preferencial da água do solo no perfil considerado provavelmente é função da densidade de raízes. Inforzato & Miyasaka (1963) caracterizaram a distribuição do sistema radicular do feijoeiro, sendo que, em média, 90% das raízes estavam nos 20 primeiros centímetros do perfil, e o restante, distribuído até 90 cm. Reichardt et al. (1974) encontraram, no tipo do solo do presente estudo, que 90% das raízes de feijoeiro encontravam-se nos 30 cm superiores.

O sistema radicular é dinâmico, e o seu comportamento é influenciado pelas condições ambientais que se apresentam. Em condições normais de umidade, Fiscus (1979) mostrou que as plantas de feijoeiro aumentaram a absorção hídrica com o desenvolvimento da cultura, e após, até o 41º dia de idade ela se tornou constante, em decorrência de um desenvolvimento de raízes secundárias e de uma posterior suberização das raízes mais velhas. Já em condições de estresse hídrico, Black et al. (1970a) mostraram que dois períodos de secamento na cultura do feijoeiro provocaram uma extração de água pelas raízes no segundo período, até 120 cm do perfil do solo com que trabalharam, contra uma profundidade de 45 cm no primeiro período de secamento.

Pode-se considerar que os valores de FAD para o tratamento onde não foi suspensa a irrigação não foi limitante à perda de água pelas culturas,

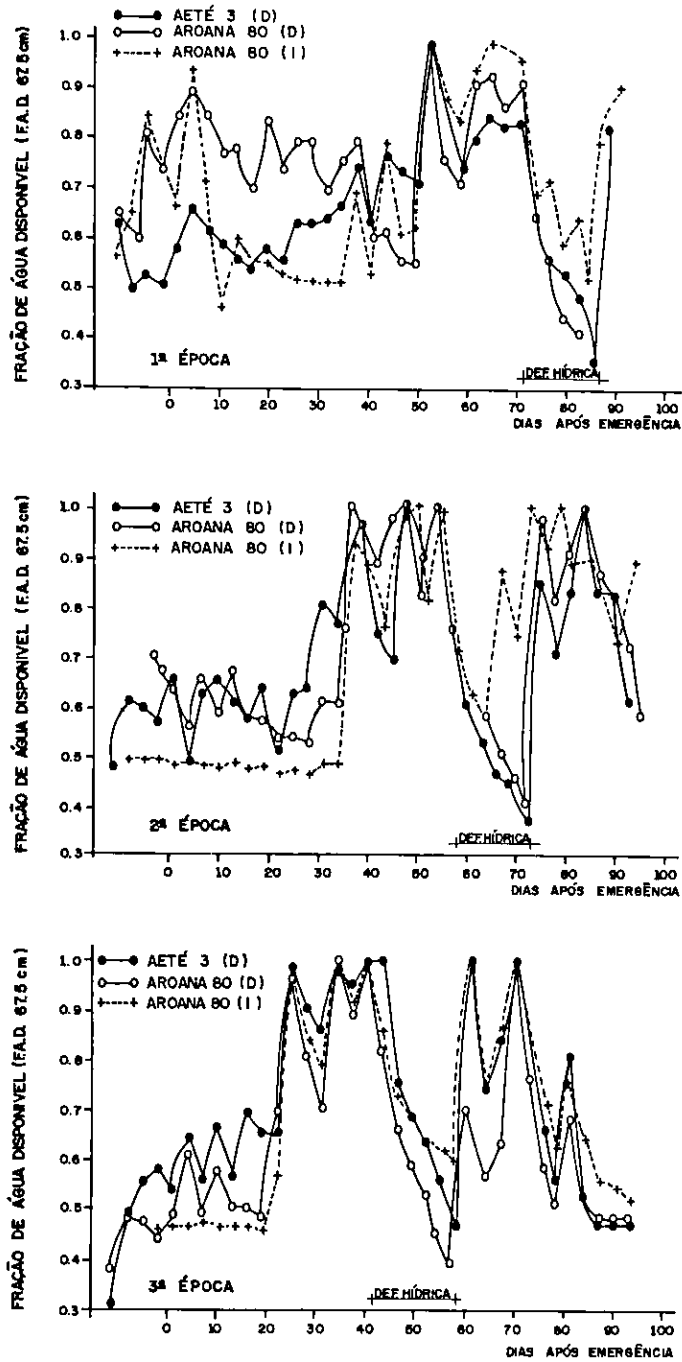


FIG. 1. Fração de água disponível (F.A.D.) para as variedades Aroana 80 e Aeté 3 nas três épocas de semeadura, durante o ciclo de desenvolvimento da cultura. Piracicaba, 1983.

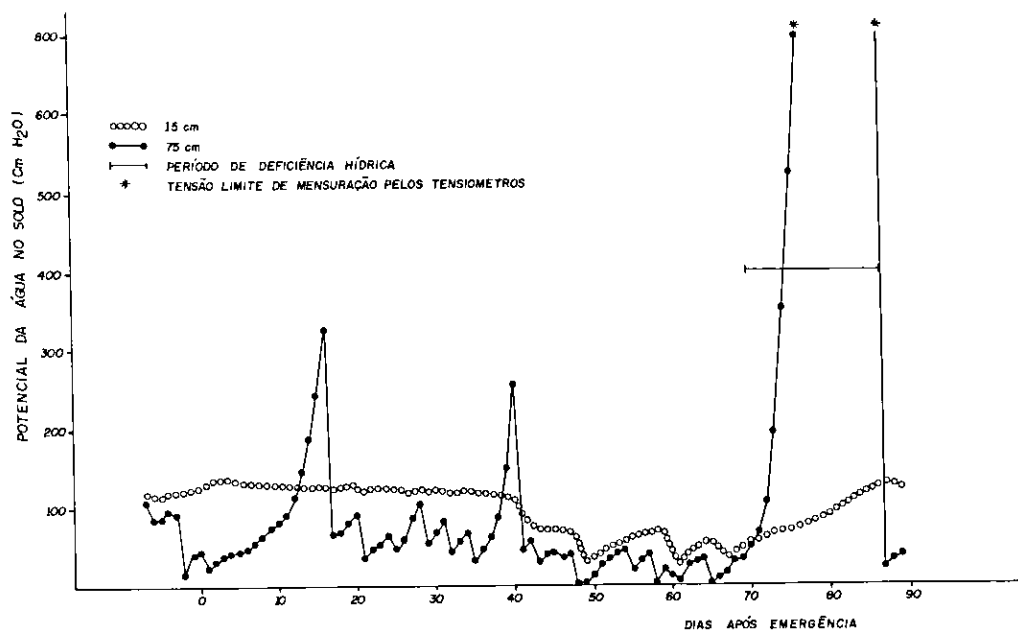


FIG. 2. Variações do potencial da água no solo, em centímetros de água, para as profundidades de 15 a 75 cm, da primeira época de semeadura da variedade Aeté 3, tratamento com deficiência hídrica. Piracicaba, 1983.

pois, segundo Doorenbos & Kassam (1979), para uma evapotranspiração diária média de 3; 4; 5; 6 e 7 mm, o feijoeiro pode extrair 0,70; 0,60; 0,50; 0,45 e 0,43 da FAD, respectivamente, sem que a evapotranspiração máxima seja afetada: os valores mínimos da FAD encontrados para o tratamento Aroana 80 (I) foram de 0,52; 0,57; e 0,60, para a primeira, segunda e terceira épocas de semeadura, sendo que a ETm para o período foi de 5,0 mm, permanecendo assim os valores dentro de uma faixa na qual o desenvolvimento da cultura não deve ter sido afetada por déficit hídrico.

A inexistência de diferença na evapotranspiração acumulada entre os tratamentos Aroana 80 (I) e Aroana (D) nos períodos iniciais do crescimento vegetativo e a inexistência de uma diferença no acúmulo de matéria seca nos 25 primeiros dias após a emergência (Vieira 1984) permitem afirmar que os valores de FAD nos períodos iniciais não foram limitantes ao crescimento das culturas, e que as diferenças apresentadas pelos valores de FAD nos tratamentos neste período inicial foram causadas por diferenças de umidade abaixo das camadas de efetividade das raízes.

Evapotranspiração

A Fig. 3 e a Tabela 1 mostram os valores de evapotranspiração para os diversos tratamentos e estádios da cultura.

Comparando-se os tratamentos com e sem suspensão de irrigação, denominados de (D) e de (I), respectivamente, nos diferentes estádios de desenvolvimento dentro da variedade Aroana 80, na qual o balanço hídrico foi realizado em ambas as condições de regime hídrico do solo, verificou-se que a diferenciação quanto à evapotranspiração acumulada da cultura (ETc), dentro de cada época, ocorreu de modo significativo, como era esperado, a partir do início do período de suspensão da irrigação, em consequência das diferentes condições de disponibilidade hídrica no solo entre os dois tratamentos

As maiores taxas de evapotranspiração da cultura sem suspensão da irrigação, indicadas pelas curvas de ETc na Fig. 3, ocorreram em períodos com maiores taxas de acréscimos do ETp, indicando que as respostas nos tratamentos irrigados foram função da ampla disponibilidade hídrica no solo e das condições de alta demanda evapora-

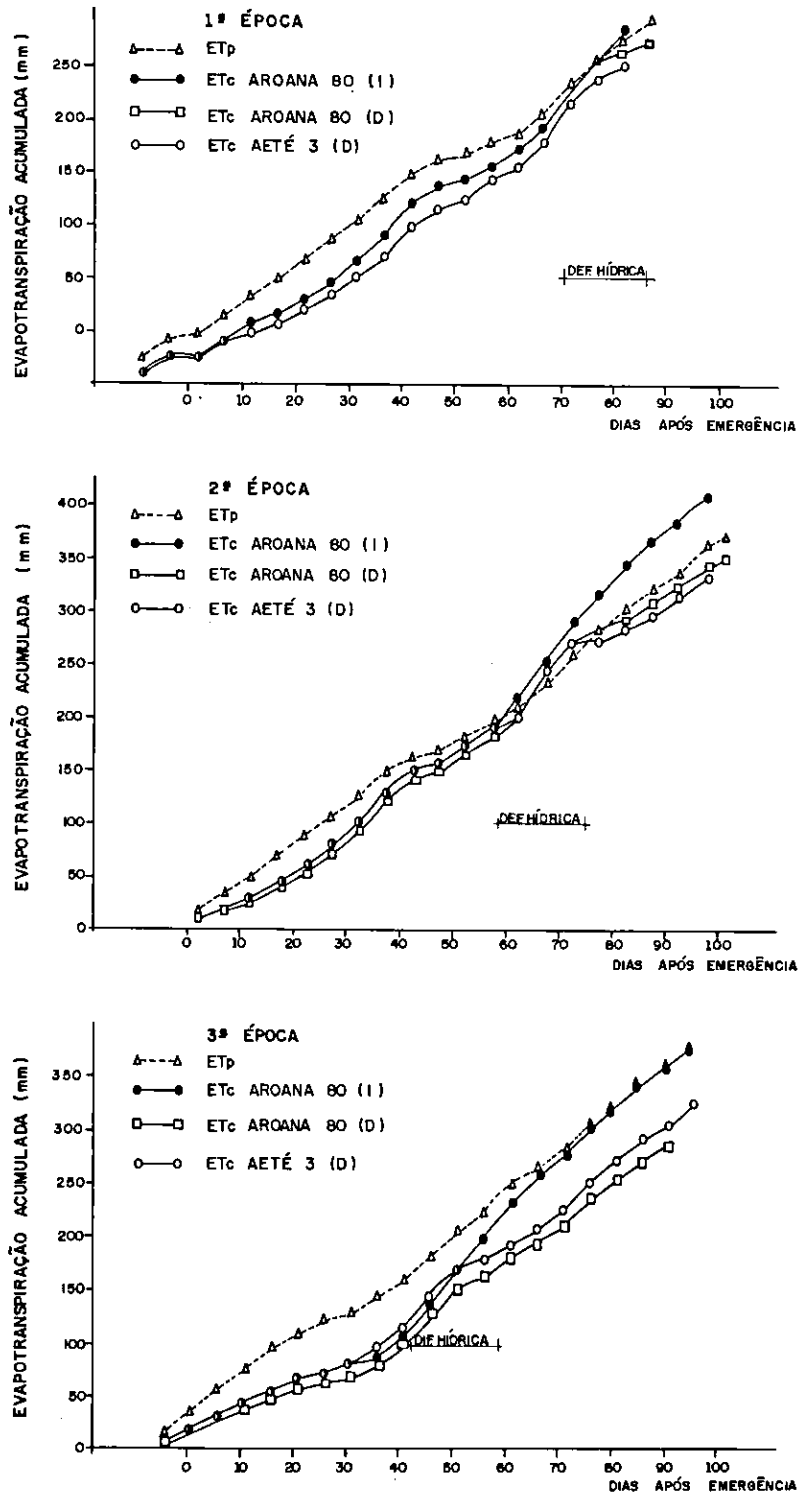


FIG. 3. Variação da evapotranspiração da cultura pelo método tensiométrico no campo (ETc) e pelo método de Penman (ETp) para os tratamentos estudados, Piracicaba, 1983.

TABELA 1. Evapotranspiração estimada pelo método do balanço hídrico no campo, para cada estágio fenológico do feijoeiro nas três épocas de plantio, nos tratamentos; sem interrupção (I) e com interrupção (D) da irrigação. Piracicaba, SP, 1983.

Estádios fenológicos	Evapotranspiração, método do balanço hídrico (ETc)											
	1ª Época				2ª Época				3ª Época			
	Aroana 80		Aeté 3		Aroana 80		Aeté 3		Aroana 80		Aeté 3	
	I	D	I	D	I	D	I	D	I	D	I	D
Emergência - gemas florais	143,3	143,3	-	121,2	170,4	164,4	-	170,6	135,7	126,8	-	146,0
Gemas florais - início do florescimento	52,5	52,5	-	55,8	31,4	29,9	-	31,0	35,2*	26,4	-	18,9
Emergência - início do florescimento	195,8	195,8	-	177,0	201,8	194,3	-	201,6	170,9	153,2	-	164,9
Início do florescimento início da formação legumes	21,9	21,9	-	23,4	24,3	22,6	-	22,7	27,8	31,0	-	34,3
Emergência - início da formação de legumes	217,7	217,7	-	200,4	226,1	216,9	-	224,3	198,7	184,2	-	199,2
Início da formação de legumes início da formação de grãos	21,0	20,9	-	21,9	37,9*	32,3	-	28,3	42,0	12,1	-	11,0
Emergência - início da formação de grãos	238,7	238,7	-	222,3	264,0	249,2	-	252,6	240,7	196,3	-	210,2
Início da formação de grãos maturação fisiológica	103,0*	82,2	-	82,8	203,2	66,3	-	64,5	105,2	90,6	-	81,1
Emergência - maturação fisiológica	341,7	320,8	-	305,1	467,2	315,5	-	307,1	345,9	286,9	-	291,3

* Início do período de deficiência hídrica.

tiva da atmosfera, enquanto nos tratamentos que sofreram interrupção da irrigação e diminuição da ETc pode ter ocorrido tanto pela diminuição da transpiração, decorrente de uma menor disponibilidade de água ao sistema radicular, como por uma diminuição da evaporação do solo causada pelo aumento da resistência deste ao processo evaporativo, conforme discutem Black et al. (1970b) ou pela redução do acúmulo de massa vegetativa.

Nesta mesma figura, nota-se uma maior diferença de evapotranspiração entre os tratamentos de irrigação após a suspensão do período de deficiência hídrica. Esta diferenciação basicamente ocorreu em razão de uma maior taxa de acréscimo da curva da evapotranspiração acumulada do tratamento sem deficiência hídrica do que propriamente em decorrência de uma possível redução da evapotranspiração do tratamento com deficiência hídrica, no período em análise. De maneira que, apesar da parcial recuperação da cultura após a deficiência hídrica, a diferença entre os tratamentos com relação à evapotranspiração teve uma tendência de aumento, justificado por um maior desenvolvimento da cultura no trata-

mento sem deficiência hídrica. Resumindo, se a diferença entre as taxas de desenvolvimento da cultura foi maior após o tratamento de deficiência hídrica, pelo próprio estágio fenológico em que se encontravam, conseqüentemente maiores foram as diferenças entre as taxas de evapotranspiração.

Com relação às diferenças da evapotranspiração entre as variedades, podem ser divididas em duas fases: uma, referente ao período de não-restrição de água no solo, e outra, durante o período de deficiência hídrica. No primeiro período, no início do ciclo, as diferenças foram pequenas e talvez estejam dentro do erro experimental; além disso, seria difícil comprovar que qualquer diferença de comportamento nesse caso fosse de origem varietal, pois os baixos valores de índice de área foliar devem ter resultado que a maior proporção de perda de água da cobertura vegetal o fosse através da evaporação da superfície do solo.

Durante o período de suspensão da irrigação, os valores de ETc para a variedade Aeté 3 na segunda e terceira épocas de plantio foram menores em relação aos da Aroana 80 para os tratamentos de deficiência hídrica. Esta diferença pode ser explicada por um comportamento varietal distinto,

já que a variedade Aeté 3 apresenta valores de resistência estomática e difusão de vapor de água maiores, valores menores de densidade, de fluxo transpiratório e um movimento fotonástico mais acentuado (Vieira 1984).

Para a variedade Aroana 80, a ETc desde a emergência até a maturação fisiológica na primeira, segunda e terceira épocas de semeadura foi, respectivamente, de 341,7; 467,2; 345,9 mm nos tratamentos sem imposição do déficit hídrico, e de 320,8; 315,5 e 286,9 mm nos tratamentos com déficit hídrico. Para a variedade Aeté 3, os valores correspondentes aos tratamentos com restrição de água no solo foram de 305,1; 307,1; e 291,3 mm para a primeira, segunda e terceira épocas de semeadura. Estes valores permaneceram dentro dos limites para a cultura do feijoeiro citados por Silveira & Stone (1979), Encarnação (1980), Luchiarì (1978), Reichardt et al. (1974) e Dorenbos & Kassam (1979).

Pela Tabela 1 nota-se claramente a redução da perda da água pela cultura condicionada à deficiência hídrica. Na primeira época de semeadura, esta redução por tratamento de deficiência hídrica foi de 20,9 e 15,7 para a variedade Aroana 80 e Aeté 3, respectivamente. Na segunda e terceira épocas de semeadura, estes valores foram de 151,7 e 59 para a variedade Aroana 80 e de 160,1 e 54,6 para a variedade Aeté 3. Estes valores sugerem que na primeira época, por estar a cultura, durante o tratamento de deficiência hídrica, no final do seu ciclo, os valores diferenciais de evapotranspiração (20,9 e 15,7) foram baixos. Na segunda época, a cultura encontrava-se em maior desenvolvimento e atividade fisiológica; conseqüentemente, a redução da evapotranspiração, causada pelo período de suspensão da irrigação, foi mais intensa quando comparada com as demais. Na terceira época, os valores ficaram situados em posição intermediária, sugerindo que a cultura teve condições e tempo de recuperar-se parcialmente após a suspensão deste tratamento. Quando se comparam as duas cultivares no período de deficiência hídrica, nota-se uma leve tendência de a Aeté 3 perder menos água que a Aroana 80. Este fato pode ser explicado por comportamentos morfofisiológicos, já apresentados nos parágrafos anteriores.

Varição dos valores diurnos do potencial da água no solo

Nas Fig. 4 e 5 são mostradas as variações do potencial matricial da água no solo durante o período diurno, nas profundidades de 15, 30, 45, 60 e 75 cm. Para cada dia são apresentadas somente as curvas de resposta na profundidade que apresentou variação significativa, e na profundidade imediatamente inferior.

Em todos os tratamentos em que a irrigação foi cessada, a variação dos potenciais matriciais de água no solo ocorreram com maior intensidade nas camadas superficiais; iniciando-se com a profundidade de 15 cm e passando seqüencialmente às profundidades maiores, para ambas as variedades e épocas de semeadura. A variação significativa do potencial durante o dia em uma determinada profundidade iniciou-se, em média, um a dois dias após o potencial matricial da camada imediatamente superior ter atingido o limite mensurável pelo tensiômetro, salvo para as camadas de 45, 60 e 75 cm na terceira época da "Aroana 80" e na segunda época da "Aeté 3", que apresentaram variações simultâneas para as referidas profundidades.

Em todos os tratamentos ocorreu um aumento do potencial de água do solo durante o período noturno, com variações máximas de até 0,026 MPa, sem que houvesse o fornecimento de água ao solo pela superfície superior.

Este aumento foi detectado principalmente nas camadas onde a variação do potencial no período diurno foi ampla, sendo, em geral, maior à medida que estes potenciais aproximaram-se dos limites mensuráveis pelos tensiômetros. Independentemente da variedade, a recuperação, em média, foi sempre maior para a segunda época de plantio.

O aumento do potencial matricial da água no solo no período noturno foi também observado por Haise & Kelley (1950), os quais constataram diferenças de até 0,04 PMA por causa da temperatura; verificaram, no entanto, que para tensiômetros de PVC estas variações eram pequenas. No presente estudo, a influência da temperatura do solo sobre os valores obtidos de potencial matricial pode ser considerado insignificante, pois quando

o solo encontrava-se com valores elevados de água disponível, não foram observadas variações sensíveis, e, por ocasião do secamento do solo, as variações não foram grandes entre camadas, existindo camadas que não mostraram esta recuperação, indicando que não houve influência da temperatura do solo.

Apesar de complexa, a análise da dinâmica

da extração da água do solo sem o conhecimento da distribuição das raízes para cada um dos estádios fenológicos e variedades, ficou evidente, pela variação seqüencial dos potenciais matriciais nas camadas de solo, iniciando a variação nas camadas superficiais e progredindo para as camadas mais profundas, a absorção preferencial pelas raízes da água no perfil do solo.

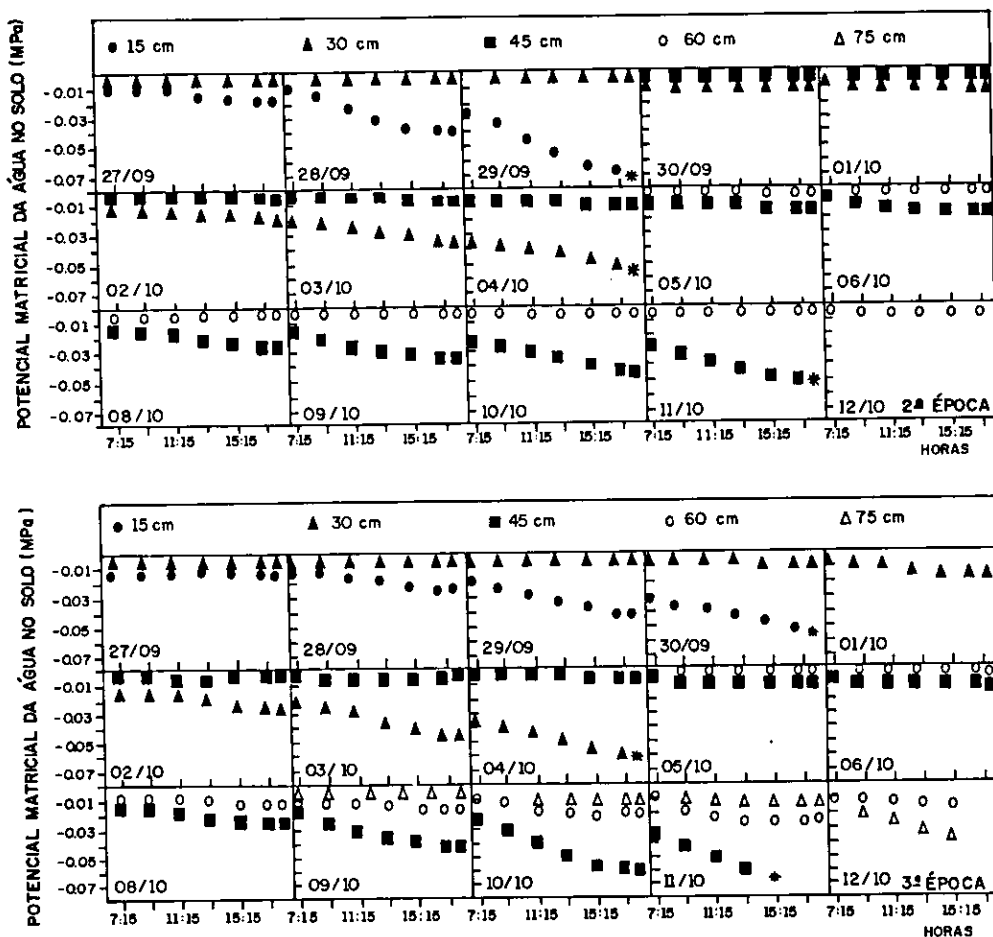


FIG. 4. Variações do potencial matricial da água no solo durante o período diurno, nas profundidades de instalação dos tensiômetros, para a variedade Aroana 80 durante o período de interrupção da irrigação. Piracicaba, 1983.

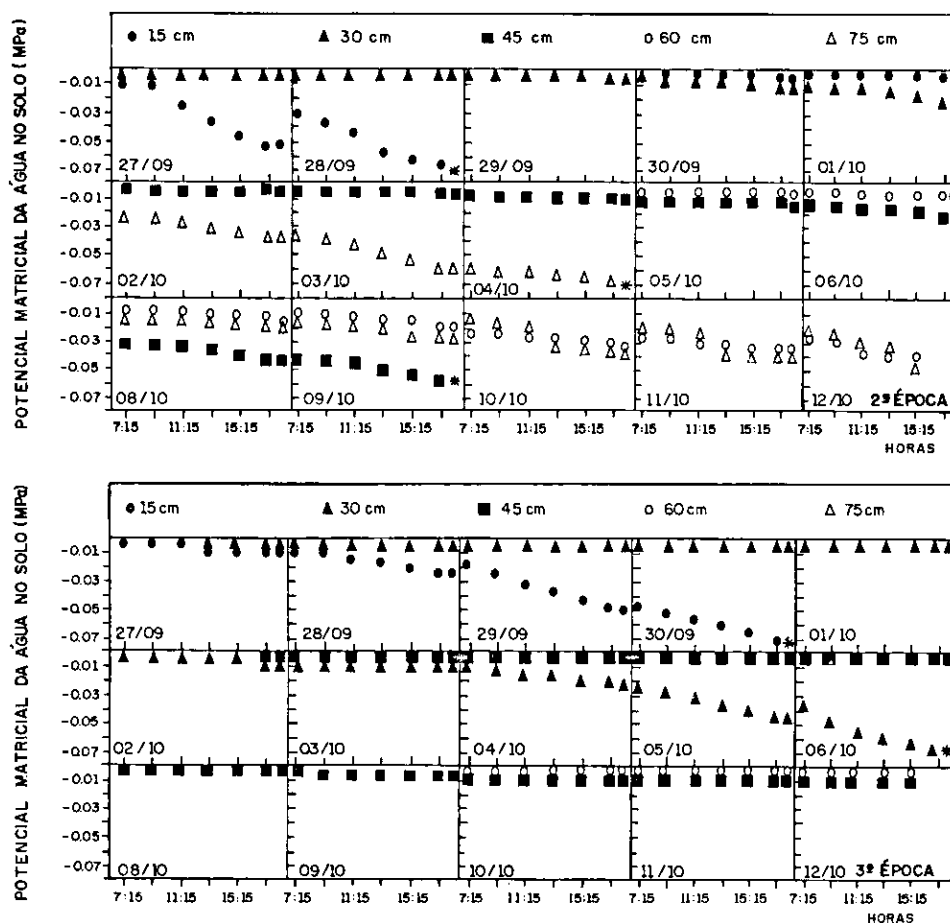


FIG. 5. Variações horárias do potencial matricial da água no solo durante o período diurno, nas profundidades de instalação dos tensiômetros, para a variedade Aet3 durante o período de interrupção da irrigação. Piracicaba, 1983.

CONCLUSÕES

1. Os valores da fração de água disponível atingidos no perfil de solo estudado, durante o período de suspensão da irrigação, atuaram de maneira significativa na redução da evapotranspiração da cultura do feijoeiro. A variedade Aroana 80 teve, em média, um esgotamento maior da água, naquele período, em relação à variedade Aet3.

2. A redistribuição noturna da água no solo contribuiu para que os valores de potencial matri-

cial de água do solo não atingissem níveis drásticos que acentuassem diferenças nas respostas entre variedades e culturas com diferentes estádios de crescimento, na época da imposição do déficit hídrico no solo.

3. O acompanhamento da variação do potencial de água do solo sugeriu uma maior intensidade de esgotamento hídrico do solo para o estágio de formação de vagens.

4. A extração preferencial da água do solo das camadas superficiais em relação às mais profundas

foi comprovada tanto pelos valores da FAD como pela variação dos valores do potencial matricial de água no solo, caracterizados pelo método tensiométrico, durante o período de déficit hídrico.

5. A variedade Aeté 3 apresentou menor consumo de água durante o ciclo da cultura, em relação ao da Aroana 80, se considerados os mesmos tratamentos de regime hídrico no solo e de estágio de crescimento, fato esse decorrente, em hipótese, da menor atividade do sistema radicular, já que a mesma apresentou uma menor intensidade de esgotamento da água do solo, ou então por outros fatores diferenciais às variedades, tais como: resistência estomática à difusão de vapor de água, ajuste osmótico, fenômenos de paraheliotropismo.

AGRADECIMENTOS

À seção de Climatologia Agrícola do Instituto Agronômico de Campinas (IAC), na pessoa do Dr. Orivaldo Brunini, pelo inestimável apoio técnico e pelo empréstimo dos aparelhos e seção de leguminosas do IAC, na pessoa do Dr. Eduardo Antonio Bulisani, pelo fornecimento de sementes das cultivares utilizadas no experimento.

REFERÊNCIAS

- BLACK, T.A.; TANNER, C.B.; GARDNER, W.R. Evapotranspiration from a snap bean crop. *Agron. J.*, 62: 66-9, 1970a.
- BLACK, T.A.; GARDNER, W.R.; TANNER, C.B. Water storage and drainage under a row crop on a sandy soil. *Agron. J.*, 62:48-51, 1970b.
- CAMARGO, A.P.; PINTO, H.S.; PEDRO JÚNIOR, M.J.; ALFONSI, R.R.; ORTOLANI, A.A. Clima do Estado de São Paulo; zoneamento agrícola do Estado de São Paulo. São Paulo, Secretaria da Agricultura, 1974. v.1.
- CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL. Cali, Colômbia. Guia de Estudos; Morfologia de la planta de frijöl común (*Phaseolus vulgaris*). Cali, Colômbia, sd. 50p.
- DOORENBOS, J. & KASSAM, A.H. Yield response to water irrigation and drainage. Rome, FAO, 1979. 191p. (FAO. Paper, 33)
- DOORENBOS, J. & PRUIT, W.O. Crop water requirements, irrigation and drainage. Rome, FAO, 1975. 179p. (FAO. Paper, 24)
- ENCARNAÇÃO, C.R.F. Estudo da demanda de água do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) var. goiano precoce. Piracicaba, ESALQ, 1980. 62p. Tese Mestrado.
- ESTADOS UNIDOS. Soil conservation service-Soil Survey Staff. Soil taxonomy; a basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. Washington, D.C., USDA, 1975 (Agricultural Handbook, 436)
- FISCUS, E.L. Relationships between root system water transport properties and plant size in *Phaseolus*. *Plant Physiol.*, 64:770-3, 1979.
- HAISE, H.R. & KELLEY, O.J. Causes of diurnal fluctuations of tensiometers. *Soil Sci.*, 4:301-13, 1950.
- INFORZATO, R. & MIYASAKA, S. Sistema radicular do feijoeiro em dois tipos de solo do Estado de São Paulo. *Bragantia*, 38(22):477-81, 1963.
- INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS, São Paulo, SP. Realizações do IAC, Novos cultivares. *O agrônomo*, 34:36, 1982.
- INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA, São Paulo, SP. Feijão; prognóstico. São Paulo, SP. 1983. 241p. 241p.
- LIBARDI, P.L.; REICHARDT, K.; NIELSEN, D.R.; BIGGAR, J.W. Simple field methods for estimating soil hydraulic conductivity. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Michigan, 44(1):3-7, jan./fev. 1980.
- LUCHIARI, J.A. Determinação do coeficiente de cultura (Kc) para feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) pelo método do balanço hídrico. Piracicaba, ESALQ, 1978, 58p. Tese Mestrado.
- PENNMANN, H.L. Natural evaporation from open water, bare soil, and grass. *Proc. R. Soc. Serie A: Math. Phys. Sci.*, London, 193:45, 1948.
- RANZANI, G.; FREIRE, O.; KINJO, T. Carta de solos do município de Piracicaba. Piracicaba, ESALQ, Centro de Estudos de Solos, 1966.
- REICHARDT, K.; LIBARDI, P.L.; SANTOS, J.M. An analysis of soil water movement in the field. Piracicaba, Centro de Energia Nuclear na Agricultura, 1974, 19p.
- SILVEIRA, P.P. & STONE, L.F. Balanço de água na cultura do feijoeiro em latossolo vermelho-amarelo. *Pesq. agropec. bras.*, 14(2):111-5, abr. 1979.
- STANSELL, J.R. & SMITTLE, D.A. Effect of irrigation regimes on yield and water use of snap bean (*Phaseolus vulgaris* L.) *J. Am. Soc. Hort. Sci.*, 105(6): 869-73, 1980.
- VIEIRA, H.J. Parâmetros hídricos e de crescimento de duas variedades de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) sob diferentes condições de disponibilidade de água no solo. Piracicaba, ESALQ, 1984. 153p. Tese Mestrado.