

Janeiro e Fevereiro de 1987

VOL. XXXIV

N.º 191

Viçosa — Minas Gerais

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA

**EFEITO DA SUBIRRIGAÇÃO, EM CONDIÇÕES
DE CASA DE VEGETAÇÃO, SOBRE AS
CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS
DO FEIJÃO (*Phaseolus vulgaris L.*)^{1/}**

Antonio Fernando Guerra ^{2/}
Paulo Afonso Ferreira ^{3/}
Salassier Bernardo ^{3/}
Antonio Américo Cardoso ^{4/}

1. INTRODUÇÃO

Com o crescimento demográfico, o homem será ameaçado ainda mais severamente pela fome nos próximos anos, a não ser que se tomem precauções, no que diz respeito à expansão da agricultura para novas áreas e, ou, à utilização racional da água e do solo como fatores de produção de alimentos.

Torna-se necessário promover estudos dos fenômenos de transporte de água no sistema solo-planta-atmosfera, pois um melhor entendimento desses fenômenos pode conduzir a técnicas de manejo mais adequadas, aumentando a eficiência no uso da água.

O feijão (*Phaseolus vulgaris L.*) é uma das mais importantes culturas do País, pois é alimento brasileiro por excelência, constituindo não somente base energética, como também base protéica da alimentação.

A importância dessa cultura se faz sentir não só por constituir base da alimen-

^{1/} Parte da tese do 1.º autor, apresentada à U.F.V.

Aceito para publicação em 31-10-1985.

^{2/} EMBRAPA-CPAC. Km 18 da BR-020. Planaltina, DF.

^{3/} Departamento de Engenharia Agrícola da U.F.V. 36570 Viçosa, MG.

^{4/} Departamento de Fitotecnia da U.F.V. 36570 Viçosa, MG.

tação e desempenhar papel de destaque na economia do País, mas também por haver amplas possibilidades de expansão, considerando o extenso potencial de áreas em condições climáticas favoráveis, sendo necessário estabelecer controle sobre o manejo da água e do solo.

A disponibilidade de água diminui com a redução da umidade do solo, e as plantas sofrem interferências negativas no seu processo de desenvolvimento mesmo antes de atingir o ponto de murchamento (18).

REICHARDT (17) afirma que a umidade do solo não define disponibilidade de água para as plantas, devendo-se correlacionar o estado da água na planta com o estado da água no solo, quanto ao potencial. O desenvolvimento da planta é mais afetado pela tensão com que a água está retida no solo do que propriamente pela quantidade de água disponível. Isto porque o trabalho a ser realizado pela planta para extrair-la está diretamente relacionado com os esforços de retenção da água no solo (17, 19).

O método de subirrigação tem sido tentado, com bons resultados, para algumas condições de solo e de planta, por vários pesquisadores. Ele se baseia no mecanismo de ascensão capilar da água a partir do lençol freático (2, 3, 5, 6, 13). Tanto a transpiração das plantas quanto a evaporação na superfície do solo fazem com que o potencial da água na superfície decresça, havendo inversão do gradiente hidráulico, que é a força responsável pelo movimento ascensional da água.

O feijão apresenta períodos de desenvolvimento muito sensíveis à falta de umidade do solo (8, 11). Se essa deficiência de água se apresenta em períodos críticos, como a pós-floração, a produção se reduz consideravelmente. Para obter rendimentos máximos e ótima qualidade de grãos, deve haver no solo um conteúdo de umidade suficiente no período de floração e desenvolvimento de vagens. Do período da semeadura à floração, se houver deficiência de água no solo, mesmo ao ponto de as plantas se exibirem definhadas, a recuperação total poderá ser obtida por meio da manutenção do teor de água disponível no solo acima de 50% durante o resto do desenvolvimento vegetativo (8).

A absorção de água pelas plantas é fenômeno complexo e tem sido objeto de vários estudos (12, 16). Têm sido propostos modelos de absorção, com base em soluções matemáticas da equação diferencial de fluxo da água no solo, considerando apenas uma raiz (abordagem microscópica), embora a aplicação prática dos resultados seja discutível (16).

Em trabalhos conduzidos mais recentemente são apresentados modelos de absorção, baseados em soluções matemáticas da equação diferencial de fluxo para uma dimensão, nos quais o sistema radicular é analisado como um todo (abordagem macroscópica). Na simulação do movimento de água no perfil do solo são consideradas as propriedades do solo e a demanda evaporativa externa (3, 7, 13).

Na região ocupada pelo sistema radicular há variação no potencial de água, que está relacionado com a distribuição de umidade no perfil. O fenômeno pelo qual as raízes integram suas reações como um todo, no sentido de utilizar vantajosamente a umidade disponível, não é bem conhecido (7). Classicamente, entende-se que o sistema radicular ajusta sua absorção de água para que seja mantido constante o potencial total de umidade do solo em toda a zona radicular. Observou-se, muitas vezes, que, inicialmente, são esgotadas as camadas superiores do solo e, gradualmente, as zonas de máximas retiradas passam para as regiões mais profundas (7, 16).

REICOSKY *et alii* (16) analisaram o fluxo ascensional de umidade proveniente do lençol freático, com relação à profundidade e distribuição de raízes de soja (*Glycine max*), utilizando colunas de solo. Concluíram que, na presença do lençol

freático, a ascensão da água não está necessariamente relacionada com a distribuição do sistema radicular e que um pequeno número de raízes próximas à franja capilar foi responsável pela absorção de quase toda a água usada pelas plantas. Evidenciaram a influência da interação de condutividade hidráulica e disposição do sistema radicular na densidade de fluxo nos vários segmentos da zona radicular.

Este trabalho teve como objetivos estabelecer a distribuição do potencial matricial da água no solo, determinar o perfil de extração de água pelo sistema radicular do feijão, para lençol freático de 90 cm de profundidade, determinar o uso consuntivo de água e analisar a produção e algumas características agronômicas do feijão, quando cultivado em material de solo mineral de várzeas, usando seis tratamentos, isto é, cinco níveis de lençol freático e um irrigado por superfície, em condições de casa de vegetação.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Foi utilizado um sistema de colunas para determinar a distribuição do potencial matricial da água no solo, o perfil de extração de água na zona radicular e o uso consuntivo, bem como para avaliar a produção e os componentes de produção do feijão, em condições de casa de vegetação, no «campus» da Universidade Federal de Viçosa.

Essas colunas foram preenchidas com material de solo mineral de várzeas, e nelas foram mantidos, durante todo o ciclo da cultura, lençóis freáticos de 30, 45, 60, 75 e 90 cm de profundidade, com relação à superfície do solo, exceto em um tratamento, em que se fez irrigação por superfície, com rega de dois em dois dias, relacionada com a evaporação de um tanque Classe A.

O sistema foi constituído de 24 colunas de PVC de 120 cm de altura e 15 cm de diâmetro externo.

Ao conjunto de colunas em que foi usado o método de subirrigação foram conectadas garrafas de Mariotte, com a finalidade de manter constantes as profundidades do lençol freático. Essas garrafas foram constituídas de frascos de vidro com volume útil de 3.500 ml, graduadas em 50 ml, permitindo, desse modo, a medição direta do consumo de água. Cada frasco foi ligado a quatro colunas, correspondentes às quatro repetições de cada tratamento. Para diminuir a interferência da variação de temperatura no sistema, as garrafas foram colocadas dentro de caixas de isopor.

Efetuou-se o suprimento de água desmineralizada a quatro centímetros do fundo de cada coluna (Figura 1).

No interior de cada coluna foi construído um filtro, de 18 cm de altura a partir da base. A camada inferior, de 10 cm, foi formada por cascalho e suportou uma camada de 8 cm de areia grossa (13).

Visando garantir a altura preestabelecida do lençol freático, mesmo ocorrendo falhas no sistema de Mariotte, decorrentes da variação de temperatura, instalaram-se mangueiras plásticas 2 cm abaixo do nível do lençol freático, as quais funcionaram como drenos (Figura 1). Desse modo, foi possível controlar automaticamente o nível do lençol freático e eliminar o excesso de água quando subia a pressão do ar no interior da garrafa de Mariotte, em decorrência da elevação da temperatura dentro da casa de vegetação.

A distribuição do potencial matricial foi determinada por meio de células de Colman, colocadas no eixo da coluna e instaladas a partir de 5 cm de profundidade (com relação à superfície do solo) até 10 cm acima do nível do lençol freático, ex-

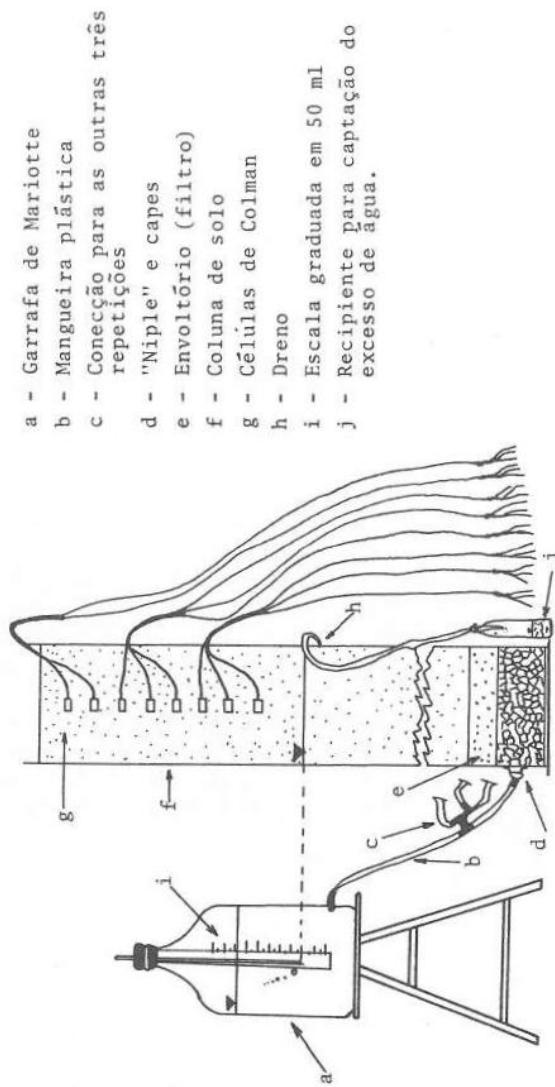


FIGURA 1 - Coluna de material de solo, vendo-se o sistema de controle do lençol freático, abastecimento de água e células de Colman.

ceto no tratamento referente ao lençol de 90 cm de profundidade, em que as células foram instaladas até 13 cm acima do nível do lençol freático. O espaçamento entre as células foi de 5, 6, 9, 10 e 9 cm, respectivamente, nos tratamentos em que o lençol freático foi mantido a 30, 45, 60, 75 e 90 cm de profundidade.

Foram instalados um termoigrógrafo e um tanque Classe A próximo às colunas, para registrar a temperatura e a umidade relativa do ar e para relacionar a evapotranspiração da cultura de feijão com a obtida por meio do tanque Classe A.

2.1. Localização, Amostragem, Características e Classificação do Material de Solo Usado no Experimento

O material de solo empregado neste trabalho foi proveniente da região produtora de arroz do Vale do Rio Doce de Minas Gerais, município de Caratinga, distrito de Vargem Alegre.

Esse material foi coletado em trincheiras abertas até a profundidade de 20 cm.

A curva de retenção de água no solo foi estabelecida por meio do método de membrana de pressão, descrito por RICHARDS (19).

O solo do qual se extraiu o material utilizado no experimento é do tipo Aluvial Eutrófico A, fraco e moderado, de textura franco-argilosa. As curvas de calibração das células de Colman, para esse material de solo, foram determinadas pelo método de laboratório, segundo o manual de A. C. OMIMETER (1).

A condutividade hidráulica saturada foi determinada com o uso de permeímetro de carga constante, conforme o método descrito por KLUTE (9). O permeímetro utilizado foi uma das colunas usadas para o cultivo de feijão, após colheita e corte da parte aérea das plantas e eliminação da camada superficial de 10 cm do solo.

2.2. Preparo e Colocação do Material de Solo no Interior das Colunas

O material de solo foi destorroado, passado em peneiras de 4 mm de malha, seco ao ar e, a seguir, homogeneizado.

Para prevenir possíveis ataques de nematóides, presentes no material de solo, na areia e no cascalho, fez-se esterilização com brometo de metila.

A partir dos resultados da análise química do material de solo, foi efetuada a adubação de pré-plantio, aplicando-se 44,85 g de P₂O₅ por coluna de solo.

O material de solo foi colocado no interior da coluna, em camadas de 5 cm de espessura, por intermédio de um funil, conectado a um tubo com comprimento suficiente para descer até a base (3, 13, 16). Cada camada foi misturada à anterior por meio de uma hélice plástica, conectada à extremidade de uma haste de madeira (13, 15, 22), evitando-se assim a separação das partículas por tamanho e determinando-se um meio homogêneo ao longo da coluna. À medida que se desenvolviam essas operações, era conseguida, na coluna, uma pequena compactação do material, por meio de vibrações feitas com as mãos, com a finalidade de obter melhor acomodação do material de solo dentro da coluna.

Foram necessários, em média, 19,5 kg de solo para o preenchimento de 100 cm de coluna, resultando numa densidade aparente média de 1,16 g/cm³.

As células de Colman foram instaladas verticalmente nas posições preestabelecidas, à medida que se efetuava o enchimento das colunas.

2.3. Saturação do Solo e Plantio do Feijão

Inicialmente, as alturas dos tubos de borbulhamento das garrafas de Mariotte foram estabelecidas de modo que o solo fosse mantido totalmente saturado. No tratamento referente à irrigação por superfície, manteve-se uma lámina d'água de 2 cm na superfície do solo, até a saturação do perfil.

Depois de saturadas todas as colunas, os lençóis freáticos foram baixados para 20 cm a partir da superfície do solo, em todas as colunas. Em seguida, plantaram-se oito sementes de feijão, da variedade 'Negrito 897', na profundidade de 3 cm, aproximadamente, em cada coluna. Após o estabelecimento das plantas, efetuou-se um desbaste, deixando-se três plantas em cada coluna.

2.4. Tratamentos e Delineamento Experimental

Transcorridos 14 dias do plantio, quando as plantas apresentavam maior uniformidade, foram fixadas as profundidades preestabelecidas do lençol freático, por meio do remanejamento dos níveis das garrafas de Mariotte, isto é, 30, 45, 60, 75 e 90 cm da superfície do solo, exceto no tratamento referente à irrigação por superfície, em que a aplicação de água foi feita de 2 em 2 dias e a lámina dependia da evaporação no tanque Classe A.

A distribuição das colunas no interior da casa de vegetação foi feita segundo o delineamento inteiramente casualizado, com seis tratamentos e quatro repetições.

2.5. Coleta de Resultados

Após o remanejamento das garrafas de Mariotte para os níveis desejados, esperaram-se nove dias para efetuar o ajustamento do sistema, quando foi iniciado o registro dos dados.

O uso consuntivo de água foi medido por leituras diretas, efetuadas diariamente nas garrafas de Mariotte.

A área de seção interna de cada coluna foi multiplicada por 1,5 para o cálculo do uso consuntivo, em altura de lámina, de água. Esse critério visou ajustar a área ocupada por planta de feijão.

A distribuição do potencial matricial ao longo da coluna de solo foi determinada por meio de leituras feitas no SOILTEST, INC. MODEL MC-300A SOIL MOISTURE OHMMETER.

A evaporação no tanque Classe A foi medida, diariamente, com o uso de um micrómetro de gancho. Os valores de evaporação no tanque Classe A, de dois em dois dias, serviram de base para a reposição da água evapotranspirada no tratamento referente à irrigação por superfície. Calculou-se o volume aplicado, multiplicando-se a área da seção interna da coluna por 1,5, como nos tratamentos sub-irrigados.

Os valores de temperatura e umidade relativa do ar foram registrados por um termoigrógrafo, durante o período de coleta de resultados. Para determinar os valores médios diários de temperaturas e umidades relativas, calcularam-se as médias, de duas em duas horas, encontrando-se a seguir a média das médias.

2.6. Modelo para Estimar o Potencial Matricial

A equação de continuidade, para um meio poroso, homogêneo, isotérmico e

fluxo apenas na direção z, tem a forma

$$\frac{\partial \Theta}{\partial t} = \frac{\partial q}{\partial z} \quad \text{eq. 1}$$

em que Θ é o teor de umidade no solo (adimensional) e q é fluxo (LT^{-1}).

Considerando a validade da equação de Darcy para fluxo não-saturado (3, 4), a equação 1 para fluxo em regime permanente transforma-se na de Richards, isto é:

$$\frac{d}{dz} [K(h) \frac{dh}{dz}] = 0 \quad \text{eq. 2}$$

em que $K(h)$ é a condutividade hidráulica não-saturada (LT^{-1}), que depende do potencial matricial $h(L)$ e da carga hidráulica $H(L)$.

Definindo um potencial matricial de fluxo (LT^{-1}), como em GARDNER (4) e GILLEY e ALLRED (6), e introduzindo um termo extrator $S(Z)$ (T^{-1}), a equação 2 transforma-se em

$$\frac{d^2\phi}{dz^2} - \alpha \frac{d\phi}{dz} - S(Z) = 0, \quad \text{eq. 3}$$

que é uma equação diferencial linear (3, 4, 5, 6, 10, 21), em que α é uma constante empírica do solo (L^{-1}).

WARRICK (21) propôs solução para a equação 3, considerando regiões de fluxo semi-infinitas e sobre lençol freático de pouca profundidade, com aplicação d'água na superfície constante, V_0 , da forma

$$\phi(Z) = \frac{V_0}{\alpha} + \frac{1}{\alpha} [K_0 - V_0 + \frac{a}{\alpha} (\alpha L + 1) \exp[\alpha(Z - L)] \frac{a}{\alpha^2} (\alpha Z + 1)], \quad \text{...eq. 4}$$

em que a é uma constante (T^{-1}), determinada experimentalmente, K_0 é uma constante hidrodinâmica do solo (LT^{-1}) e L é a profundidade do lençol freático (L).

Para calcular o potencial matricial, $h(Z)$, substituíram-se os valores de $\phi(Z)$ na equação (5, 3, 13, 21):

$$h(Z) = \frac{1}{\alpha} \ln \left[\frac{\alpha \phi(Z)}{K} \right]$$

2.7. Avaliação dos Componentes de Produção

A produção de grãos, expressa em gramas por tratamento, foi determinada depois que os grãos sofreram um processo de secagem à sombra, visando à uniformização da umidade, que foi determinada pelo método-padrão de estufa e padronizada para 13%, base úmida.

A parte aérea foi colhida, cortando-se a planta 1 cm acima da superfície do solo. Esse material foi embalado em sacos de papel e submetido à secagem em estufa de ar circulante, a 70°C, até a obtenção de peso constante.

A contagem do número de flores e do número de vagens foi efetuada 42 dias

após o plantio, quando as plantas se apresentavam em estádio de máxima floração, e na ocasião da colheita, respectivamente.

Para calcular o número de grãos por vagem, dividiu-se o número de grãos de cada unidade experimental pelo número de vagens respectivo.

O peso de 100 grãos foi determinado a partir do peso total de grãos de cada unidade experimental, com umidade padronizada para 13%, base úmida.

As alturas das plantas foram medidas quando os grãos já estavam em estádio de maturação e foram expressas em centímetros de altura da copa acima da superfície do solo.

A distribuição do sistema radicular, avaliada em percentagem da matéria seca, ao longo de seu comprimento foi determinada para uma repetição de cada tratamento, escolhida ao acaso. Para obter a matéria seca do sistema radicular, desmontaram-se as colunas de solo e lavou-se o sistema radicular com jatos de água. Antes dessa lavagem, foram medidas as profundidades alcançadas pelas raízes.

Cada sistema radicular foi, a seguir, seccionado, ao longo de seu comprimento, a cada 25 cm, embaladas as frações em sacos de papel perfurados, e secado em estufa de ar circulante, a 70°C, até a obtenção de peso constante.

Os dados referentes aos componentes de produção das plantas foram analisados estatisticamente.

Os dados referentes à percentagem de queda de flores foram transformados em $\text{arc sen } \sqrt{\frac{\%}{100}}$ e os referentes a número de grãos por vagem em \sqrt{x} (14). Entanto, as médias apresentadas para esses dois componentes de produção foram as originais.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observou-se, no decorrer do experimento, que a resposta das plantas à aplicação de nutrientes variou conforme o tipo de irrigação e profundidade do lençol freático. No tratamento referente à irrigação por superfície foi possível controlar as deficiências, o que não ocorreu nos tratamentos referentes à subirrigação. Quando as plantas entraram no estádio de floração, houve um amarelecimento progressivo, a partir das folhas inferiores até generalizar-se por toda a planta.

No início do aparecimento de sintomas de deficiência de nitrogênio, fez-se uma adubação, com 428 mg de NH_4NO_3 por coluna de solo, e, posteriormente, mais duas, na mesma proporção, de 10 em 10 dias, para evitar a deficiência, tomando como indicador o tratamento irrigado por superfície.

Observou-se também, durante o período experimental, que o desenvolvimento da parte aérea das plantas foi tanto melhor quanto maior a disponibilidade de água no solo e que o amarelecimento das plantas nos tratamentos referentes à subirrigação, no período da floração, provavelmente foi consequência da alta demanda de água e nutrientes pelas plantas nesse período de desenvolvimento. O pequeno volume de solo com umidade disponível para as plantas não foi suficiente para satisfazer à demanda de uso consuntivo nesse período crítico.

Por motivo do aparecimento de bicho-mineiro e ácaros, aplicaram-se 300 mg de Temik por unidade experimental. Posteriormente, quando reapareceram sintomas de ataque de ácaros, fez-se uma pulverização de Bidrim, na dosagem de 3 ml do produto em 5 l de água.

A temperatura no interior da casa de vegetação foi controlada, para manter as máximas e as mínimas próximas de 30 e de 18°C, respectivamente, que, segundo

SMITH e PRYOR (20) é a faixa de temperatura ótima para a germinação, crescimento e produção do feijoeiro.

3.1. Uso Consuntivo de Água pelo Feijão

Os dados de evapotranspiração acumulada média por coluna de solo, para os diversos tratamentos, e evaporação acumulada no tanque Classe A estão apresentados na Figura 2.

Observam-se elevados valores de uso consuntivo, decorrentes das condições da grande demanda evapotranspirométrica no interior da casa de vegetação. Pode ainda ser verificada uma correspondência entre as curvas da evapotranspiração e da evaporação no tanque Classe A, revelando os dados boa sensibilidade da metodologia utilizada, com relação à flutuação diária no uso consuntivo de água pelas plantas.

Verifica-se que os valores acumulados de uso consuntivo de água das plantas do tratamento irrigado por superfície e no caso da subirrigação, quando o lençol foi mantido perto da superfície, foram muito próximos dos valores de evaporação acumulada medidos no tanque Classe A. Verifica-se também que os valores acumulados de uso consuntivo de água pelas plantas diminuíram quando o lençol freático foi mantido a maiores profundidades.

Observou-se ainda maior declividade nas curvas de evapotranspiração acumulada a partir de 8 de setembro. Esse período de maior consumo correspondeu ao início de floração e formação de vagens.

O decréscimo nos valores de evapotranspiração a partir de 26 de setembro, para os tratamentos referentes à subirrigação, foi consequência, principalmente, do amarelecimento da parte aérea das plantas. Esse amarelecimento prematuro resultou, provavelmente, da ocorrência de potenciais matriciais de água no solo muito baixos, impedindo que as plantas extraíssem água e nutrientes suficientes para se desenvolverem normalmente.

3.2. Perfil de Absorção

Para determinar a condutividade hidráulica (K_0) do material de solo utilizado no experimento, usaram-se como permeámetro as próprias colunas de solo. O valor encontrado foi $1,82 \times 10^{-1}$ cm/h e, segundo a classificação de O'Neil, apresentada por KLUTE (9), a K_0 se classificou como lenta.

Esse baixo valor de condutividade hidráulica, associado à alta demanda de água pelas plantas, fez com que o potencial matricial, em grande parte da zona radicular, alcançasse valores muito baixos, impedindo que as plantas absorvessem água suficiente para satisfazer às necessidades de uso consuntivo.

A distribuição do potencial matricial $h(Z)$, calculada por meio das equações 4 ($V_0=0$) e 5, encontra-se na Figura 3, na qual se encontram plotados também os valores medidos experimentalmente, para efeito de comparação.

Na Figura 3, os baixos valores de potenciais matriciais medidos próximo à superfície, quando comparados com os valores estimados, foram devidos ao modelo utilizado, que não considera a evaporação na superfície. Pode ser observado ainda que a partir dos 32 cm de profundidade os valores estimados ficaram próximos dos valores medidos.

O valor de α , usado nas equações 4 e 5, que melhor aproximou os valores teóricos de potenciais matriciais dos medidos experimentalmente foi de $0,0451 \text{ cm}^{-1}$.

Os valores das constantes K_0 e α , para uma intensidade de aplicação, u , de $0,11 \text{ cm/dia}$ foram de $1,43 \text{ cm/dia}$ e $0,00122 \text{ dia}^{-1}$, respectivamente.

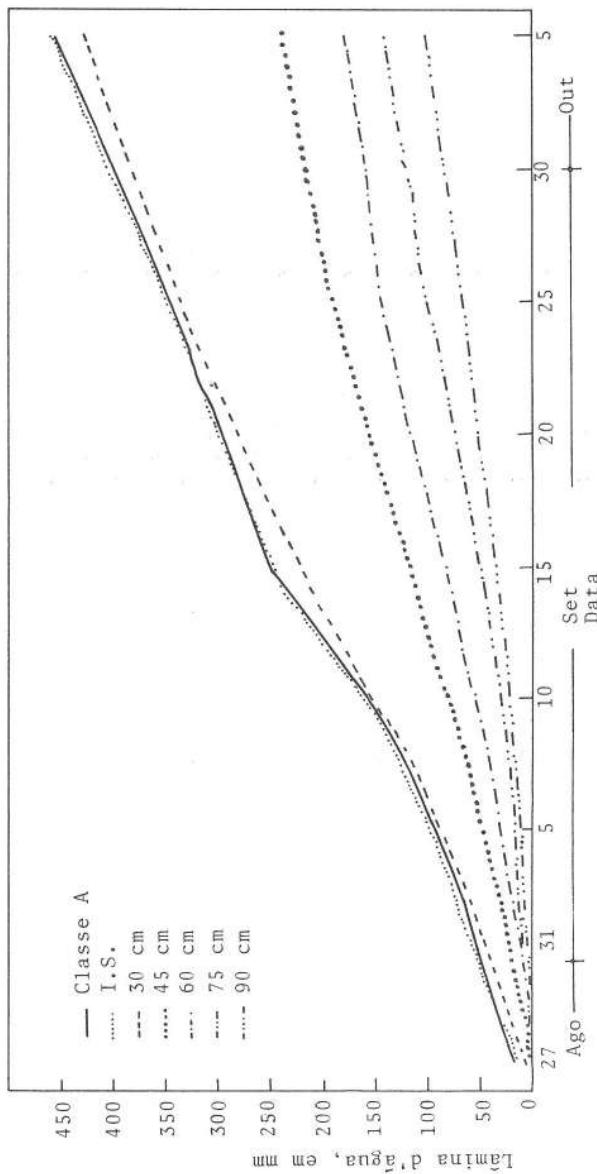


FIGURA 2 - Evapotranspiração acumulada, para os cinco níveis de lençol freático (30, 45, 60, 75 e 90 cm), para irrigação por superfície e evaporação do tanque Classe A.

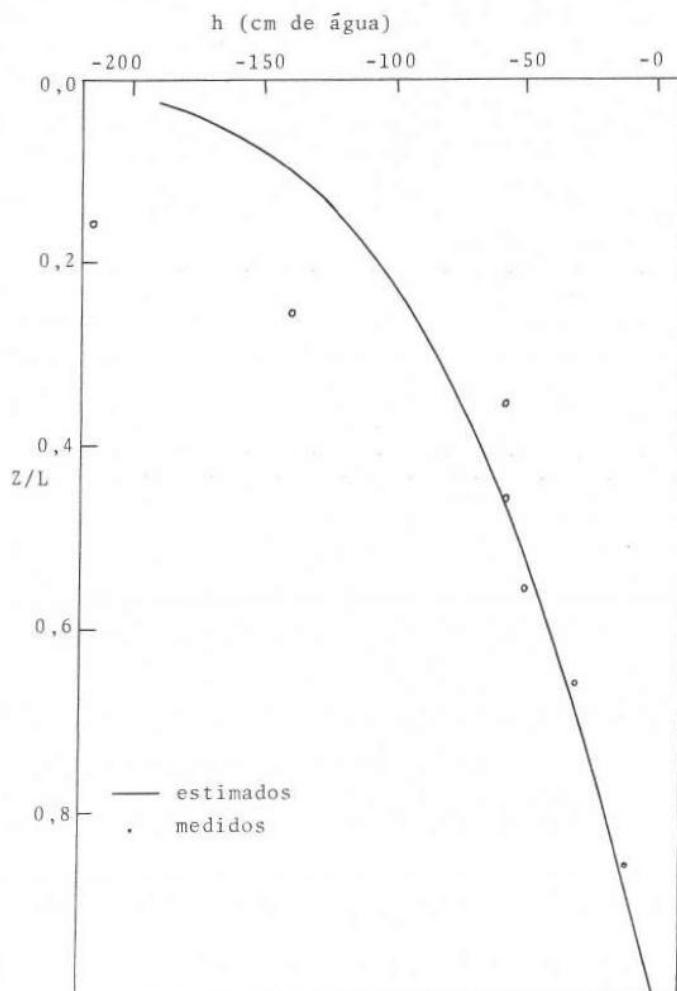


FIGURA 3 - Valores de potenciais matriciais (h) do início da tomada de dados até a floração, para o tratamento referente ao lençol de 90 cm de profundidade.

3.3. Produção e Características Agronômicas

A análise de variância dos dados de produção e das características agronômicas do feijoeiro mostrou efeito significativo de tratamentos, a 1% de probabilidade, pelo teste de F.

Observando o Quadro 1, verifica-se que tanto a produção de grãos como os componentes de produção estudados foram superiores quando se aplicou a irrigação por superfície. Nos tratamentos referentes à subirrigação, a produção de grãos e os componentes de produção tenderam a decrescer quando o lençol freático foi mantido a maiores profundidades.

As alterações apresentadas pelas plantas de feijão, no que se refere à produção de grãos e seus componentes, para os diferentes tratamentos, nas condições do ensaio, de maneira geral guardaram correspondência com o uso consuntivo de água registrado no período experimental.

Diante desses resultados, parece que, para o tipo de solo usado no experimento e para as condições em que o ensaio foi realizado, a modalidade de aplicação da água de irrigação foi sumamente importante para a produção de grãos e seus componentes.

Observa-se que o coeficiente de variação, para a produção de grãos, foi alto, mostrando que houve grande variação entre repetições do mesmo tratamento.

Estabelecendo comparações da distribuição entre as raízes dos diversos tratamentos (Quadro 2), verifica-se que os valores de matéria seca (e sistema radicular, no caso de irrigação por superfície, revelam ter ocorrido melhores condições de extração de água e de nutrientes neste do que nos demais tratamentos. Isso pode ser verificado com base no consumo de água registrado para os diferentes tratamentos e no desenvolvimento das plantas.

Esses resultados mostram que, quando toda a coluna de solo foi mantida com um teor de umidade adequado, como no caso do tratamento irrigado por superfície, as plantas foram estimuladas a produzir maior volume de raízes, que se distribuiu em toda a coluna de solo.

Nos tratamentos subirrigados as plantas estiveram sujeitas a «stress» de umidade, em consequência do pequeno volume de solo com umidade adequada para a extração de água. Possivelmente, mesmo tendo havido um crescimento do sistema radicular até próximo do lençol freático, a pequena densidade de raízes nessa região não foi suficiente para suprir as necessidades de água e nutrientes da planta.

4. RESUMO E CONCLUSÕES

Feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivado em um conjunto de colunas de PVC, preenchidas com material de um solo Aluvial Eutrófico A, fraco e moderado, de textura franco-argilosa, foi submetido a seis tratamentos, a saber: subirrigação com lençóis freáticos a 30, 45, 60, 75 e 90 cm de profundidade e irrigações, por superfície, aplicadas de dois em dois dias.

Valores de potenciais matriciais foram medidos e comparados com valores estimados, usando-se uma solução analítica da equação diferencial, linear, de fluxo de água no solo.

Houve maior consumo de água quando se fez irrigação por superfície e quando, nos tratamentos referentes à subirrigação, o lençol freático foi mantido a menores profundidades. Nos tratamentos referentes à subirrigação, o consumo de água decresceu conforme a profundidade do lençol freático.

QUADRO 1 - Dados médios de produção de grãos e componentes de produção

Trata- mento	Produção de grãos	Produção de maté- ria seca da par- te aérea da planta	Altura da planta	Percentagem de queda de flores	Número de grãos por vagem	Peso de 100 grãos
I.S.	52,12 a	47,98 a	89,25 a	39,09 a	5,93 a	14,34 a
30	11,91 b	22,73 b	77,50 a	71,82 b	4,31 ab	11,48 b
45	6,28 b	18,22 bc	69,75 a	79,68 cd	4,13 ab	11,20 b
60	3,58 b	13,40 c	48,25 b	82,36 c	3,13 ab	10,73 b
75	3,65 b	13,77 cd	47,75 b	79,37 de	2,70 b	12,23 b
90	3,27 b	11,90 d	40,25 b	76,36 bde	2,25 b	12,18 b
C.V. %	33,45	11,64	11,93	8,53	11,83	7,25

Médias seguidas da mesma letra não diferiram estatisticamente entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

QUADRO 2 - Comprimento total (cm), produção total de matéria seca (g) e distribuição percentual da matéria seca das raízes ao longo de sua extensão, para cada tratamento

Tratamento	Comprimento total (cm)	Máteria seca total (g)	Produção de matéria seca (%)			
			Extensão (cm)			
			0-25	25-50	50-75	75-100
I.S.	100	17,07	33,33	29,41	19,39	17,87
30	25	8,44	100	-	-	-
45	38	5,95	78,82	21,18	-	-
60	45	3,52	70,17	29,83	-	-
75	57	3,35	71,94	26,87	1,19	-
90	70	4,32	67,36	27,31	5,33	-

A profundidade e a distribuição do sistema radicular foram afetadas pelos tratamentos.

Tanto a produção de grãos como os componentes de produção estudados foram superiores quando se aplicou a irrigação por superfície, o que evidencia que, nos tratamentos referentes à subirrigação, as plantas não foram capazes de absorver água e nutrientes suficientes para desenvolvimento normal.

5. SUMMARY

(EFFECT OF SUBIRRIGATION, UNDER GREENHOUSE CONDITIONS, ON AGRONOMIC CHARACTERISTICS OF BEAN (*Phaseolus vulgaris* L.))

The common bean, *Phaseolus vulgaris* L., was cultivated in a greenhouse using PVC columns filled with clay-like soil material and submitted to six treatments: subirrigation, with ground water tables at depths of 30, 45, 60, 75 and 90 cm; and, surface irrigation, with application every other day.

The values of consumptive use in the surface irrigation treatments and in those with the ground water table at 30 cm were very close to the evaporation values measured in the tank, class A.

The production of seeds was greater for the surface irrigation treatment, indicating that, in the treatments related to subirrigation, the plants were not able to absorb sufficient water and nutrients for normal development.

6. LITERATURA CITADA

1. COLMAN, E.A. *Instruction Manual Mc — 300 A Soil Moisture meter and Cells*. Evanston, Illinois, U.S.A., Soil Test, Inc., 1970, 20 p.
2. CRIDDLE, W.D. & KALISVAART, C. Subirrigation systems in irrigation of agricultural lands. *Agronomy*. 11:905-921. 1967.
3. FERREIRA, P.A. *Evapotranspiration and soil matrix potentials using tension irrigation*. Tucson, University of Arizona, 1977. 96 p. (Tese de Ph.D.).
4. GARDNER, W.R. Some steady-state solutions of the unsaturated moisture flow equations with application to evaporation flow from a water table. *Soil Sci.* 85:228-232. 1958.
5. GARDNER, W.R. Relation of root distribution to water uptake and availability. *Agron. J.* 56:41-45. 1964.
6. GILLEY, J.R. & ALLRED, E.R. Infiltration and extraction from subsurface irrigation laterals. *Transaction of Am. Soc. Agric. Eng.* 17:927-933. 1974.
7. HILLEL, D.; FALPAZ, H. & VAN KEULEN, H. A macroscopic scale model of water uptake by a nonuniform root system and of water and salt movement in the soil profile. *Soil Sci.* 121:242-255. 1976.

8. KATTAN, A.A. & FLEMING, J.W. Effect of irrigation at specific stages of development on yield, quality, growth, and development of snap beans. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* 68:329-342. 1956.
9. KLUTE, A. Laboratory measurement of hydraulic conductivity of saturated soil. In Black, C.A., ed. *Methods of soil analysis*. Madison, Am. Soc. of Agron, 1965. p. 210-221.
10. LOMEN, D.E. & WARRICK, A.W. Time-dependent linearized infiltration. II. Line sources. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 38:568-572. 1974.
11. MIRANDA, O. & BELMAR, C. Déficit hídrico y frecuencia de riego em frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) *Agricultura Técnica*, Chile, 37:111-117. 1977.
12. MOLZ, F.J. & REMSON, I. Extraction term of soil moisture use by transpiring plants. *Water Resour. Res.* 6:1346-1356. 1970.
13. MORAES, H.N. de. *Perfil de extração, uso consuntivo de água e características agronómicas do arroz (*Oriza sativa* L.) em solos mineral e orgânico, usando cinco níveis de lençol freático*. Viçosa, U.F.V., Imprensa Universitária, 1980. 120 p. (Tese M.S.).
14. OLIVEIRA, L.M. *Transformação de dados*. Viçosa, U.F.V., 1977. 33 p. (Mimeo-grafado).
15. PIRES, E.T. *Redes de fluxo de água e dimensionamento de sistemas de drenagem, usando três tipos de solos*. Viçosa, UFV, Imprensa Universitária, 1980. 37 p. (Tese M.S.).
16. REICOSK, D.C.; MILLINGTON, R.J.; KLUTE, A. & PETERS, D.D. Patterns of water uptake and root distribution of soybeans (*Glycine max*) in the presence of a water table. *Agron. J.* 64:292-297. 1972.
17. REICHARDT, K. *Processos de transferência no sistema solo-planta-atmosfera*. 3.^a ed. Piracicaba, USP, CENA e Fund. Cargill, 1975. 286 p.
18. RICHARDS, L.A. & WADLEIGH, C.H. Soil water and plant growth. In: *Soil physical conditions and plant growth*. N. York, Academic Press, 1952. Vol. II, p. 73-251.
19. RICHARDS, L.A. Methods of measuring soil moisture tension. *Soil Sci.* 68:95-112. 1949.
20. SMITH, F.L. & PRYOR, R.H. Effects of maximum temperature and age on flowering and seed production in three bean varieties. *Hilgardia*, 33:669-688. 1962.
21. WARRICK, A.W. Solution to the one-dimensional linear moisture flow equation with water extraction. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 38:573-576. 1974.
22. YARON, B.; BRESER, E. & SHALLEVET, J. A method for uniform packing of soil columns. *Soil Sci.* 101:205-209. 1966.