

Drenagem para a cultura do feijão



Ministério da Agricultura, do Abastecimento e da Reforma Agrária
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA
Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão - CNPAF
Goiânia, GO



DRENAGEM PARA A CULTURA DO FEIJÃO

Pedro Marques da Silveira



Ministério da Agricultura, do Abastecimento e da Reforma Agrária
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA
Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão - CNPAF
Goiânia, GO

© EMBRAPA-1992
EMBRAPA-CNPAP. Circular Técnica, 26.

Exemplares desta publicação podem ser solicitados à:
EMBRAPA - Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão
Caixa Postal 179
Telex: 062-2241
Fax: 062-261.3880
74001-970 Goiânia, GO

Comitê de Publicações:

Gerson Pereira Rios
Luis Fernando Stone
Alberto Baêta dos Santos
Ana Lúcia D. Faria

Digitação/Arte-final:

Jose Batista Dantas
Júlio César S. Delfino
Wamir Soares R. Júnior

Programação Visual:

Lauro Mota
Gilson Dias de Oliveira
Sebastião José de Araújo

Tiragem: 1.000 exemplares

SILVEIRA, P.M. da. **Drenagem para a cultura do feijão**. Goiânia: EMBRAPA-CNPAP, 1992. 31p. (EMBRAPA-CNPAP. Circular Técnica, 26).

1. Drenagem. 2. Solo - Manejo. 3. Feijão - Drenagem. I. EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão (Goiânia, GO). II. Título. III. Série.

CDD 631.62

SUMÁRIO

	Pág.
1. INTRODUÇÃO	5
2. DRENAGEM E RESPOSTA DO FEJJOEIRO	5
3. DRENAGEM E ABSORÇÃO DE NUTRIENTES PELO FEJJOEIRO	6
4. PROFUNDIDADE DO LENÇOL FREÁTICO E CRITÉRIOS DE DRENAGEM	7
5. PRODUTIVIDADE DO FEJJOEIRO EM DIFERENTES CONDIÇÕES DE DRENAGEM	8
6. DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE DRENAGEM	9
6.1. Dimensionamento pelo Método Direto	9
6.2. Dimensionamento pelo Método Indireto	10
6.2.1. Determinação da Condutividade Hidráulica (k)	13
6.2.2. Determinação da Porosidade Drenável do Solo ()	15
7. SISTEMAS DE DRENAGEM	16
7.1. Tipos de Drenos	19
8. FILTRO	19
9. DIMENSIONAMENTO DE DRENOS	20
9.1. Dimensionamento de Dreno Aberto (vala)	20
9.1.1. Vazão de Descarga (Q)	21
9.1.2. Seção Transversal (S) e Raio Hidráulico (R)	21
9.1.3. Coeficiente de Rugosidade (n)	23
9.1.4. Declividade do Dreno	23
9.1.5. Velocidade Máxima Permissível	24
9.2. Dimensionamento de Dreno Subterrâneo	24
9.3. Profundidade e Comprimento do Dreno	25
10. ESTUDOS NECESSÁRIOS PARA ELABORAÇÃO DO PROJETO DE DRENAGEM	25
10.1. Reconhecimento e Delimitação da Área Afetada	26
10.2. Levantamento Topográfico	26
10.3. Estudo do Lençol Freático	26
10.4. Estudo do Solo e Clima	27
10.5. Elaboração do Projeto	28
11. MANEJO DA ÁGUA DE SUBIRRIGAÇÃO	28
12. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	30

DRENAGEM PARA A CULTURA DO FEIJÃO

Pedro Marques da Silveira¹

1. INTRODUÇÃO

Dentre as opções de plantio em várzeas, o feijão aparece como boa opção para algumas regiões brasileiras, principalmente na sucessão da cultura do arroz. Entretanto, o comportamento desta leguminosa em várzeas, bem como de outras culturas, como milho e trigo, é pouco conhecido. O manejo da água de irrigação e/ou a drenagem reveste-se de fundamental importância, uma vez que a planta é extremamente sensível aos excessos de água e, da mesma forma, à toxidez de alguns elementos químicos comuns nesses solos.

Consideram-se como várzeas solos aluviais e/ou hidromórficos, geralmente planos, ricos em matéria orgânica, irrigáveis, de boa fertilidade e apresentando, muitas vezes, umidade excessiva, necessitando, por isso, de drenagem adequada, razão principal do atraso do seu aproveitamento agropecuário racional (Lamster, 1980). O aproveitamento racional das várzeas irrigáveis situa-se como uma ótima opção, visando, principalmente, a incorporação de áreas de alta fertilidade no processo produtivo. Já foram levantados mais de 20 milhões de hectares de várzeas sem aproveitamento definido em todo o Brasil.

2. DRENAGEM E RESPOSTA DO FEJÓEIRO

As várias combinações de classe do solo, estágio de desenvolvimento, temperatura, comprimento do dia e duração da inundação podem dificultar o avanço de uma teoria única a respeito das injúrias causadas às plantas de feijão pela falta de drenagem do solo ou aeração deficiente. A respiração é um dos aspectos mais sensíveis da atividade da planta, e a redução da atividade respiratória tem efeito limitante no desenvolvimento da cultura. O aumento da resistência ao movimento de água através das raízes, o aumento da concentração de substâncias tóxicas nas plantas, diminuição do crescimento e do potencial de água da folha são outros aspectos negativos que ocorrem em condições de má drenagem do solo.

¹ Eng. - Agr., Dr., EMBRAPA/Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão (CNPAP), Caixa Postal 179, CEP 74001.970 Goiânia, GO.

Considerando o crescimento da planta como um processo metabólico que requer energia, é claro que a baixa concentração de oxigênio no solo, situação que ocorre quando existe má drenagem, exerce uma influência na taxa de crescimento da planta. Stolzy & Letey (1964) obtiveram plantas cloróticas de feijão quando a taxa de difusão de oxigênio no solo (TDO) caiu para cerca de $30 \times 10^{-8} \text{g. cm}^{-2} \cdot \text{min}^{-1}$. A TDO, o espaço poroso ocupado pelo ar, a permeabilidade ao ar, a difusão na fase gasosa são alguns índices propostos para descrever e caracterizar a aeração do solo. Infelizmente, são raríssimos os equipamentos, no Brasil, disponíveis para este fim. A metodologia de montagem do medidor e avaliação da taxa de difusão de oxigênio no solo foi apresentada por Silveira et al. (1987).

3. DRENAGEM E ABSORÇÃO DE NUTRIENTES PELO FEIJOEIRO

A absorção de íons pela planta está diretamente relacionada com a drenagem do solo. As razões para que haja tal resposta por parte da planta, embora não estejam bem explícitas, baseiam-se no fato de o oxigênio do solo afetar a permeabilidade da membrana celular, diminuindo-a, quando ausente ou quando encontrado em nível baixo.

Vários autores têm concordado que há uma menor absorção e, conseqüentemente, menor acúmulo de íons K, Ca, N, Mg e P na planta, quando a drenagem do solo não é satisfatória. Dentre todos os elementos nutritivos essenciais às plantas, a absorção de K é a mais influenciada pelo arejamento do solo. Harris & Van Bavel (1957), trabalhando com fumo, verificaram que a redução na absorção de íons obedeceu a seguinte ordem: $K > N > P > Mg > Ca$. As baixas concentrações de oxigênio no solo, além de diminuírem a absorção da maioria dos nutrientes essenciais, aumentam a disponibilidade de elementos químicos no solo que causam toxidez para a cultura do feijão. Em condições de drenagem deficiente, os microrganismos anaeróbicos e facultativos utilizam compostos oxidados do meio, em vez do oxigênio, como receptores de elétrons na cadeia respiratória. Desse modo, compostos de nitratos, compostos mangânicos, compostos férricos e compostos de sulfatos são reduzidos, e a ordem de redução, que depende do potencial redox, é: O_2 , NO_3^- , Mn^{4+} , Fe^{3+} , SO_4^{2-} e CO_2 . As reduções do manganês e do ferro aumentam as suas disponibilidades no solo, as quais podem provocar toxicidade desses elementos nas plantas de feijão.

4. PROFUNDIDADE DO LENÇOL FREÁTICO E CRITÉRIOS DE DRENAGEM

A profundidade ótima do lençol freático para cada espécie de planta é um dado fundamental para o projeto de instalação de drenagem, uma vez que, com base nessa profundidade, são calculados a profundidade, o espaçamento, o diâmetro e outras características dos drenos (Pizarro, 1978). Do ponto de vista técnico, pode-se definir a profundidade ótima do lençol freático como aquela que não ocasiona diminuição na produção das culturas.

As equações para o cálculo do espaçamento dos drenos, desenvolvidas originalmente na Holanda, na década de 40, envolvem parâmetros, tais como profundidade mínima do lençol freático, coeficiente de drenagem, permeabilidade do solo e profundidade da camada do perfil a ser drenada, e são aplicadas em condições onde a hipótese de regime permanente e uniforme seja aceitável. No regime permanente, supõe-se que o lençol freático encontra-se estabilizado, ou seja, que a quantidade de água que o alimenta seja igual a eliminada pelos drenos. Nesses casos, existe uma combinação entre o coeficiente de drenagem e a profundidade do lençol, cuja relação constitui um critério para dimensionamento, em condições de equilíbrio. Em condições de não-equilíbrio, ou seja, o lençol freático oscila, ascendendo depois de uma chuva ou irrigação e descendo quando não há adição de água, sendo o que ocorre, normalmente, em regiões tropicais, os critérios de drenagem são formulados em termos da velocidade com que o lençol deverá ser rebaixado (Cruciani, 1989).

Segundo Pizarro (1978), fundamentalmente, são dois os critérios de drenagem: o de época de irrigação e o de época de chuva. O critério de drenagem para a época de irrigação estabelece que "n" dias depois da aplicação da irrigação, o lençol freático deverá ter descido até uma profundidade "p". Os valores de "n" e "p" dependem, sobretudo, da espécie da planta. Normalmente, utiliza-se o valor de $n = 3$ dias, ainda que, em certos casos, sejam mais adequados os valores $n = 4$ ou $n = 2$ dias, este para as espécies mais sensíveis ao excesso de umidade. Quanto a "p", pode-se tomar a profundidade do solo, a qual depende da textura, onde 100% das raízes se acomodam sem impedimento. No critério de drenagem para a época de chuva, considera-se a elevação do lençol freático até a uma profundidade "p", medida desde a superfície do terreno, como consequência das precipitações. Pizarro (1978) também advertiu que os números indicados são unicamente orientadores e que os conhecimentos atuais não permitem estabelecer critérios seguros de drenagem. Cruciani

(1989) relatou que, nos EUA, um critério freqüentemente usado em regiões úmidas em condições de não-equilíbrio consiste em rebaixar o lençol, a partir da superfície do solo, pelo menos, 30 cm em 24 horas, ou 50 cm em 48 horas. Esse autor também fez a observação de que esses valores deveriam servir apenas de referência, pois o processo depende, claramente, das condições locais e, principalmente, da ocasião em que o lençol se eleva excessivamente durante o ciclo vegetativo da planta.

O processo de rebaixamento do nível freático é um fenômeno que deve ser bem caracterizado para as condições particulares do projeto, não sendo recomendável tentativa de extrapolação de valores de outras regiões. Dentre os fatores que devem ser considerados estão a espécie de planta e seu estágio de desenvolvimento, condições climáticas, estação do ano, posição inicial do lençol no fim da recarga e propriedades físicas do solo local.

5. PRODUTIVIDADE DO FEIJOEIRO EM DIFERENTES CONDIÇÕES DE DRENAGEM

A produtividade do feijoeiro em condições de drenagem imperfeita é bastante afetada. Silva (1982) observou significativa redução da produção da planta com a inundação do solo por dois dias, em comparação com plantas em condições ideais de umidade do solo. No florescimento, a produção foi reduzida de 48%, 57% e 68% quando ocorreram inundações de dois, quatro e seis dias, respectivamente. Verificou também que a fase de início de frutificação é a mais sensível a má aeração do solo e concluiu que, para obter altas produções, o feijoeiro não tolera nem mesmo pequenos períodos de inundação. Uma forte redução no rendimento, cerca de 90%, foi observada por Forsythe & Legarda (1978) quando submeteram uma variedade de feijão (27-R) a cinco inundações semanais por período de 12 horas. Igual redução foi observada por Muñoz (1973), com 6 ou 12 inundações de 9 horas de duração.

Menezes & Pinto (1967) em uma condição de excesso de umidade do solo no estágio de florescimento-frutificação do feijoeiro, obtiveram uma produtividade de 56 kg/ha enquanto que, mantendo-se a umidade em torno da "capacidade de campo" durante todo o ciclo da cultura, a produtividade foi de 1042 kg/ha, isto é, 18,6 vezes maior.

A profundidade do lençol freático restringe a produtividade da cultura pois abaixo da linha de saturação não há aeração e sem aeração as raízes não se desenvolvem. A Tabela 1 apresenta a profundidade ótima do lençol

TABELA 1. Profundidade ótima do lençol freático para o feijão.

Autor(es)	Prof. lençol freático (cm)	Condição	Solo
Goins et al. (1966)	80-90	C/l ¹	franco argilo-siltoso
Goins et al. (1966)	40-50	C/l	franco arenoso
Van Hoorn, citado por Williamson & Kriz (1970)	150	C/l	argiloso
Williamson & Kriz (1970)	30	S/l ²	franco arenoso
Williamson & Kriz (1970)	76	C/l	franco arenoso
Lima (1895)	55-60	S/l	argila pesada
Pinto (1985)	80	C/l	argila
Silveira (1987)	90	C/l	argilo-arenoso

¹ C/l = com irrigação; ²S/l = sem irrigação

freático para o feijoeiro, obtida em ensaios experimentais, segundo vários autores.

6. DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE DRENAGEM

A drenagem do solo consiste na eliminação do excesso de água da camada de solo onde se desenvolve o sistema radicular das plantas, o que em geral é conseguido por meio do abaixamento do lençol freático.

Segundo Bernardo (1982), no dimensionamento do sistema de drenagem, o espaçamento e a profundidade dos drenos são os dois principais parâmetros a se considerar. Estes dependem do solo, da quantidade de água a ser drenada, da linha de efeito útil da drenagem e da profundidade do solo que se deseja drenar.

A determinação do espaçamento e da profundidade dos drenos pode ser feita por método direto ou por método indireto.

6.1. Dimensionamento pelo Método Direto

O método direto consiste na determinação "*in loco*" da declividade da linha de efeito útil da drenagem do solo. Esta linha deve ser determinada na área a ser drenada, por meio de uma série de poços abertos na direção perpendicular a um dreno, conforme Fig. 1. A água do dreno deve

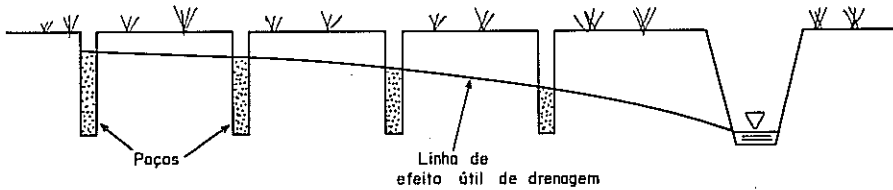


FIG. 1. Determinação "in loco" da linha do efeito útil de drenagem (Bernardo, 1982).

ser retirada para fora da área, até tornar-se constante o nível da água dentro do poço. Unindo os pontos do nível da água em um gráfico, tem-se a declividade da linha de efeito útil da drenagem daquele solo. Conhecendo esta linha, pode-se determinar qual deverá ser o espaçamento e a profundidade dos drenos, para uma determinada profundidade mínima desejada do lençol freático no meio de dois drenos.

6.2. Dimensionamento pelo Método Indireto

Entre as muitas equações para estimar o espaçamento dos drenos, pode-se citar a equação de GLOVER-DUMM. De acordo com Cruciani (1989), o princípio básico dessa equação é promover um rebaixamento do lençol logo após a sua elevação causada pela recarga, em função de um certo tempo t , das propriedades do solo e da profundidade e espaçamento dos drenos.

A Fig. 2 tirada de Cruciani (1989) mostra o esquema desse conceito.

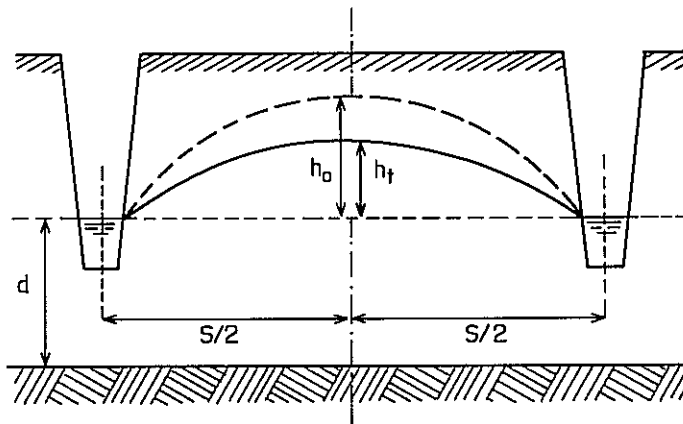


FIG. 2. Variação do nível do lençol freático sob efeito da recarga não permanente e da descarga dos drenos (Cruciani, 1989).

A equação de GLOVER-DUMM é a seguinte:

$$S^2 = \frac{11^2 K d t}{\alpha 1n (1,16 \text{ ho/ht})}$$

onde:

s = espaçamento dos drenos (m)

ho = altura inicial do lençol sobre os drenos, logo após cessar a recarga (m)

ht = altura final do lençol sobre os drenos após um rebaixamento ocorrido durante o tempo t (m)

t = tempo em dias

K = condutividade hidráulica do perfil (m/dia)

α = porosidade drenável do solo (cm^3/cm^3)

d = profundidade da barreira, abaixo dos drenos (m)

Para calcular o espaçamento correto (L), há necessidade de se utilizar uma outra equação:

$$L = S - C$$

O valor de C pode ser determinado pela fórmula:

$$C = d \ln \frac{d}{P}$$

P = perímetro molhado do dreno

No caso de dreno tubular

$$P = 11 R, (R = \text{raio do dreno})$$

Exemplo de cálculo:

Deseja-se que o rebaixamento do lençol freático em uma área de 25 ha ocorra entre as profundidades de 0,50 m para 0,90 m, em 3 dias após a irrigação. A condutividade hidráulica do perfil é de 0,8 m/dia e sua porosidade drenável de 8%. Os drenos tubulares de 3 polegadas de diâmetro

estarão situados a 1,30 m de profundidade. Trata-se de um solo homogêneo de 2,8 m de espessura, abaixo do qual existe uma camada impermeável. O exemplo é representado pela Fig. 3.

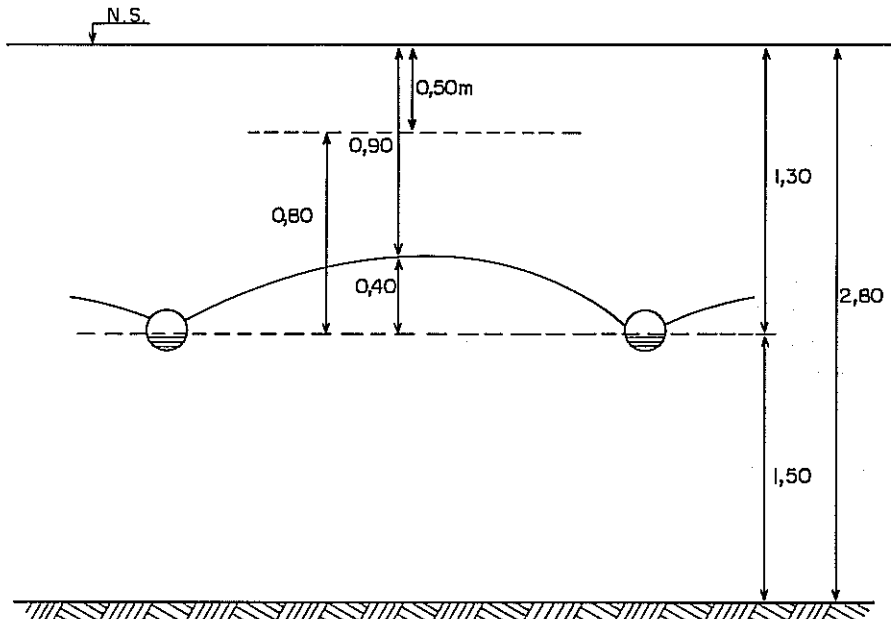


FIG. 3. Representação do perfil do solo, posição dos drenos e do lençol freático.

$h_o = 0,80 \text{ m}$
 $h_t = 0,40 \text{ m}$
 $t = 3 \text{ dias}$
 $k = 0,8 \text{ m/dia}$
 $\alpha = 0,08$
 $d = 1,50 \text{ m}$

$$S^2 = \frac{3,1416^2 \times 0,8 \times 1,50 \times 3}{0,08 \ln(1,16 \cdot 0,8/0,4)} = 23 \text{ m}$$

O espaçamento L é dado por:

$$L = S - C$$

$$C = d \ln \frac{d}{p}$$

$$P = \pi r = 3,1416 \times 0,0375 = 0,118 \text{ m}$$

$$C = 1,5 \ln \frac{1,5}{0,118} = 4,3 \text{ m}$$

$$L = 23,0 - 4,3 = 18,7 \text{ m}$$

6.2.1. Determinação da Condutividade Hidráulica (k)

O método mais simples para medir a condutividade hidráulica, em condições de campo, na presença do lençol freático é o método de AUGER-HOLE (Bernardo, 1982). Ele consiste em abrir, com um trado, um poço até o lençol freático, de modo que a altura da lâmina d'água, dentro do poço, seja de cinco a dez vezes o seu diâmetro. O nível da água dentro do poço é abaixado, normalmente, por bombeamento, e mede-se o tempo gasto para o nível da água atingir a certa altura. A condutividade hidráulica é determinada pela seguinte equação, cujos termos estão esquematizados na Fig. 4 (Bernardo, 1982).

$$K = 2220 \frac{r}{SH} \times \frac{\Delta Y}{\Delta T}$$

onde:

K = condutividade hidráulica, em cm/h

r = raio do poço, em cm

H = profundidade da água no poço antes do bombeamento (D - B), em cm

S = função de d/H (Fig. 5)

d = média da profundidade da água no poço durante o teste

$$\left(D - A + \frac{\Delta Y}{2} \right), \text{ em cm}$$

A Tabela 2 apresenta alguns valores de condutividade hidráulica saturada, em m/dia, para solos de diferentes texturas (Millar, 1978).

TABELA 2. Valores da condutividade hidráulica para solos de diferentes texturas.

"Tipo" do solo	Condutividade hidráulica (m/dia)
Textura fina	< 0,036
Textura média	0,036 - 1,560
Textura grossa	1,560 - 3,000
Turfa	3,000 - 6,000

6.2.2. Determinação da Porosidade Drenável do Solo

Conhecendo-se a porosidade total e a "capacidade de campo" de um solo, pode-se determinar a sua porosidade drenável pela seguinte equação:

$$\alpha = P - CC$$

em que:

α = porosidade drenável, em %

P = porosidade total do solo, em %

CC = "capacidade de campo" do solo, base em volume, em %.

Também, α pode ser calculado por:

$$\alpha = 100 \left(1 - \frac{d_g}{d_p} \right) - CC$$

em que:

d_g = densidade aparente do solo em g/cm³

d_p = densidade das partículas do solo em g/cm³.

As Tabelas 3 e 4 mostram dados práticos de espaçamento e profundidade de drenos para vários "tipos" de solos (Daker, 1973).

TABELA 3. Dados práticos de espaçamento e profundidade de drenos, de acordo com vários "tipos" de solos (Daker, 1973).

"Tipos" de solos	Espaçamento (m)	Profundidade (m)
Areia	60-100	1,05-1,20
Barro arenoso	30-60	0,90-1,20
Barro	30-45	0,90-1,20
Barro limoso	25-35	0,90-1,05
Barro argiloso	15-20	0,90-1,05
Argila	10-15	0,80-0,90
Turfa	25-60	1,20-1,50

TABELA 4. Dados práticos de espaçamento e profundidade de drenos, de acordo com vários "tipos" de solos (Daker, 1973).

"Tipos" de solos	% de partículas do solo			Espaçamento para a profundidade de 0,6 a 0,9 m	Espaçamento para a profundidade de 0,9 a 1,2 m
	Areia	Limo	Argila		
Areia	80-100	0-20	0-20	30-45	45-90
Barro arenoso	50-80	0-50	0-20	25-30	30-45
Barro	30-50	30-50	0-20	22-25	25-30
Barro limoso	0-50	50-100	0-20	20-25	22-25
Barro argilo-arenoso	50-80	0-30	20-30	17-20	20-22
Barro argiloso	20-50	20-50	20-30	14-17	17-20
Barro argilo-limoso	0-30	50-80	20-30	12-14	14-17
Argila arenosa	50-70	0-20	30-50	11-12	12-14
Argila limosa	0-20	50-70	30-50	9-11	11-12
Argila	0-50	0-50	30-100	7-9	9-11

7. SISTEMAS DE DRENAGEM

Em geral, os sistemas de drenagem são constituídos de drenos laterais, drenos coletadores e dreno principal.

1 - Drenos laterais: têm a finalidade de controlar a profundidade do lençol freático ou absorver o excesso de água da superfície do solo. São geralmente dispostos paralelamente entre si.

2 - Drenos coletores: têm a finalidade de receber a água dos drenos laterais e levá-la ao dreno principal.

3 - Dreno principal: tem a finalidade de receber a água de toda área e conduzi-la até a saída.

A Fig. 6 apresenta o esquema composto por estas três categorias de drenos (Cruciani, 1989).

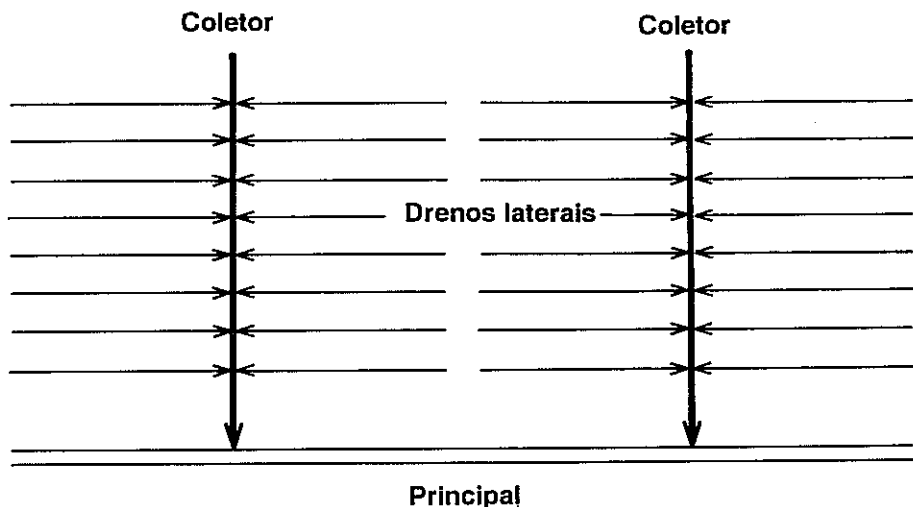


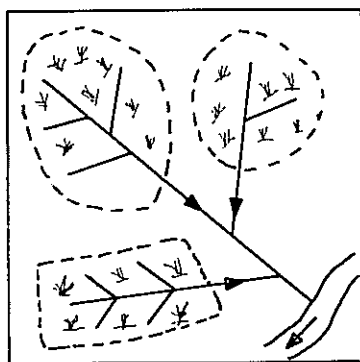
FIG. 6. Categorias de drenos.

De acordo com a topografia da área e a origem do excesso da água, os drenos podem ser dispostos de modo a formarem diferentes sistemas de drenagem (Daker, 1973). A Fig. 7 mostra alguns tipos de sistemas.

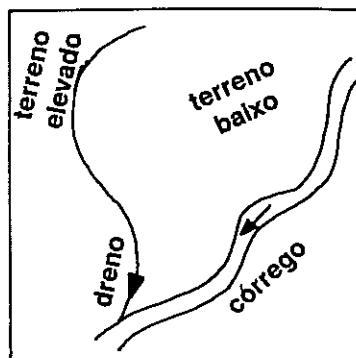
Sistema Casualizado: usado quando, na área, encontram-se pequenas depressões úmidas de maneira casualizada. O dreno coletor deve acompanhar a maior depressão, recebendo a água dos drenos laterais que partem das áreas úmidas.

Sistema Paralelo: chama-se assim ao sistema em que os drenos laterais entram por um lado do dreno coletor.

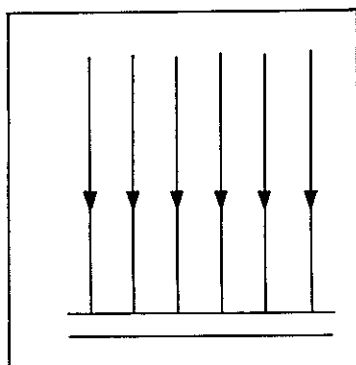
Sistema Espinha de Peixe: usado quando o terreno apresenta uma



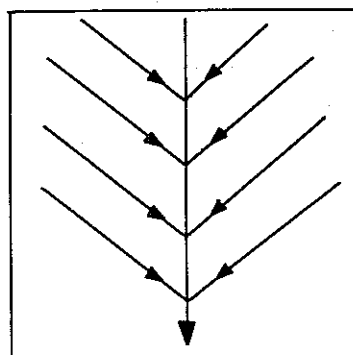
Casualizado



Interseção



Paralelo



Espinha de peixe

FIG. 7. Sistemas de drenagem.

depressão estreita, onde podem ser colocados os drenos coletores. Os drenos laterais desaguam em ambos os lados do dreno coletor.

Sistema de Interseção: usado em áreas planas e úmidas, cujo excesso de água provém de terrenos altos adjacentes. O dreno interceptor ou de encosta é colocado no encontro do terreno alto com o baixo, disposto perpendicularmente ao sentido de fluxo da água, interceptando a água e levando-a para fora da área.

7.1. Tipos de Drenos

Os drenos podem ser abertos ou cobertos.

Drenos Abertos: são as valetas, canais ou valas que efetuam tanto a drenagem superficial como a drenagem subterrânea. São de custo inicial mais baixo e permitem fácil inspeção, limpeza e manutenção. Entretanto, dificultam o trabalho de máquinas, causam perda de parte do terreno para cultivo e exigem maiores gastos com manutenção.

Drenos Cobertos: também chamados de drenos subterrâneos ou subsuperficiais, referem-se a qualquer tipo de condutos porosos instalados sob a superfície do solo que coletam e conduzem a água da drenagem. Podem ser constituídos de diferentes materiais, tais como: pedra, tijolo ou telha, manilha, concreto, pvc e outros.

A Fig. 8 mostra dois tipos de drenos e a forma do lençol freático.

8. FILTRO

É o material que se coloca em torno do dreno tubular e tem as funções de melhorar a permeabilidade ao redor do dreno e dificultar a entrada de partículas do solo no mesmo. O cascalho é um tipo de material que pode ser usado, tendo-se o cuidado que o seu tamanho seja maior do que os orifícios do dreno. A espessura do filtro ao redor do dreno, deve ser no mínimo de 10 cm.

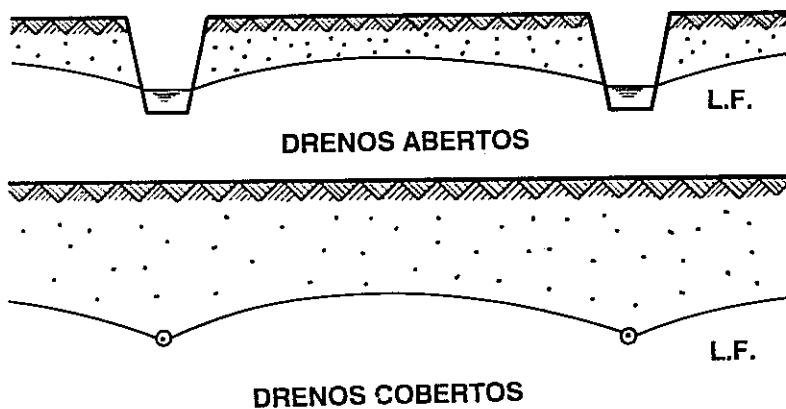


FIG. 8. Tipos de drenos.

Apesar de se empregar os filtros, uma certa quantidade de partículas entrará no dreno, e assim convém que este tenha uma declividade para permitir que a velocidade da água seja, no mínimo, de 0,35 m/segundo. A Fig. 9 mostra o corte transversal de um dreno tubular envolto por um filtro de cascalho.

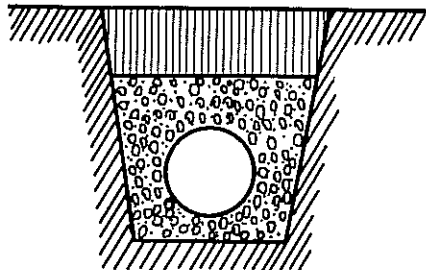


FIG. 9. Corte transversal de um dreno tubular envolto por um filtro de cascalho.

9. DIMENSIONAMENTO DE DRENOS

9.1. Dimensionamento de Dreno Aberto (vala)

A quantidade de água ou vazão que uma vala pode transportar depende de sua seção transversal e da velocidade da água na mesma, de acordo com a seguinte relação:

$$Q = S.V.$$

A velocidade da água pode ser calculada pela fórmula de Manning:

$$V = 1/n \times R^{2/3} \times I^{1/2}$$

Logo, a vazão pode ser calculada por:

$$Q = S \frac{1}{n} \times R^{2/3} \times I^{1/2}$$

em que:

Q - vazão de descarga ($m^3/s.$).

S - seção transversal da área molhada (m^2)

n - coeficiente de rugosidade das paredes do dreno

R - raio hidráulico

I - declividade do dreno aberto (m/m).

9.1.1. Vazão de Descarga (Q)

O valor de Q pode ser determinado conhecendo a área (A) a ser drenada e o coeficiente de drenagem (q).

$$Q = A \times q$$

Conhecendo a espessura do rebaixamento do lençol freático (Δh), a porosidade drenável do solo (α) e o tempo para rebaixamento do lençol (t), tem-se que:

$$q = \frac{\Delta h \times \alpha}{t}$$

$$h = h_0 - ht$$

No exemplo anterior, do cálculo do espaçamento do dreno, foi dado que:

$$h = h_0 - ht = 0,80 - 0,40 = 0,40 \text{ m} = 400 \text{ mm}$$

$$\alpha = 0,08$$

$$t = 3 \text{ dias.}$$

Logo:

$$q = \frac{400 \times 0,08}{3} = 10,7 \text{ mm/dia}$$

$$Q = 25 \times 10,7 = 267,5 \text{ mm/dia} = 31 \text{ l/s} = 0,031 \text{ m}^3/\text{s}$$

9.1.2. Seção Transversal (S) e Raio Hidráulico (R)

A Fig. 10 apresenta um corte transversal, em um dreno trapezoidal, com seus principais parâmetros.

A seção transversal (S) é dado por:

$$S = h (b + mh)$$

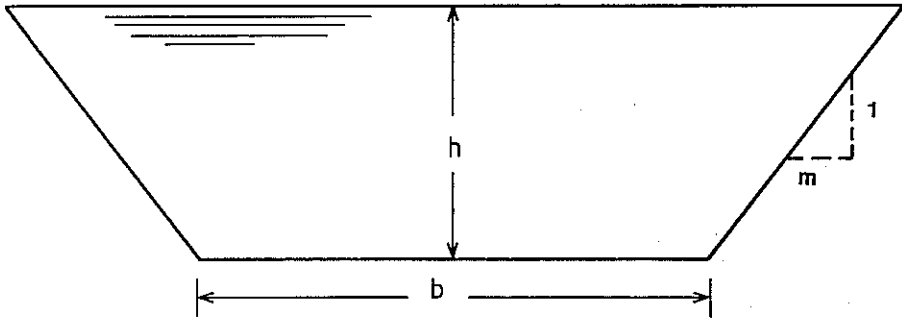


FIG. 10. Seção transversal de um dreno trapezoidal.

sendo:

S = área da seção transversal, em m^2

h = altura da lâmina d'água no dreno, em m

b = largura do fundo do canal, em m

m = inverso de declividade das faces laterais

O raio hidráulico (R) é dado por:

$$R = \frac{S}{P}$$

O valor de P (perímetro molhado) é dado pela expressão:

$$P = b + 2h\sqrt{1 + m^2}$$

Logo:

$$R = \frac{h(b + mh)}{b + 2h\sqrt{1 + m^2}}$$

A Tabela 5 apresenta os taludes mais recomendáveis na construção de valas, para a determinação de m (Millar, 1974).

TABELA 5. Taludes recomendáveis para valas de acordo com a textura do solo.

Textura do Solo	Talude
Argiloso	1 : 1
Franco Arenoso	2 : 1
Arenoso	3 : 1

9.1.3. Coeficiente de Rugosidade (n)

O coeficiente de rugosidade depende principalmente das condições de limpeza da vala. A Tabela 6, apresenta alguns valores de coeficientes de rugosidade (Millar, 1974).

TABELA 6. Coeficiente de rugosidade (n).

Condições da vala	Valor de n
Valas limpas	0,022 - 0,030
Valas ligeiramente com vegetação	0,040 - 0,067
Valas com vegetação	0,050 - 0,10
Valas com muita vegetação	0,067 - 0,20

9.1.4. Declividade do Dreno

A declividade dos drenos, tanto quanto possível, deve se ajustar à inclinação natural do terreno. É preferível ter-se declividades um pouco mais fortes para que não haja depósito de material arrastado, sem entretanto, chegar a causar erosão nas paredes do dreno. Cruciani (1989) observa que o declive necessário ao escoamento em drenos abertos é menor do que em drenos subterrâneos, visto que a inspeção e manutenção destes últimos é mais problemática, exigindo medidas de segurança. Assim, em canais, um declive médio de 0,1% é suficiente, ao passo que em drenos tubulares deve ser em torno de 0,3 a 0,5%.

9.1.5. Velocidade Máxima Permissível

Com a finalidade de evitar a erosão, a velocidade da água no canal, não deve exceder certos valores máximos, os quais dependem do solo (Tabela 7).

TABELA 7. Valores máximos recomendáveis de velocidade da água em canais.

Tipo de Canal	Velocidade m/s
Canal em areia muito fina	0,2 - 0,3
Canal em areia grossa pouco compactada	0,3 - 0,5
Canal em terreno arenoso comum	0,6 - 0,8
Canal em terreno argiloso	0,7 - 0,8
Canal em terreno argiloso compacto	0,8 - 1,2
Canal em rocha	2,0 - 4,0
Canal de concreto	4,0 - 10,0

9.2. Dimensionamento de Dreno Subterrâneo

Millar (1974) apresentou as seguintes relações para determinação da vazão de descarga:

Fluxo constante (dreno cheio)

a - Dreno liso

$$Q = 50,7 d^{2,71} l^{0,57}$$

b - Dreno corrugado

$$Q = 21,7 \times d^{2,67} \times l^{0,50}$$

onde:

Q = vazão de descarga, m³/s

d = diâmetro do dreno, m

l = declividade do dreno, m/m.

Para a determinação do diâmetro do dreno (d) Visser citado por Millar (1974), propôs a seguinte relação:

$$d = 0,0209 R^{0,375} A^{0,375} I^{-0,206}$$

onde:

- d = diâmetro do dreno (m)
- R = coeficiente de drenagem (m/dia)
- A = área a drenar (m²)
- I = declividade do terreno (m/m).

O diâmetro mínimo recomendável para drenos de manilhas é de 4 polegadas. No caso de possível acúmulo de sedimentos, deve-se usar declividades que proporcionem velocidades mínimas de 0,5 m/s. Millar (1974) cita que podem ser usados tubos de 4 polegadas até comprimento de 350 metros; de 6 polegadas até 800 metros, de 8 polegadas se os drenos são ainda maiores.

9.3. Profundidade e Comprimento do Dreno

Em geral, uma profundidade crítica do lençol freático para solos arenosos se pode fixar em 0,8 m. Para solos de textura média a argilosa, os drenos devem ter uma profundidade de mais de 1,0 m (Millar, 1974). Os drenos coletores devem ter uma profundidade 0,3 m maior que a profundidade dos drenos laterais.

À medida que se vai aumentando o comprimento de um dreno, maior área irá ele drenar. A declividade do terreno pode limitar o comprimento dos drenos. Em terrenos nivelados o dreno ficaria muito superficial no início e muito profundo no fim. Um máximo em torno de 300 m é estipulado para os casos usuais (Daker, 1973).

10. ESTUDOS NECESSÁRIOS PARA ELABORAÇÃO DO PROJETO DE DRENAGEM

Uma série de informações de campo e de escritório são necessárias para a elaboração de um projeto de drenagem. Devido à grande variabilidade das situações que podem ser encontradas, não existe uma sistemática de aplicação geral na realização do projeto. Entretanto, uma seqüência resumida de trabalho de campo e de escritório deve ser observada como:

- Reconhecimento e delimitação da área afetada
- Levantamento topográfico
- Estudo do lençol freático
- Estudo do solo
- Elaboração do projeto.

10.1. Reconhecimento e Delimitação da Área Afetada

Inicialmente deve-se conhecer toda a área a ser drenada e as adjacentes, verificando a possível origem do excesso de água, delimitação de área afetada, localização de pontos de emissão ou evacuação da água, acidentes topográficos entre outros. Informações e experiências de agricultores da região podem ser muito úteis.

10.2. Levantamento Topográfico

O levantamento plano-altimétrico da área é um dos elementos indispensáveis no projeto. Os mapas devem traduzir fielmente uma real representação da superfície do terreno e inclui todos os acidentes naturais de importância. Para áreas pequenas e estudo de um grau maior de detalhes, recomenda-se escala de 1:2.000. As curvas de nível podem ser locadas equidistantes de 0,25 a 0,50 m, conforme a declividade do terreno.

10.3. Estudo do Lençol Freático

Para este estudo, há necessidade de ser instalada uma rede de poços de observação, cobrindo toda a área do projeto. O poço de observação, consiste em um buraco aberto no solo, de 5 a 10 cm de diâmetro, até uma profundidade tal que cubra o nível mínimo esperado do lençol freático. A Fig. 11 mostra detalhes de um poço de observação.

O espaçamento entre o poço de observação e sua densidade dependem do grau de variação nos gradientes hidráulicos que se pretende adotar e do nível de estudo. São usados espaçamentos de 20 m a 100 m ou mais.

Vários procedimentos podem ser usados para medir a profundidade do lençol freático dentro do poço de observação. A frequência das leituras depende do grau de mudança nos níveis que se deseja registrar. Para fins de delineamento, leituras semanais podem ser suficientes.

Os valores das leituras coletadas no poço de observação devem ser registradas num mapa topográfico onde é traçada a configuração da su-

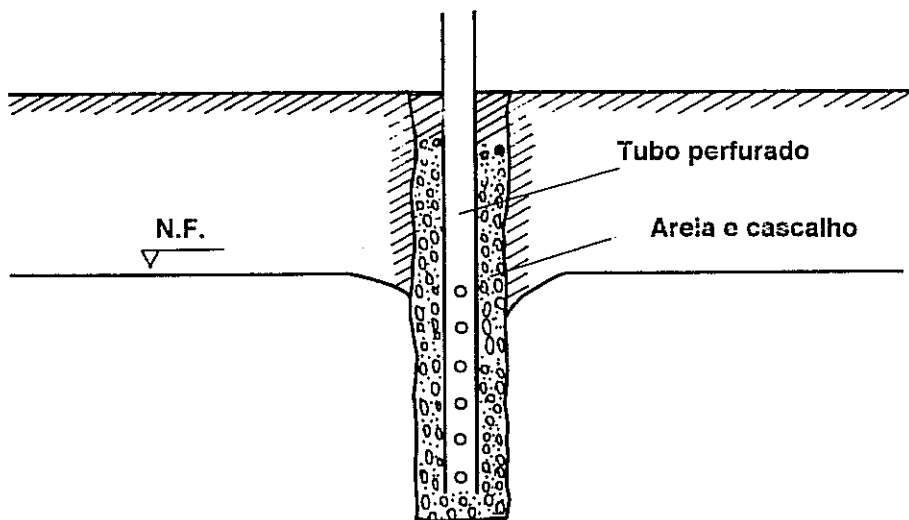


FIG. 11. Representação de um poço de observação.

perfície freática. No mapa do lençol são traçadas as isobatas ou linhas de mesma profundidade do lençol.

A direção do fluxo subterrâneo pode ser identificada como na direção perpendicular às linhas de contorno do lençol. Isto é muito importante porque os drenos laterais devem ser colocados transversais à direção do fluxo da água freática.

10.4. Estudo do Solo e Clima

A condutividade hidráulica e a macroporosidade do solo são duas propriedades do solo que precisam ser determinadas, porque, como já vimos, estas variáveis entram diretamente nas fórmulas de cálculo do espaçamento do dreno. Além disso, deve-se ter um mapeamento completo dos solos encontrados, com estudo de seus estratos, incluindo o tipo de textura, profundidade das camadas permeáveis e localização dos impermeáveis.

Em relação ao clima, os dados mais importantes a serem obtidos são a precipitação anual e a sua distribuição nos diferentes meses.

10.5. Elaboração do Projeto

Na elaboração do projeto, além dos estudos e determinações precedentes, uma outra informação essencial é o conhecimento dos critérios de drenagem exigidos pela cultura. Como já vimos os critérios de drenagem, em condições de não-equilíbrio, são formulados em termos de velocidade com que o lençol deverá ser rebaixado. Velocidade é uma relação entre espaço e tempo, sendo que espaço é a profundidade que o lençol deve ser rebaixado e tempo é o tempo de drenagem em dias.

De posse de todas as informações necessárias, o passo a seguir é a determinação do espaçamento dos drenos e a elaboração do sistema de drenagem. O sistema de drenagem é locado num mapa topográfico da área e posteriormente implantado em campo.

11. MANEJO DA ÁGUA DE SUBIRRIGAÇÃO

Subirrigação é o método de irrigação ao qual a água é aplicada diretamente sob a superfície do solo, geralmente por meio da criação, manutenção e controle do lençol freático a uma profundidade pré-estabelecida. A água atinge as raízes das plantas por meio de ascensão capilar. O lençol freático deve ser mantido a uma profundidade tal, de modo que obtenha a melhor combinação entre água e ar na zona das raízes (Bernardo, 1982).

A subirrigação com o lençol freático estável e a subirrigação com o lençol variável são dois métodos empregados na cultura de feijão em várzeas. Para o manejo da água de subirrigação, neste caso, é necessário que exista instalado no solo uma bateria de poços de observação e de tensiômetros conforme mostra a Fig. 12.

O tensiômetro é um instrumento usado para indicar o momento de se fazer a irrigação ou a drenagem. Ele é constituído de uma cápsula de porcelana porosa ligada a um tubo com uma tampa hermética na extremidade superior, onde também se encontra um manômetro de mercúrio ou um vacuômetro. Os tensiômetros medem diretamente a tensão da água e indiretamente a percentagem de umidade do solo. A Fig. 13 mostra detalhes de um tensiômetro.

Conhecendo as leituras diárias dos tensiômetros instalados em determinado perfil do solo, sabe-se a necessidade ou não de se movimentar o lençol freático. Se as leituras estão indicando baixa tensão de água, ou seja, alta umidade do solo a profundidade do lençol freático deve ser re-

baixada e vice-versa. Assim, pode-se ter um bom controle de água de irrigação, evitando os problemas causados pelo excesso e déficit de água na cultura do feijão.

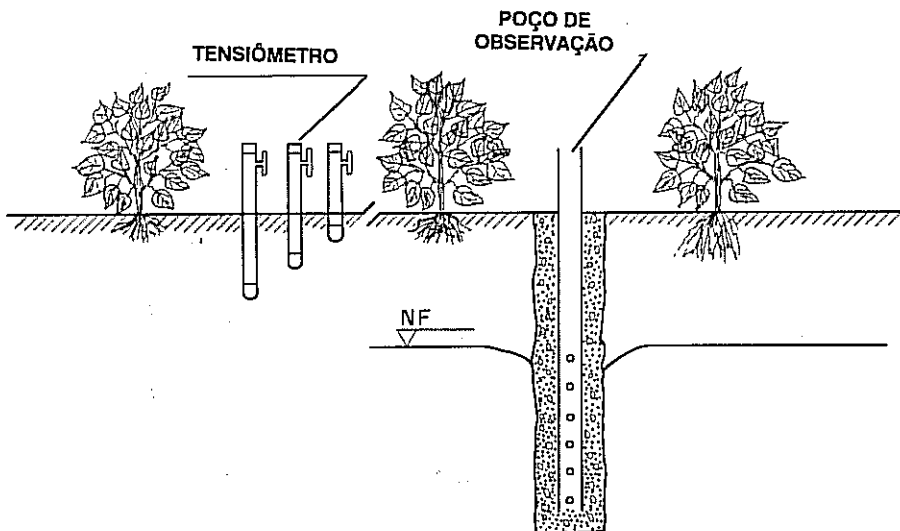


FIG. 12. Representação de um poço de observação e tensiômetros em campo para manejo da subirrigação.

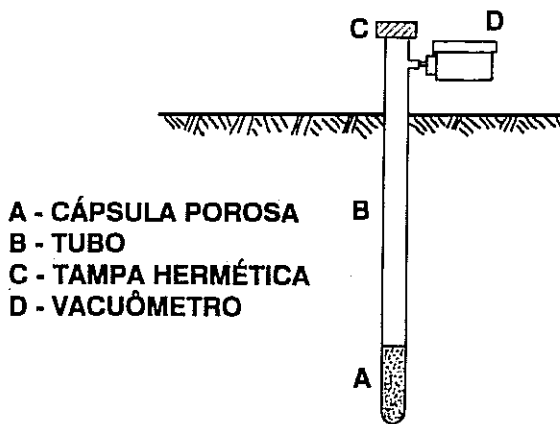


FIG. 13. Tensiômetro com vacuômetro.

12. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. Viçosa: UFV, 1982. 463p.
- CRUCIANI, D.E. **A drenagem na agricultura**. São Paulo: Noebel, 1989. 337p.
- DAKER, A. **A água na agricultura: irrigação e drenagem**. 4.ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1973. 453p.
- FORSYTHE, W.M.; LEGARDA, B.L. Soil water and aeration red production. I. Mean maximum soil moisture suction. **Turrialba**, San José, v.28, p.81-86, 1978.
- GOINS, T.; LUNIN, J.; WORLEY, H.L. Water table effects on growth of tomatoes, snap-beans and sweet corn. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.2, p.530-533, 1966.
- HARRIS, D.G.; VAN BAVEL, C.H.M. Nutrient uptake and chemical composition of tobacco plants as affected by the composition of the root atmosphere. **Agronomy Journal**, Madison, v.49, p.176-181, 1957.
- LAMSTER, E.C. Produção e produtividade: teu nome é Provárzeas. **Revista Brasileira de Extensão Rural**, Brasília, v.1, p.6-11, 1980.
- LIMA, C.A.S. **Efeito de seis profundidades do lençol freático sobre o comportamento da cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.)**. Viçosa: UFV, 1985. 47p. Tese de Mestrado.
- MENEZES, D.M.; PINTO, M.M. Influência do fator hídrico no desenvolvimento da cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) na baixada fluminense. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Rio de Janeiro, v.2, p.383-389, 1967.
- MILLAR, A.A. **Drenagem de terras agrícolas**. I. Princípios, pesquisas e cálculos. Petrolina: IICA, 1974. 164p.
- MILLAR, A.A. **Drenagem de terras agrícolas: bases agrônômicas**. São Paulo: McGraw-Hill, 1978. 276p.
- MUNÓZ, M.E.G. **Efecto de combinaciones de épocas, frecuencias & duraciones de inundación sobre el rendimiento del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.)**. Turrialba: IICA, 1973. 120p. Tese de Mestrado.
- PINTO, J.M. **Efeito de diferentes regimes hídricos no solo sobre a produção e os componentes de produção do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.)**. Viçosa: UFV, 1985. 56p. Tese de Mestrado.
- PIZARRO, F. **Drenagem agrícola y recuperacion de suelos salinos**. Madrid: Ed. Agrícola Espanhola, 1978. 521p.
- SILVA, E.L. **Suscetibilidade do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.), cv. Goiano Precoce a inundaçao temporária do sistema radicular em diferentes fases do seu ciclo vegetativo**. Piracicaba: ESALQ, 1982. 72p. Tese de Mestrado.

- SILVEIRA, P.M. **Efeito de diferentes manejos da profundidade do lençol freático sobre o feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.)**. Viçosa: UFV, 1987. 100p. Tese de Mestrado.
- SILVEIRA, P.M.; FERNANDES, B.; HENRIQUES, H.P. Montagem do medidor e avaliação da taxa de difusão de oxigênio (T.D.O.) no solo. **Revista Item**, Brasília, v.29, p.37-39, 1987.
- STOLZY, L.H.; LETEY, J. Characterizing soil oxygen conditions with a platinum microelectrode. **Advances in Agronomy**, New York, v.16, p.249-279, 1964.
- WILLIAMSON, R.E.; KRIZ, G.L. Response of agricultural crops to flooding, depth of water table and soil gaseous composition. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.13, n.2, p.216-220, 1970.