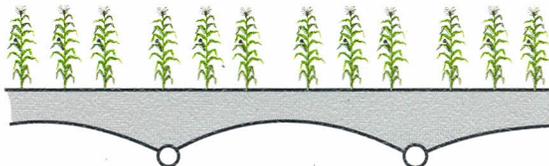


08326
2002
FL-PP-08326

Drenagem Subterrânea Conceitos Básicos e Práticos



Drenagem subterrânea : ...
2002 FL-PP-08326



CPATSA-25774-1

República Federativa do Brasil

Fernando Henrique Cardoso
Presidente

Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

Marcus Vinicius Pratini de Moraes
Ministro

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

Conselho de Administração

Márcio Fortes de Almeida
Presidente

Alberto Duque Portugal
Vice-Presidente

Dietrich Gerhard Quast

José Honório Accarini

Sérgio Fausto

Urbano Campos Ribeiral
Membros

Diretoria-Executiva da Embrapa

Alberto Duque Portugal
Diretor-Presidente

Dante Daniel Giacomelli Scolari

Bonifácio Hideyuki Nakasu

José Roberto Rodrigues Peres

Diretores

Embrapa Semi-Árido

Paulo Roberto Coelho Lopes
Chefe-Geral



*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semi-Árido
Ministério da Agricultura e do Abastecimento*

ISSN 1516-1633

Dezembro, 2001

Documentos 172

Drenagem Subterrânea Conceitos Básicos e Práticos

Carlos R. Valdivieso Salazar
Gilberto G. Cordeiro



Petrolina, PE
2001

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Semi-Árido

BR 428, km 152, Zona Rural

Caixa Postal 23

Fone: (0xx81) 3862-1711

Fax: (0xx81) 3862-1744

Home page: www.cpatssa.embrapa.br

E-mail: sac@cpatssa.embrapa.br

Comitê de Publicações da Unidade

Presidente: Luiz Maurício Cavalcante Salviano

Secretário-Executivo: Eduardo Assis Menezes

Membros:

Luís Henrique Basso

Patrícia Coelho de Souza Leão

João Gomes da Costa

Maria Sonia Lopes da Silva

Edineide Maria Machado Maia

Supervisor editorial: Eduardo Assis Menezes

Normalização bibliográfica: Maristela Ferreira Coelho de Souza/Edineide Maria Machado Maia

Tratamento de ilustrações:

Foto(s) da capa:

Editoração eletrônica: Nivaldo Torres dos Santos

1ª edição

1ª impressão (2001): tiragem: 150 exemplares

Todos os direitos reservados.

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei no 9.610).

Valdivieso Salazar, Carlos R.

Drenagem subterrânea (conceitos básicos e práticos) / Carlos R. Valdivieso Salazar, Gilberto Gomes Cordeiro. — Petrolina, PE : Embrapa Semi-Árido, 2001.

43p. : il ; 21 cm. — . (Embrapa Semi-Árido. Documentos ; 172).

1. Drenagem subterrânea. I. Cordeiro, Gilberto Gomes. II. Título. III. Série.

CDD 631.62

© Embrapa 2001

Autores

Carlos R. Valdivieso Salazar

Eng^o Agrícola, M.Sc., Consutor do Convênio IICA/
Embrapa Semi-Árido, Cx. Postal 23, 56300-970 Petrolina-
PE. *

Gilberto Gomes Cordeiro

Eng^o Agr^o, M.Sc., Pesquisador da Embrapa Semi-Árido.

Sumário

Introdução	7
Definição	7
Considerações Gerais	8
Origem dos excessos de água.....	8
Efeitos dos excessos de água.....	8
Práticas e métodos de drenagem.....	8
Aplicabilidade e alternativas de uso	11
Descrição	11
Critérios de drenagem.....	12
Porosidade efetiva do solo.....	13
Cálculo de espaçamento de drenos.....	14
Dimensionamento hidráulico.....	16
Materiais de drenagem.....	21
Instalação de Drenos-Tubo.....	24
Exemplo prático.....	26
Anexo 1	30
Referências Bibliográficas	39

Drenagem Subterrânea

Conceitos Básicos e Práticos

Carlos R. Valdivieso Salazar

Gilberto Gomes Cordeiro

Introdução

Apesar da expansão da irrigação na região semi-árida brasileira, não se tem verificado uma preocupação semelhante com a drenagem agrícola o que deve ser motivado, provavelmente, por uma certa falta de conhecimentos necessários sobre o assunto, bem como, falta de sensibilidade quanto a sua importância. Pode-se afirmar, de modo geral, que a grande preocupação com drenagem subterrânea no Nordeste vem ocorrendo nos últimos anos, em função da crescente salinização dos solos irrigados.

Diante desse fato e preocupado com os problemas que poderão surgir por falta de drenagem é que a Embrapa Semi-Árido, com apoio de outras instituições, vem desenvolvendo algumas ações direcionadas a prever, controlar, pesquisar e/ou conviver com o problema, nas mais diferentes fases, isto é: levantamentos, estudos básicos, pesquisa e execução de projetos de drenagem em suas áreas de pesquisa, inclusive através da realização de treinamentos para técnicos de nível médio e superior com experiência na área agrícola da região Nordeste.

Definição

São técnicas de manejo de águas que visam o controle e/ou regulação do lençol freático a profundidades apropriadas, para evitar excessos de umidade no perfil do solo e possibilitar o desenvolvimento normal das culturas.

Considerações gerais

Origem dos excessos de água

Principalmente excessos de água de chuva e/ou de irrigação (combinados com características de drenagem natural restrita dos solos), filtração subterrâneas de fontes de água vizinhas (ou de montante) com nível piezométrico superior (açudes, áreas alagadas ou áreas de arroz irrigadas, etc.), e fluxo vertical ascendente desde aquíferos confinados (artesianos).

Efeitos dos excessos de água

Por ação capilar, a zona das raízes pode manter-se permanentemente úmida, se alimentada desde um lençol freático pouco profundo que cria condições deficientes de aeração e conduzem ao apodrecimento de raízes e à salinização do solo. Excessos de umidade limitam também a absorção de nitrogênio pelas raízes; e os rendimentos, dependendo do tipo de solo e da gravidade do problema, podem sofrer quedas de até mais de 50%.

Terrenos muito úmidos oferecem dificuldades na trafegabilidade de máquinas e na deteriorização da estrutura do solo (compactação) pela passagem das mesmas.

Práticas e métodos de drenagem

Conhecidos e em prática, tem-se os seguintes métodos de rebaixamento do lençol freático:

- Drenos abertos, constituídos por valas de 1,50 a 2,50m de profundidade e largura de fundo de 0,50m. Estes drenos são construídos com mão-de-obra (pá e enxada) ou com maquinaria (pá mecânica, retroescavadeira, etc.); este tipo de dreno é o mais fácil e menos caro mas tem como desvantagens o fato de diminuir a área agricultável (eles ocupam entre 0,3 à 0,5 ha por km), limitam as possibilidades de mecanização das atividades agrícolas, requerem mais estruturas e demandam maiores custos de manutenção pela proliferação constante de vegetação e assoreamento (Figura 1);

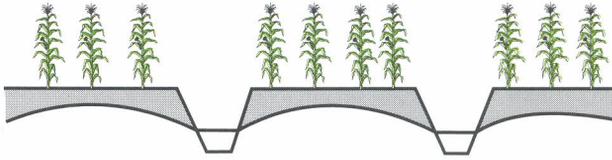


Fig. 1. Drenos abertos

Drenos entubados, constituídos por tubos de cerâmica ou plásticos de 5 cm ou mais de diâmetro, instalados em linha no fundo de uma vala permanente escavada. O dreno vai protegido por um material de envoltura e é aterrado, assim a superfície do terreno continua sendo agricultada e a função do dreno é de captação subterrânea. Este tipo de dreno é mais caro (custos adicionais de mão-de-obra, maquinaria e materiais implicados na compra de assentamento dos tubos e material de envoltura e no aterro das valas) em compensação não possui as desvantagens dos drenos abertos. A sua manutenção, para a evacuação de sedimentos acumulados nos tubos, é bem esporádica. Esta operação é feita com jatos de água que arrastam os sedimentos até o coletor aberto, para a sua eliminação posterior com mão-de-obra ou máquina (Figura 2).

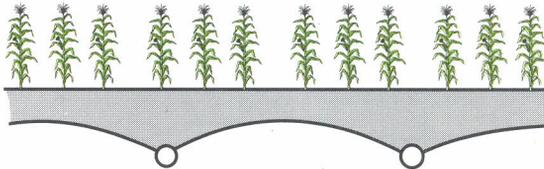


Fig. 2. Drenos entubados

O bombeamento de poços tubulares ou cacimbas suficientemente profundos também são efetivos no rebaixamento do lençol freático e dos excessos de umidade no solo, principalmente, quando a origem da umidade é água freática confinada (sob pressão), presa por camadas superficiais pouco permeáveis.

Medidas complementares às práticas mencionadas inicialmente são a subsolagem e os drenos toupo, aplicados normalmente em terrenos argilosos pouco permeáveis para aumentar a sua drenabilidade e melhorar a eficiência dos drenos. Estas medidas devem ser aplicadas quando o estado de umidade do solo é menor que a capacidade de campo.

A subsolagem é realizada com pontas de 0,5 a 0,6 m de profundidade espaçadas entre 1,0 e 1,5 m entre si e puxadas com trator, num sentido oblíquo em relação ao sentido dos drenos e na direção da declividade (Figura 3).

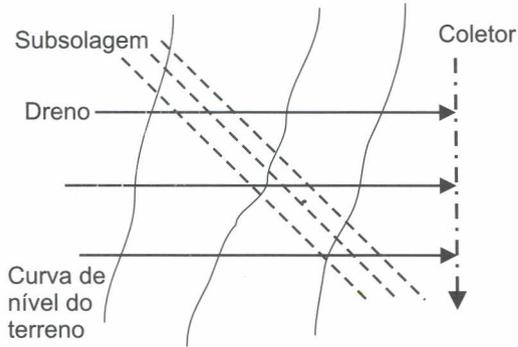


Fig. 3. Orientação da Subsolagem

O dreno toupo é realizado com um subsolador que puxa um peso de aço em forma de bola ou torpedo de 10cm de diâmetro, fixado com corrente ao pé do subsolador (Figura 4).

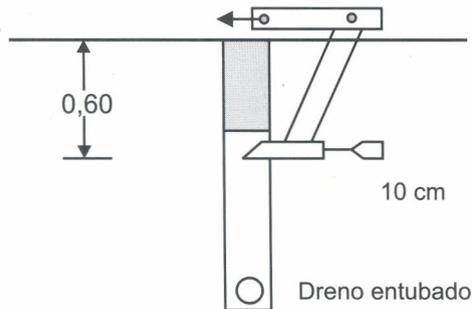


Fig. 4. Dreno toupo

Aplicabilidade e alternativas de uso

Um sistema de drenagem subterrânea instalado permitirá:

- a) Regular o regime de umidade no perfil do solo, mantendo o lençol suficientemente profundo no período de crescimento para não demandar irrigação em excesso e, no período de maturação até a colheita, para secar o perfil;
- b) Evacuar o volume extra de água (excesso) aplicado para lixiviar sais do perfil do solo. O processo de lavagem de sais é necessário em regiões áridas e semi-áridas, principalmente, e demandam uma rápida evacuação, viável só com um sistema de drenagem subterrânea;
- c) Garantir condições adequadas de aeração na zona de raízes;
- d) Melhor trafegabilidade na área, para as operações mecanizadas.

Como alternativa para otimizar o funcionamento, pode-se utilizar combinações dos métodos anteriormente mencionados, por exemplo:

- Laterais entubados com coletores abertos;
- Laterais e coletores entubados evacuando em drenos principais abertos;
- Dreno toupo combinado com drenos entubados (prática adaptada em solos muito argilosos).

Descrição

O estudo de um problema de drenagem implica estudos prévios e observações de campo que envolvem as seguintes atividades:

- Reconhecimento da área afetada com ênfase na definição das causas do excesso de umidade e/ou salinidade, os possíveis pontos de evacuação e o estado de drenos coletores;
- Levantamentos altimétricos da área com problema de drenagem e dos drenos naturais e artificiais existentes (perfil longitudinal);

- Tradagens na área problema e arredores para observar as características físicas do solo, principalmente textura e a ocorrência de camadas permeáveis, assim como a profundidade de uma camada impermeável e, se possível, determinação da permeabilidade do solo (condutividade hidráulica). Veja anexo 1.
- Em virtude da variabilidade da profundidade do lençol freático, recomenda-se observá-lo por um período prolongado (vários meses) em relação a possíveis fontes de recarga como chuva, irrigação ou percolação de canais ou açudes. Estas observações são feitas em furos de trado esperando a estabilização do lençol depois da tradagem ou em poços de observação (semi-permanentes). Veja anexo 2.

Critérios de Drenagem

A solução do problema é definida quando se tem uma resposta para as seguintes questões (critérios de drenagem):

- a) A que profundidade deve-se manter o lençol freático e a que profundidade deverão ser instalados os drenos.
- b) Qual será a vazão a ser evacuada.
- c) Se o problema é a elevação transitória do lençol por efeito da irrigação, quanto se eleva e em quantos dias deve descer além da zona radicular.
 - A profundidade apropriada do lençol freático varia com a profundidade das raízes da cultura e com o tipo de solo, mas a seguinte Tabela dá algumas indicações a este respeito:

Tabela 1. Profundidade do lençol freático, em metros, sugeridas para áreas irrigadas (FAO, 1980).

Culturas	Solos	
	Text. fina	Text. grossa
Anuais	1,20	1,0
Hortícolas	1,10	1,0
Árvores	1,60	1,2

O dreno deve ser instalado a $\pm 0,50$ m abaixo do nível de lençol freático requerido, ou seja, segundo os valores da Tabela 1, entre $\pm 1,50$ e $\pm 2,10$ m de profundidade. Isto significa que se terá uma altura de água acima do nível do dreno de $\pm 0,50$ m que será a carga hidráulica atuante no fluxo de água do lençol aos drenos.

Para definição da vazão a ser evacuada, é preciso uma análise de dados de chuva, percolação, escoamento superficial, eficiência de irrigação, para quantificar o parâmetro na sua situação mais desfavorável. Um balanço de água é a ferramenta utilizada para o cálculo. No caso das chuvas, obter a chuva extrema para um período de retorno de 2 a 5 anos e subtrair o escoamento superficial, a evaporação, retenção na superfície e na vegetação, resultando assim na percolação líquida.

Tabela 2. Vazão unitária de dimensionamento (descarga normativa) assumindo desprezíveis a drenagem natural e fluxos subterrâneos influentes (FAO, 1980).

q_d	Condições
< 1,5 mm/d	Solos pesados de baixa infiltração
1,5 - 3,0 mm/d	Maioria de solos, com a maior taxa para solos permeáveis e maior intensidade de exploração agrícola.
3,0 - 4,5 mm/d	Para condições extremas de clima, manejo da cultura e salinidade e sob irrigação pouco eficiente.
> 4,5 mm/d	Condições especiais: campos de arroz irrigado em solos de textura leve.

Porosidade efetiva do solo

Conhecendo a elevação do lençol por efeito das chuvas, a estimativa da porosidade do solo obtém-se a chuva efetiva, multiplicando a elevação do lençol em milímetros pela porosidade estimada do solo (Tabela 3), resultando na quantidade (lâmina) de água necessária de se evacuar, que, dividida pelo número de dias aceitável, resulta na vazão unitária de dimensionamento ou descarga normativa.

Tabela 3. Porosidade Efetiva (ou drenável) do Solo. (FAO, 1980).

Textura	Porosidade Efetiva
Argila, franco argiloso-siltoso,	
franco-argilo-arenoso	0,01 - 0,03
Franco argiloso, franco siltoso, silte	0,03 - 0,08
Franco, franco arenoso muito fino,	
franco siltoso	0,08 - 0,12
Franco arenoso, areia franca, areia	
fina	0,12 - 0,22
Areia média, areia grossa, cascalho	0,22 - 0,35

Valores indicativos de vazão unitária de dimensionamento podem ser encontrados na Tabela 2.

Cálculo de espaçamento de drenos

Os estudos de campo e as análises anteriores permitem a aplicação de fórmulas para o cálculo do espaçamento.

Fórmula de Hooghoudt, para perfis homogêneos, e a fórmula de Donnan são usadas para cálculo de espaçamento de drenos.

Fórmula de Hooghoudt para perfil homogêneo:

$$L^2 = \frac{4 Kh (2D + h)}{q}$$

em que:

L = espaçamento entre drenos, m

K = condutividade hidráulica do solo, m/d

h = carga hidráulica (altura do l.f. no meio entre dois drenos paralelos e acima dos níveis dos mesmos (Figura 5).

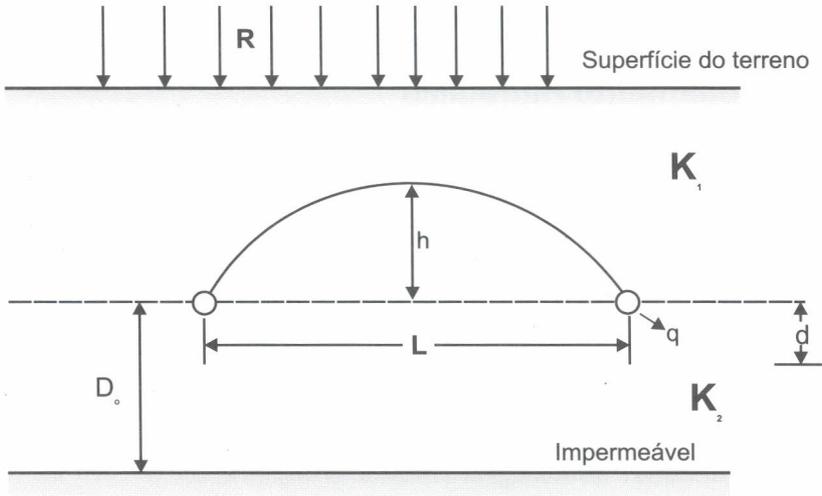


Fig. 5. Parâmetros no modelo de fluxo Estacionário.

D = profundidade da camada impermeável (ou pouco permeável, 10 vezes menos permeável que as camadas superiores) abaixo do nível dos drenos. Melhor resultado obtém-se quando se usa uma fração de D , (d) que toma conta pela redução de fluxo próximo do dreno por efeito do fluxo radial (Figura 6), determinado com tabela ou gráfico (anexo 3).

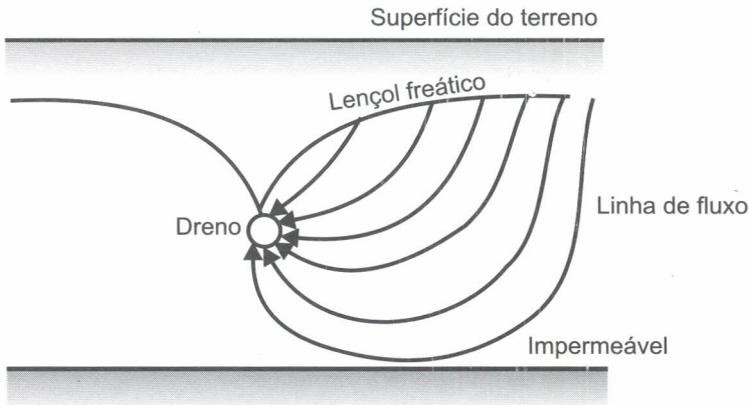


Fig. 6. Fluxo radial próximo ao dreno

q = vazão unitária de dimensionamento ou descarga normativa, m/d.

Dimensionamento Hidráulico

Uma vez conhecido o espaçamento necessário dos drens, a vazão necessária e a profundidade de drenagem, procede-se à determinação das características hidráulicas em função da capacidade requerida.

No caso de drens abertos o dimensionamento consiste na definição da largura do fundo b , talude z , altura de água d , e declividade S , para satisfazer condições limitantes de velocidade de escoamento não erosiva e vazão (capacidade). O cálculo da seção hidráulica para estas condições é feito usando a fórmula de Manning para canais, lembre-se de que a seção calculada estará a uma profundidade predeterminada P de drenagem subterrânea (Figura 7).

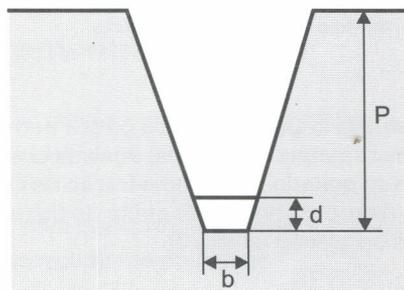


Fig. 7. Parâmetros hidráulicos de vela aberta para fins de drenagem subterrânea.

No caso de drens entubados o dimensionamento consiste na determinação do diâmetro dos tubos e declividade das linhas de tubos. Isto se consegue com o uso das seguintes fórmulas para fluxo em tubos:

Para tubo plástico liso e manilhas de cerâmica:

$$Q = 89 \quad d^{2.714} \quad i^{0.572} \quad (\text{Wesseling 1973})$$

Se o tubo só tiver funções de transporte a fórmula é:

$$Q = 50 \quad d^{2.714} \quad i^{0.572}$$

Q = vazão, m³/s

d = diâmetro, m

i = declividade, m/m.

Valores das potências são achados na Tabela 4.

Tabela 4. Potências $d^{2,714}$ e $i^{0,572}$ para serem usados na fórmula de Wesseling para dimensionamento de drenos entubados.

D (mm)	$d^{2,714}$	i %	$i^{0,572}$
40	0,00016	0,02	0,00766
50	0,00029	0,04	0,01139
60	0,00048	0,06	0,01436
70	0,00073	0,08	0,01693
80	0,00105	0,10	0,01923
100	0,00193	0,12	0,02134
120	0,00317	0,14	0,02331
150	0,00581	0,16	0,02516
200	0,01268	0,18	0,02692
250	0,02323	0,20	0,02859
300	0,03810	0,30	0,03605
		0,40	0,04250
		0,60	0,05359
		0,80	0,06318
		1,00	1,00000

Para o uso destas fórmulas, dever-se-á calcular primeiramente a vazão total esperada na linha de dreno e assumir uma declividade entre 0,02% (0,0002m/m) e 1,0% (0,01m/m), como guia para decidir a declividade, deve-se considerar a declividade natural do terreno no sentido da linha de dreno projetada. O cálculo da vazão total é feita multiplicando a vazão unitária de dimensionamento e a área drenada pela linha de dreno considerada, calculada com o espaçamento entre drenos L, e o comprimento B da linha (Figura 8),

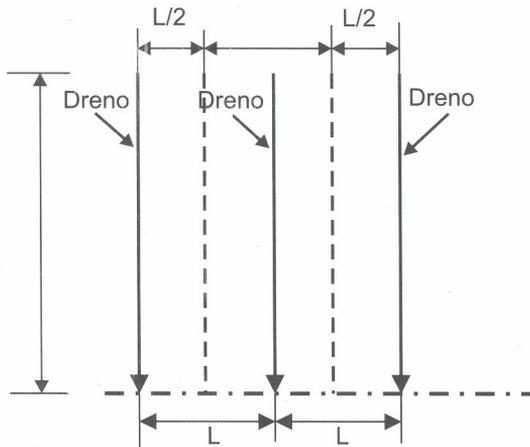


Fig. 8. Área drenada por uma linha de dreno.

Por problemas de assoreamento das linhas e com a intenção de sobredimensionar ligeiramente os tubos como margem de segurança, costuma-se considerar, para o cálculo, uma área 10% a 25% maior que a real, que significa mais ou menos capacidades efetivas dos drenos entre 90 e 75%.

Lay-out

A disposição, orientação e localização dos drenos formando uma rede lógica que compatibilize adequadamente com a rede de canais, estradas e coletores, i.e., o lay-out deve ser feito de maneira a evitar tanto quanto possível que a sua implementação provoque alterações na infraestrutura física existente.

Os drenos podem ser dispostos em sistema retangular, ou seja, drenos paralelos chegando perpendicularmente aos coletores (Figura 9). O sistema é chamado de lay-out em espinha de peixe quando o coletor ou subcoletor recebe drenos em ambos os lados, com chegada oblíqua (Figuras 10 e 11).

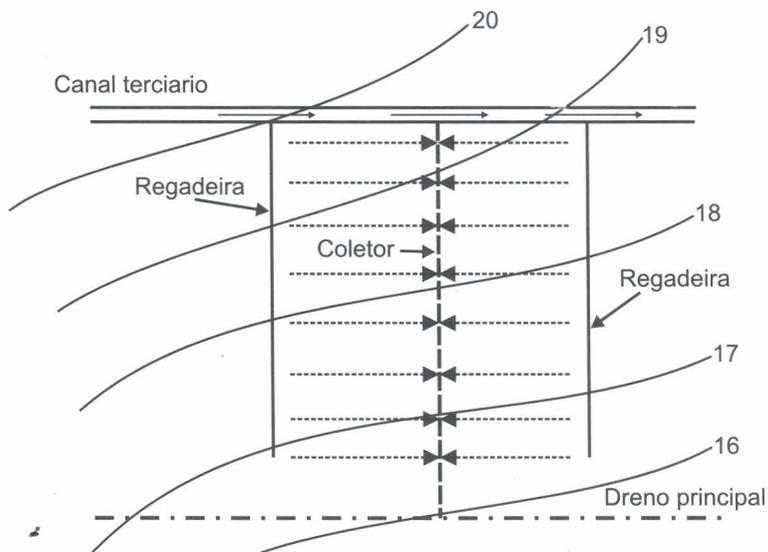


Fig. 9. Loy-out de um sistema.

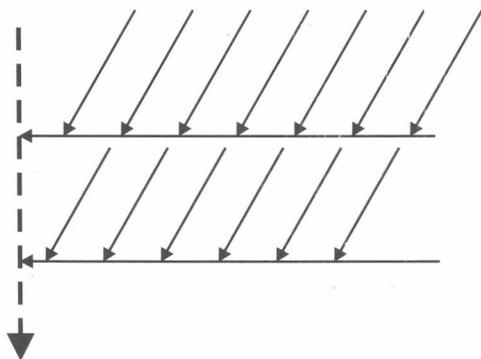


Fig. 10. Lay-out sistema oblíquo.

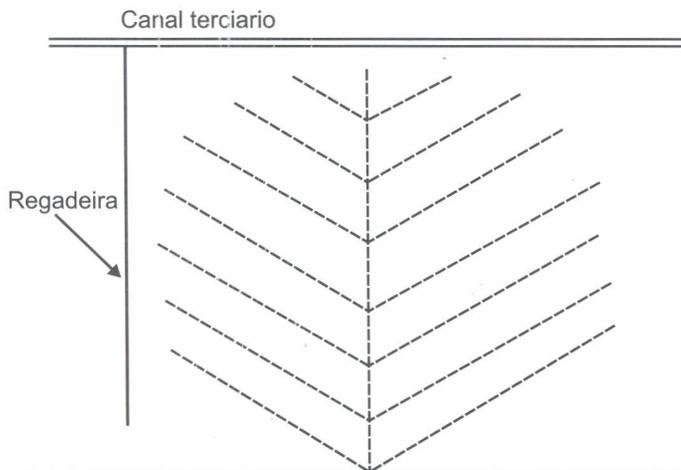


Fig. 11. Lay-out espinha de peixe.

Os drenos laterais ou de campo podem evacuar diretamente num coletor aberto (vala). A chegada do dreno tubo no coletor deve ser pelo menos 10cm acima do espelho de água (Figura 12). Este é um sistema simples. Eles podem evacuar em coletores entubados, neste caso trata-se de um sistema composto.

O comprimento das linhas de drenos é limitado a menos de 300m por considerações práticas principalmente em relação à manutenção e limpeza ou desassoreamento.

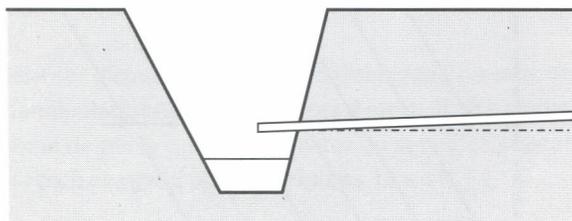


Fig. 12. Ponto de descarga de dreno tubo em coletor (vala)

Materiais de Drenagem

- Manilhas de cerâmica: normalmente produzidas nas fábricas de tijolos e cerâmicas. Recomenda-se procurar manilhas de 30cm de comprimento e 10cm de diâmetro interno, com grossura de paredes de 1,5cm, que garantem uma resistência de mais de 700 kp ($\pm 70.000\text{kg/m}^2$), exigindo um bom acabamento nos extremos para que o contato entre manilhas seja bom e se evite a entrada exagerada de sedimentos e materiais sólidos. As entradas de água são nas juntas entre manilhas consecutivas (Figura 13)

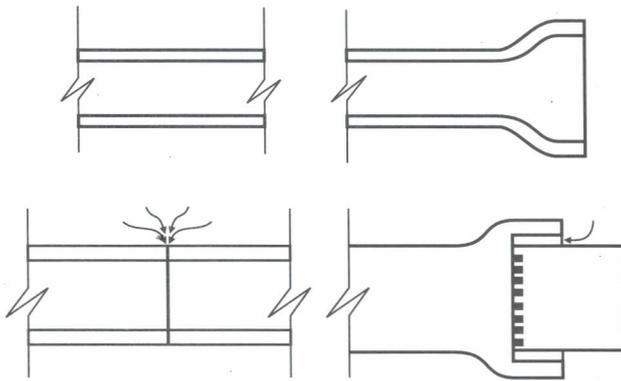


Fig. 13. Manilhas e juntas.

- Manilhas de concreto: usadas quando os diâmetros requeridos são maiores de 15cm. A fabricação é simples e pode ser feita "in situ", o que diminui as perdas (quebras) por transporte. Não se dispõe de informação referente aos requisitos de qualidade.
- Tubos plásticos: principalmente de PVC, lisos ou corrugados. Os tubos lisos são produzidos em segmentos de 6m, são rígidos e as entradas de água podem ser fendas feitas com serra ou furinhos feitos com furadeira.
- Material de envoltura: possui função protetora de diminuição da resistência de entrada, e prevenção de sedimentação dentro dos tubos. O seixo rolado é o material mais usado para esta função pela sua durabilidade, embora não seja o mais barato. Areia grossa e brita são outras envolturas minerais que

podem ser usadas, enquanto que materiais orgânicos baseados em palha, principalmente de arroz e outros cereais, têm a desvantagem de se decompor facilmente em climas quentes; materiais sintéticos, restos industriais granulares podem também ser considerados. A camada de seixo como material envolvente deve ser de 5cm ou mais de espessura.

Outros materiais alternativos, principalmente para áreas pequenas, tentando reduzir custos e aproveitar o existente e disponível nas proximidades da área de drenagem, são esquematizados na Figura 14. Os materiais a serem usados seriam principalmente pedras, seixos, brita e areia, segmentos de tronco de árvores, e feixes de bambu ou varas e galhos de outras árvores (Figura 14).

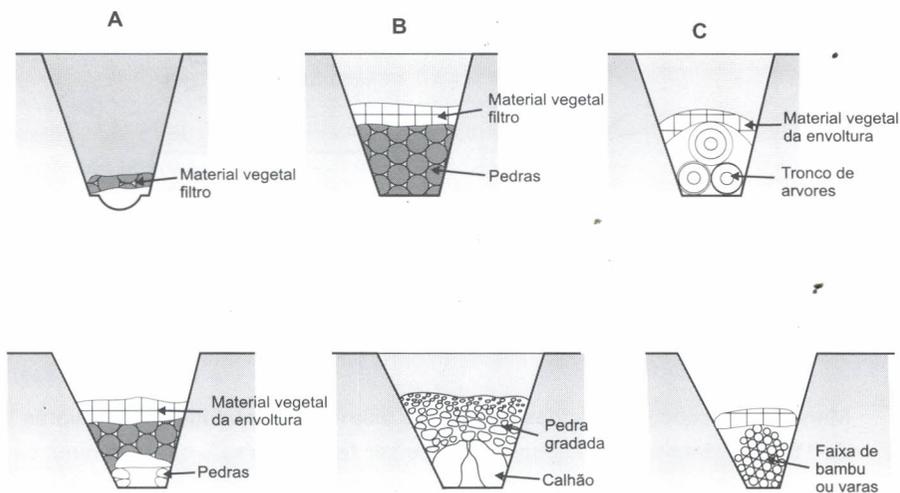


Fig. 14. Materiais alternativos na instalação de drenos enterrados (A, B, C, D, E e F).

Estruturas

Estruturas auxiliares simples muito utilizadas na instalação de um sistema de drenagem entubado são:

- Proteção na saída do tubo, no coletor, feita em tijolo, para dar estabilidade ao tubo, evitando deslismamentos de material no talude da vala coletora. (Figura 15).

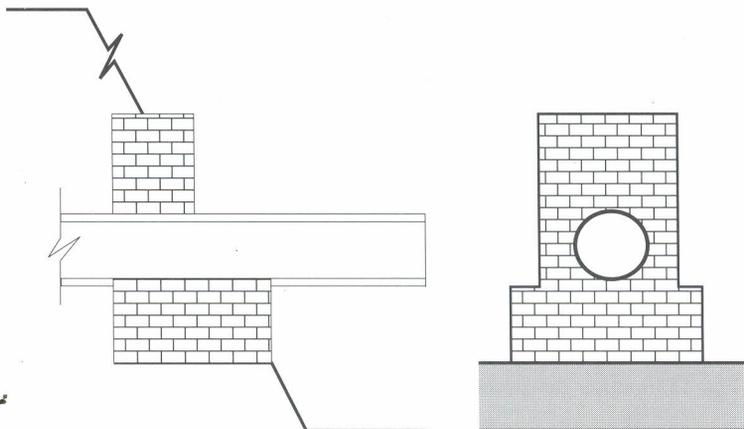


Fig. 15. Estrutura de proteção na saída do dreno tubo.

- Caixas de inspeção: podem também serem feitas em tijolo, com dimensões suficientes para permitir a entrada de uma pessoa para manutenção. Devido ao seu custo deve ser limitado, principalmente para coletores entubados (Figura 16).

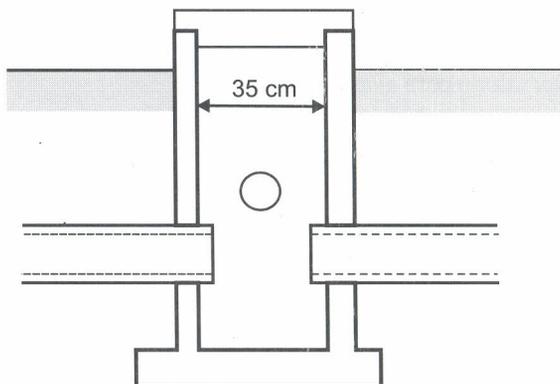


Fig. 16. Estrutura de controle de conexão lateral ao poço de inspeção.

- Redutores de gradiente aplicado principalmente em terrenos de declive forte ou com variações fortes de nível ao longo de uma linha de drenos (Figura 17).

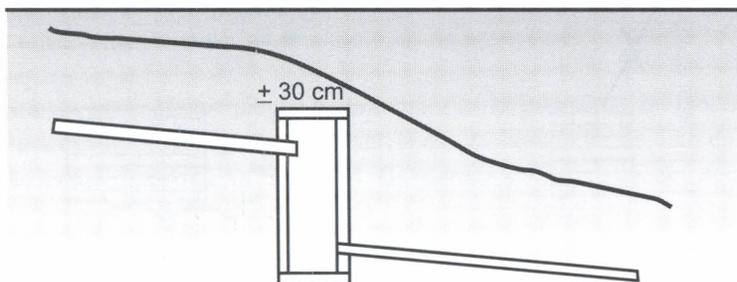


Fig. 17. Redutor de gradiente.

Instalação de Drenos-Tubo

Os seguintes aspectos devem ser considerados na instalação manual de drenos-tubo:

- A escavação da vala, mecânica ou manualmente, deve iniciar-se no extremo de cota inferior, isto é, no ponto de evacuação. A vala deve ter uma seção com largura de fundo de não mais de 30cm. A largura da vala na superfície será de aproximadamente 60cm (Figura 18). Se o material é instável, pode-se dar maior talude para evitar desabamentos perigosos. A profundidade de escavação será controlada para obter a declividade desejada. O controle pode ser feito com nível de engenheiro ou usando réguas transversais instaladas só na escavação dos últimos 50cm. Duas réguas fixas são colocadas nos extremos da vala projetada marcando a profundidade desejada e o topo das réguas horizontais alinham-se na declividade desejada. No avanço da escavação auxilia-se de uma régua móvel que deve alinhar o topo com as réguas extremas fixas (Figura 19).

Uma vez pronta a vala, colocam-se os tubos do lado e ao longo da vala para a sua posterior instalação no fundo.

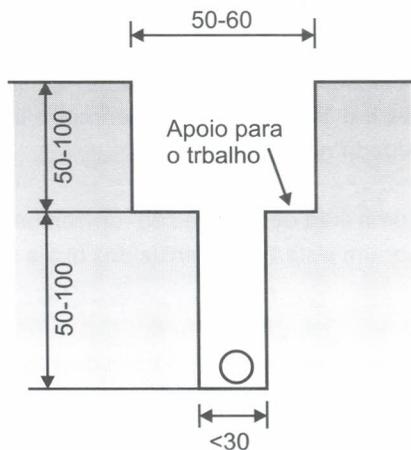


Fig. 18. Seção transversal de vala para instalação de dreno tubo.

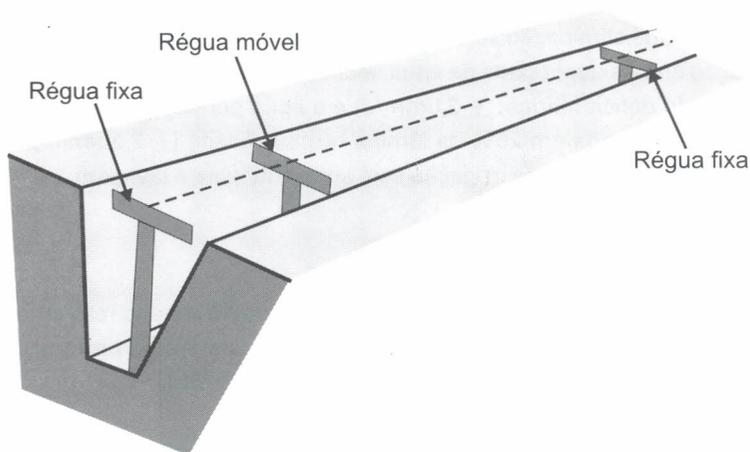


Fig. 19. Controle da profundidade de escavação e da declividade do fundo da vala na instalação manual de dreno tubo.

Exemplo Prático

Para ilustrar os conceitos estudados anteriormente, foi considerada uma área de 85,6 ha cobrindo os lotes 4 e 18 do Setor I no perímetro irrigado de Vaza-Barris - Cocorobó-BA, representado na Figura 20.

Os lotes têm em média uma área de 5,7ha e são fornecidos de água de irrigação, procedente do açude, por um sistema de canais dos quais só o principal é revestido.

Os solos são meio argilosos e profundos (± 6 m desde a superfície) com permeabilidade (condutividade hidráulica) de 0,25m/d e infiltração básica de 3mm/hr. A área não tem sido aproveitada ultimamente pela presença de salinidade, observando-se valores de condutividade elétrica do extrato de saturação do solo $CE_e = 15$ a 40mmho/cm (aproximadamente 5 a 12g sal/kg solo).

O lençol freático sem irrigação está entre 1,0 e 2,0m de profundidade e acredita-se que subirá consideravelmente na época de chuvas ou por efeito de irrigações.

A recuperação (dessalinização) destes solos implica o uso de água em excesso para promover a lixiviação dos sais das camadas superficiais às camadas mais profundas e a sua eliminação se dá com o sistema de drenagem subterrâneo. A comparação entre a quantidade de água necessária para lavagem (aproximadamente 35% do déficit hídrico: $\pm 2,0$ mm/d) e a água perdida por percolação nestes solos, estimada em 25% da lâmina bruta aplicada ($\pm 2,5$ mm/d), nos indicam que a ineficiência da irrigação será suficiente para a lavagem.

· Cálculo das necessidades de drenagem:

Por limitações de cota, em virtude da pouca elevação do terreno referente ao nível normal do rio onde devem despejar os drenos coletores, a profundidade dos drenos deve ser em torno de 1,60m (menor que 1,8m).

As culturas normais são hortícolas e, segundo o exposto na Tabela 1, requerem um lençol freático a 1.10m de profundidade. Isto significa que com drenos a 1.60 a carga hidráulica será $h = 1,60 - 1,10 = 0,50$ m.

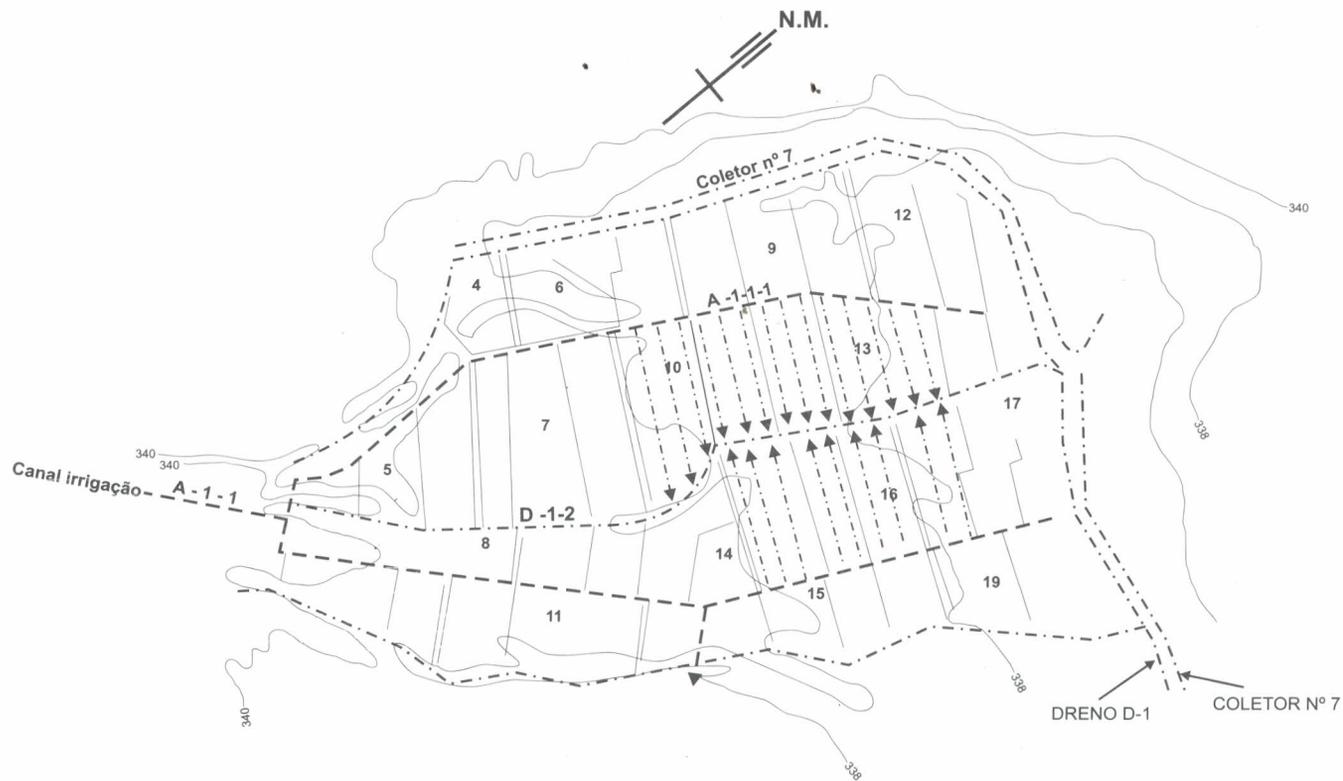


Fig. 20 Parte do setor I no perímetro irrigado de Vaza-Barris, Cocorobó-BA

A vazão unitária de dimensionamento, segundo o exposto na Tabela 2, é de 3 à 4,5mm/d, superior aos valores de lavagem e percolação anteriormente determinados, por tanto, podemos com certa segurança assumir uma descarga normativa de 3,5mm/d (0,0035m/d).

A profundidade da camada impermeável não se conhece mas pode-se assumir ao redor de 4m abaixo do nível dos drenos, isto baseado na informação de solos levantada pelo DNOCS com fins de drenagem.

· Cálculo do espaçamento de drenos:

Aplica-se a fórmula de Hooghoudt na sua forma mais simples:

$$L^2 = \frac{4 \times 0,25 \times 0,5 (2 \times 4 + 0,5)}{0,0035}$$

$$L = 35\text{m.}$$

· Dimensionamento hidráulico:

Com a finalidade de não quebrar canais existentes e dar aos drenos subterrâneos funções de interceptação, eles serão orientados paralelamente às regadeiras e às curvas de nível do terreno. Desta forma eles terão um comprimento em torno de 200m (lotes 13 e 16). Veja lay-out do mapa na Figura 20.

Estes drenos de 200m de comprimento e espaçados 35m drenam uma área de 7.000m², mas, como margem de segurança, consideramos 15% a mais, ou seja, 8.050m² que multiplicados pela descarga normativa (0,0035m/d) resulta na vazão do dreno Q = 28,2m³/d (0,00033m³/s).

Como os drenos irão transversais à declividade natural do terreno, deve se considerar que para altas declividades ter-se-á problemas de excesso de escavação, sendo necessário então escolher-se uma declividade de 0,1%, suficiente para garantir um bom escoamento.

O diâmetro de tubo necessário será calculado com a fórmula de Wesseling:

· Acha-se primeiro a potência $i^{0,572}$ na Tabela 4: $i^{0,572} = 0,01923$.

· Tenta-se um diâmetro qualquer, ex. $d = 40\text{mm}$ e acha-se a potência $d^{2,714}$ na Tabela 4 ($d^{2,714} = 0,00016$):

· Aplica-se a fórmula, acha-se o valor da vazão aceita nessas condições:

$$Q = 89 \times 0,00016 \times 0,01923 = 0,00027\text{m}^3/\text{s}$$

· Compara-se com a vazão necessária ($0,00033\text{m}^3/\text{s}$). No caso analisado a capacidade do dreno será ligeiramente menor; então, por segurança, opta-se pelo diâmetro imediatamente superior, que terá uma capacidade de $0,00050\text{m}^3/\text{s}$ calculada do mesmo jeito.

Anexo 1

Determinação da Condutividade Hidráulica

Métodos de Campo

Método do furo de trado: pode ser feito em diferentes profundidades. O procedimento é o seguinte: (Van Beers, 1979).

- Fazer um furo com trado até a profundidade desejada abaixo do lençol freático, tomando anotações do perfil do solo (textura, cor, estrutura, umidade).
- Esperar que o lençol freático se estabilize ou se recupere completamente e registrar essa profundidade.
- Extrair água e medir as taxas de recuperação do lençol, sem perda de tempo entre o momento de extração de água e o início das leituras.
- Anotações complementares necessárias: raio e profundidade do furo, bem como profundidade da camada impermeável abaixo do fundo do furo.

A forma de cálculo ou processamento de dados de campo é esquematizado na Figura 21, e se esclarece a continuação:

- A primeira leitura do lençol freático no processo de recuperação, depois de extraída a água, é h'_{t1} .
- Escolha de h'_{tn} ou última leitura tomada dentro do primeiro quarto de recuperação:

$$h'_{tn} \geq h'_{t1} - \left(\frac{h'_{t1} - w'}{4} \right)$$

No exemplo: Fig 21

$$h'_{t_n \geq 189,3} - \frac{189,3 - 173,4}{4} = 185,225 \text{ cm}$$

O valor escolhido no exemplo é:

$$h'_{t_{90}} = 185,3 \text{ cm}$$

- O valor do $\Delta h = h'_{t_1} - h'_{t_n} = 189,3 - 185,3 = 4,0 \text{ cm}$

- O valor de $\Delta t = t_n - t_1 = 90 - 0 = 90 \text{ seg.}$

- O valor de $\Delta h / \Delta t = 0,0444$

- Determinação de \bar{h} :

$$\bar{h} = (h'_{t_1} - W) - 1/2 \Delta h = (189,3 - 173) - 1/2 \times 4 = 14,3$$

- Com \bar{h}/r e H/r entra-se na Fig. 22, se o fundo do furo coincide com a camada impermeável ou na Fig. 23, se a profundidade do impermeável abaixo do fundo do furo, S é maior que $1/2 H$. Do gráfico conveniente obtém-se um valor para C .

No exemplo $C = 19$

- Finalmente:

$$K = C \times \frac{\Delta h}{\Delta t} = 19 \times 0,0444$$

$$K = 0,84 \text{ m/d.}$$

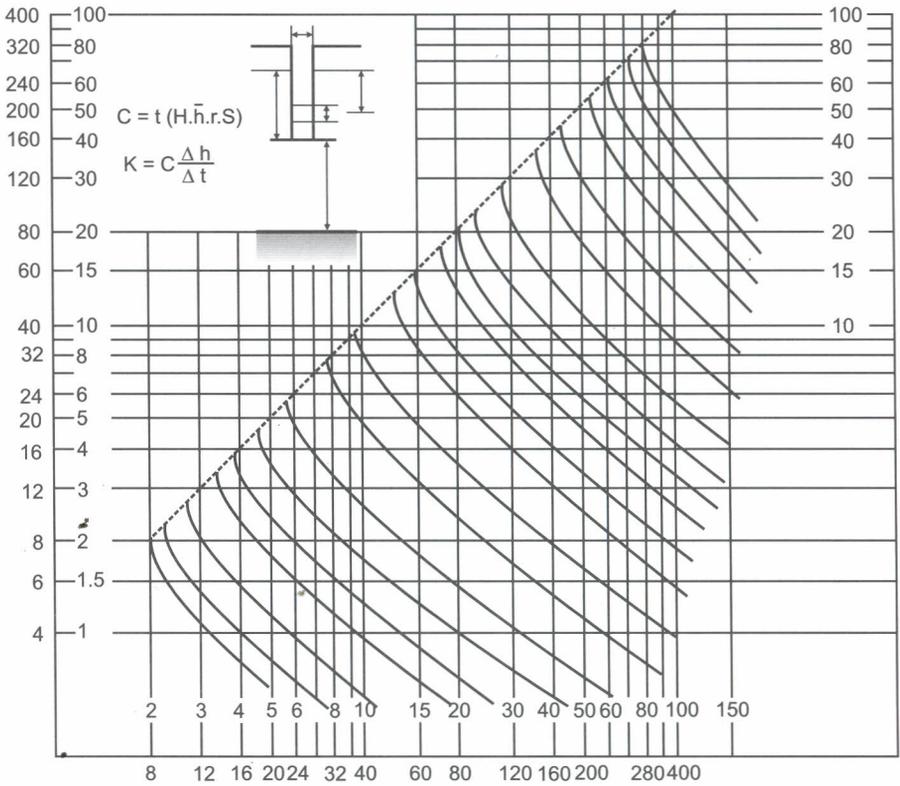


Fig. 22. Nomograma para determinar C no método de furo de trado (Raadsma & Schultze, 1980) quando $S \geq 1/2 H$.

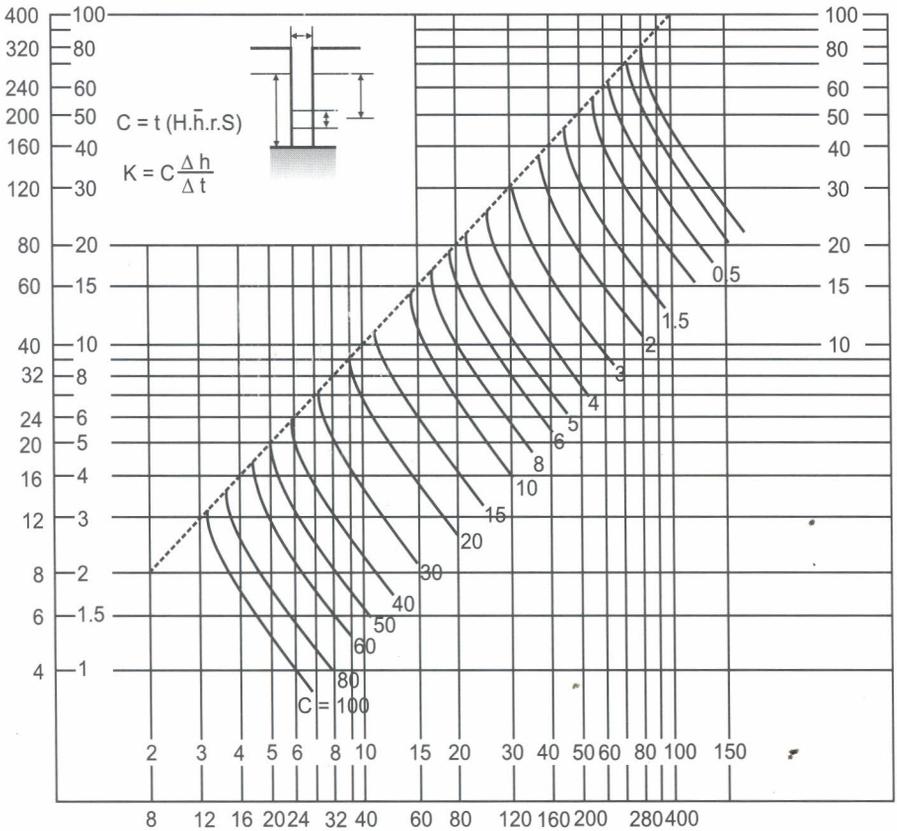


Fig. 23. Nomograma para determinar C no método de furo de trado (Raadsma & Schultze, 1980) quando $S = 0$.

Anexo 2

Poço de Observação 'Fig 24 - Método de Instalação

- Instalado num furo de trado ± 8 cm de diâmetro, penetrando de 1 a 1,5 m abaixo do lençol.
- Tubo plástico de 1 à 2" de diâmetro.
- De 1 a 1,5 m inferior do tubo com perfurações de 1/8" cada 1".
- Toda a parte perfurada é protegida contra passagem de sedimentos por uma envoltura de tela (sintética).
- Completa-se com material permeável (areia) o espaço entre o tubo e as paredes do furo até uma altura coincidente com o comprimento do tubo perfurado.
- Finalmente completa-se a parte superior do furo com material (solo) pouco permeável para evitar entrada de água da superfície no furo.
- O fundo do tubo é envolvido na mesma tela para permitir livre fluxo através do extremo inferior.
- Fura-se a tampa plástica para evitar vácuo no tubo e garantir sempre pressão atmosférica no nível de água dentro do tubo, como no lençol freático.

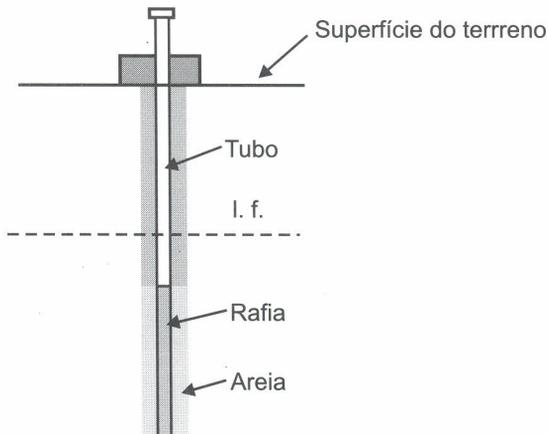


Fig. 24. Poço de observação

Piezômetro: Fig. 25 - Descrição de Método Prático de Instalação

- Tubo plástico em ferro galvanizado com possibilidade de ingresso de água só numa distância menor de 20 cm no extremo inferior.
- Instalado normalmente em baterias em diferentes profundidades para determinar fluxos verticais.
- Tubo plástico é introduzido à pressão num furo inicialmente (primeiros 50 cm) feito com trado de igual diâmetro e posteriormente com trado de menor diâmetro que o tubo (trabalhando dentro deste).
- As leituras são feitas com uma sonda, pendurada numa corda desde a boca do tubo. A concavidade da sonda produz um som ("plop") ao cair na água, permitindo assim medir a profundidade do lençol desde a boca (extremo superior) do tubo.

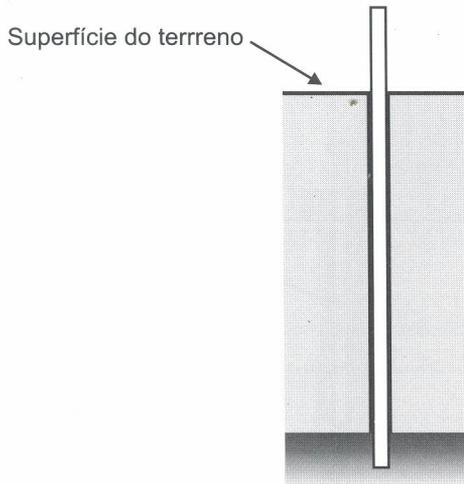


Fig. 25. Piezometro

Anexo 3

Valores de profundidade equivalente, d para $r = 0,1$

L-	5m	7.5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
D											
0.5m	0.47	0.48	0.49	0.49	0.49	0.50	0.50				
0.75	0.60	0.65	0.69	0.71	0.73	0.74	0.75	0.75	0.75	0.76	0.76
1.00	0.67	0.75	0.80	0.86	0.89	0.91	0.93	0.94	0.96	0.96	0.96
1.25	0.70	0.82	0.89	1.00	1.05	1.09	1.12	1.13	1.14	1.14	1.15
1.50		0.88	0.97	1.11	1.19	1.25	1.28	1.31	1.34	1.35	1.36
1.75		0.91	1.02	1.20	1.30	1.39	1.45	1.49	1.52	1.55	1.57
2.00			1.08	1.28	1.41	1.5	1.57	1.62	1.66	1.70	1.72
2.25			1.13	1.34	1.50	1.69	1.69	1.76	1.81	1.84	1.86
2.50				1.38	1.57	1.69	1.79	1.87	1.94	1.99	2.02
2.75				1.42	1.63	1.76	1.88	1.98	2.05	2.12	2.18
3.00				1.45	1.67	1.83	1.97	2.08	2.16	2.23	2.29
3.25				1.48	1.71	1.88	2.04	2.16	2.26	2.35	2.42
3.50				1.50	1.75	1.93	2.11	2.24	2.35	2.45	2.54
3.75				1.52	1.78	1.97	2.17	2.31	2.44	2.54	2.64
4.00					1.81	2.02	2.22	2.37	2.51	2.62	2.71
4.50					1.85	2.08	2.31	2.50	2.63	2.76	2.87
5.00					1.88	2.15	2.38	2.58	2.75	2.89	3.02
5.50						2.20	2.43	2.65	2.84	3.00	3.15
6.00							2.48	2.70	2.92	3.09	3.26
7.00							2.54	2.81	3.03	3.24	3.43
8.00							2.57	2.85	3.13	3.35	3.56
9.00								2.89	3.18	3.43	3.66
10.00									3.23	3.48	3.74
-	0.71	0.93	1.14	1.53	1.89	2.24	2.58	2.91	3.24	3.56	3.88

L espaçamento entre drenos, m

D profundidade da barreira impermeável abaixo do nível dos drenos, m

r raio do dreno, m

L-	50	75	80	85	90	100	150	200	250
D									
0.5	0.50								
1	0.96	0.97	0.97	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99
2	1.72	1.80	1.82	1.82	1.83	1.85	1.00	1.92	1.94
3	2.29	2.49	2.52	2.54	2.56	2.60	2.72	2.70	2.83
4	2.71	3.04	3.08	3.12	3.16	3.24	3.46	3.58	3.66
5	3.02	3.49	3.55	3.61	3.67	3.78	4.12	4.31	4.43
6	3.23	3.85	3.93	4.00	4.08	4.23	4.70	4.97	5.15
7	3.43	4.14	4.23	4.33	4.42	4.62	5.22	5.57	5.81
8	3.56	4.38	4.49	4.61	4.72	4.95	5.68	6.13	6.43
9	3.66	4.57	4.70	4.82	4.95	5.23	6.09	6.63	7.00
10	3.74	4.74	4.89	5.04	5.18	5.47	6.45	7.09	7.53
12.5		5.02	5.20	5.38	5.56	5.92	7.20	8.06	8.68
15		5.20	5.40	5.60	5.80	6.25	7.77	8.84	9.64
17.5		5.30	5.53	5.76	5.99	6.44	8.20	9.47	10.4
20			5.62	5.87	6.12	6.60	8.54	9.97	11.1
25			5.74	5.96	6.20	6.79	8.99	10.7	12.1
30							9.27	11.3	12.9
35								9.44	11.6
40									11.8
45									12.0
50									12.1
60									12.1
-	3.88	5.38	5.76	6.00	6.26	6.82	9.55	12.2	14.7

Bibliografia

CAVELAARS, J.C . Subsurface field drainage systems . In : INTERNATIONAL INSTITUTE FOR LAND RECLAMATION AND IMPROVEMENT . **Drainage principles and applications** : design and management of drainage systems . 2.ed. Wageningen , 1980. v.4, p.1-121. (ILRI . Publication , 16).

DIELEMAN, P.J. (Ed.) . **Drainage design factors** . Roma : FAO, 1980 . (FAO. Irrigation and Drainage Paper , 38).

KESSLER, J. Field drainage criteria . In: INTERNATIONAL INSTITUTE FOR LAND RECLAMATION AND IMPROVEMENT. **Drainage principles and application** : theories of field drainage and watershed runoff . Wageningen , 1973. v.2. (ILRI. Publication , 16).

RIDDER, N.A. de. Groundwater survey . In : INTERNATIONAL INSTITUTE FOR LAND RECLAMATION AND IMPROVEMENT. Drainage principles and application : surveys and investigations . 2.ed. Wageningen, 1980. v.3, cap. 21, p.153-220. (ILRI. Publication, 16).

KIRKHAM, D.; TOKSOZ, S.; VAN DER PLOEG, R.R. Steady flow to drains and wells. In : SCHILFGAARDE, J. van (Ed.) : **Drainage for agriculture**, Madison : American Society of Agronomy, 1974. p.203-244 . (ASA : Agronomy , 17).

LUTHIN , J.N. Drainage of irrigated lands . In: LUTHIN, J.N. (Ed.). **Drainage of agricultural lands** . Madison : AAS , 1957 . p.344-371.

MILLAR , A.A . **Drenagem de Terras Agrícolas** : bases agrônômicas. São Paulo : Mcgraw Hill do Brasil , 1978 . 276p.

PIZARRO, F. Drenage Agrícola y Recuperación de Solos Salinos. Fortaleza : MINTER/SUDENE/DNOCS , 1976.

RAADSMA , S. ; SCHULZE , F.E. Surface field drainage systems. In: INTERNATIONAL INSTITUTE FOR LAND RECLAMATION AND IMPROVEMENTE . **Drainage principles and applications** : design and management of drainage systems. 2.ed. Wageningen, 1980. v.4 , cap. 28 , p. 67-121 . (ILRI. Publications, 16).

ESTADO UNIDOS . Soil conservation Service . Department of Agriculture .

Drainage of agricultural land . Washington : Water Information Center, 1973.
430p.

ESTADOS UNIDOS . Bureau of Reclamation . **Drainage manual** : a water
resources technical publication . Washington : government Printing Office,
1978 . 286p.

BEERS, W.F.J . van . **Computing drain spacings** . Wageningen : ILRI , 1976 .
47p. (ILRI . Bulletin , 15).

BEERS, W.F.J. **The auger hole method** . 4.ed. Wageningen : ILRI , 1976 .
23p. (ILRI . Bulletin , 1).

WESSELING, J. Subsurface flow into drains . In : INTERNATIONAL INSTITUTE FOR
LAND RECLAMATION AND IMPROVEMENT . **Drainage principles and applications**.
Theories of field drainage and watershed runoff . Wageningen, 1973. v.2, cap.8, p.1-
56 . (ILRI . Publication , 16).

Embrapa

Semi-Árido

Drenagem subterrânea :
2001 FL - FL 14503



25774-1

**MINISTÉRIO DA AGRICULTURA
E DO ABASTECIMENTO**

**GOVERNO
FEDERAL**
Trabalhando em todo o Brasil