

# DRENAGEM SUBTERRÂNEA NO PERÍMETRO IRRIGADO DE MANIÇOBA: CRITÉRIOS DE DIMENSIONAMENTO E AVALIAÇÃO DE PERFORMANCE<sup>1</sup>

CARLOS R. VALDIVIESO<sup>2</sup>, HERMINIO H. SUGUINO<sup>3</sup>, GILBERTO G. CORDEIRO<sup>4</sup>  
e WALTER CALDAS JÚNIOR<sup>5</sup>

**RESUMO** - Os trabalhos foram conduzidos num sistema de drenagem subterrânea entubado (1,5 ha) instalado nos solos classe 3 do Perímetro Irrigado de Maniçoba para observar a aplicabilidade das equações de espaçamento de drenos usadas, para aferir alguns parâmetros hidrológicos dos solos e para ajustar parâmetros de dimensionamento. Foram consideradas variáveis, o espaçamento entre drenos e uma combinação de materiais de envoltura. O espaçamento entre drenos (L.) foi calculado com base em parâmetros determinados *in loco* e usando as equações de Hooghoudt e de Glover e Dumm. O duplo do espaçamento calculado foi considerado como variação deste parâmetro. As variações do lençol freático e as vazões dos drenos como resposta às recargas de irrigação superficial (sulcos) e chuva, foram levantadas para drenos paralelos espaçados de 15 m a 30 m, acompanhado os regimes de umidade no perfil do solo. Ademais, foram determinadas em análise de laboratório, as características químicas e a quantidade de sedimentos das águas de drenagem. Resultados do estudo mostraram que o espaçamento L = 30 m manteve melhor regime de umidade no perfil do solo. A descarga máxima instantânea dos drenos é de 8 a 10 mm/dia, caindo a 4 mm/dia ou menos no terceiro dia após a recarga. O lençol freático manteve-se entre 0,6 m e 1,0 m sob a superfície na área com L = 30 e entre 1,2 m e 1,5 m sob a área com L = 15 m. Demonstrou-se a contribuição desprezível da camada abaixo dos drenos ao fluxo subterrâneo, e a precisão do método do furo de trado (*auger hole*) na determinação da condutividade hidráulica. A fórmula de Hooghoudt sobreestima o espaçamento em 24% e a de Glover & Dumm os subestima em 30%. Os valores de porosidade drenável obtidos foram 7,8% e 24% e do fator de intensidade de drenagem 0,15 e 0,21.

Termos para indexação: parâmetros hidrológicos, drenos, materiais de envoltura, variações.

## SUBSURFACE DRAINAGE AT IRRIGATION PROJECT MANIÇOBA: DESIGN CRITERIA AND PERFORMANCE

**ABSTRACT** - This study was carried out on a parallel subsurface pipe drainage system (1.5 ha) installed for this purpose in a Class 3 soil plot of Irrigation Project Maniçoba, BA, Brazil, in order to determine the applicability of drain spacing equations, check some soil hydrological parameters and adjust design criteria. Drain spacing and combination of envelope materials were the variables considered. The drains spacing (L.) was calculated based on parameters determined *in situ* and using equations of Hooghoudt and Glover-Dumm. Twice the calculated spacing was considered for variation of this parameter. Depth of water table and rain discharges as response to recharge (surface irrigation or rainfall) were registered for drains spaced L = 15 m and L = 30 m also monitoring soil moisture. Eventually, chemical composition and sediments content of drainage water was determined in the laboratory. Results of this study show that the L = 30 m spacing kept better soil moisture regime in the profile. The peak instantaneous drain discharge was 8 to 10 mm/day falling to 4 mm/day or less three days after recharge took place. The mean water table depth during the study was 0.6 m to 1.0 m below ground surface for L = 30 m and 1.2 m to 1.5 m for L = 15 m. Contribution of soil layers below drain level to underground flow was found negligible. Auger hole method proved a very precise one for the determination of hydraulic conductivity *in situ*. Hooghoudt equation overestimated the spacing in 24% and Glover-Dumm equation underestimated it in 30%. Drainable porosity values found were, 7.8% and 24% and drainage intensity factor determined varied from 0.15 to 0.21.

Index terms: hydrological parameters, drainage, envelope materials, variations.

## INTRODUÇÃO

Os critérios de drenagem podem ser determinados para condições de lençol freático constante (permanente) ou lençol freático flutuante (transiente), Kessler 1979. Condições de fluxo não permanente ocorrerem normalmente quando por efeci-

<sup>1</sup> Aceito para publicação em 21 de julho de 1987.

<sup>2</sup> Eng. - Agr., M.Sc., Irrigação e Drenagem, Programa IICA/EMBRAPA-CPATSA, Caixa Postal 23, CEP 56300 Petrolina, PE.

<sup>3</sup> Eng. - Agr., M.Sc., Drenagem e Física de Solos, CODEVASF, 3ª Dr. Div. Drenagem, Petrolina, PE.

<sup>4</sup> Eng. - Agr., EMBRAPA/CPATSA.

<sup>5</sup> Eng. - Agr., CODEVASF, Div. Drenagem.

to da irrigação ou chuvas intermitentes o lençol se eleva, descendo após cessar o efeito da recarga; comumente, fórmulas para condições de fluxo permanente são usadas no cálculo do espaçamento entre drenos com resultados satisfatórios (FAO 1980), principalmente quando a barreira impermeável está a pouca profundidade (Lovell & Youngs 1984). Os critérios de drenagem que definem a posição do lençol freático e a descarga dos drenos (caso permanente) e o tempo necessário para descer o lençol de uma posição inicial a outra desejada (caso não-permanente), devem satisfazer requerimentos das culturas para condições específicas de solo, clima e manejo. Equações teóricas para o cálculo do espaçamento entre drenos têm sido desenvolvidas principalmente: para fluxo permanente por Hooghoudt e para fluxo não-permanente por Glover & Dumm (Beers 1965, Schilf-gaarde 1974).

As equações para solos homogêneos têm a seguinte forma:

$$\text{Hooghoudt, } L^2 = \frac{4 \text{ kg } (2d + h)}{q} \dots 1$$

Glover & Dumm,

$$L = \pi \left( \frac{KDt}{\mu} \right)^{1/2} \left( \ln \left( 1.16 \frac{h_0}{ht} \right) \right)^{-1/2} \dots 2$$

onde:

- L = espaçamento entre drenos; m
- K = condutividade hidráulica; m/dia
- d = camada equivalente; m
- h = carga hidráulica; m
- q = descarga do dreno; m/dia
- D = espessura do aquífero; m

t = tempo, dias

h<sub>0</sub> = carga hidráulica na posição inicial do lençol; m

h<sub>t</sub> = carga hidráulica após t dias; m

μ = porosidade drenável

A camada equivalente (d) é uma redução de D para compensar o fluxo radial próximo do dreno (Beers 1965), e outros parâmetros (K, D, μ) são estimados baseados em observações e medições pontuais que podem apresentar limitações e se configurar em fontes de erro. Do mesmo modo a descarga do dreno (q) é derivada de balanço de água ou de análise de dados de chuva com certo grau de incerteza.

Outras equações para condições de fluxo não-permanente são discutidas por Bower & Schilf-gaarde 1963.

O objetivo do presente trabalho é definir critérios de drenagem para as condições locais, observando a aplicabilidade das equações de espaçamento de drenos usadas, aferindo alguns parâmetros hidrológicos dos solos e espaçamentos de drenos apropriados.

## MATERIAL E MÉTODOS

Um sistema de drenos subterrâneos foi implementado no lote 62 do Perímetro Irrigado de Maniçoba, BA. Os solos da área são arenosos (Tabela 1) de classe 3 segundo sua aptidão à irrigação, representando de 70% dos solos do perímetro. À profundidade em torno de 1,60 m, o solo apresenta seixo rolado e materiais mais finos, que por propósitos práticos é próximo da rocha e de baixa permeabilidade, e foi considerado como embasamento impermeável. O sistema em questão consiste de dez linhas de drenos paralelos de 70 m de comprimento, instalados a 1,60 m de profundidade e com 0,005 m/m de declividade, cinco linhas instaladas com espaçamento calculado no planejamento (15 m) e cinco linhas com duas vezes o espaçamento calculado.

A condutividade hidráulica foi determinada em testes de furo de trado, obtendo-se a média de K = 2,3 m/dia. A

TABELA 1. Características físico-químicas dos solos. Lote 62. Perímetro Irrigado de Maniçoba, BA.

Prof.	(% Areia	(% Silte	(% Argila	DA <sup>1</sup>	Peso (%) Umidade		pH	CE <sup>2</sup>	meq/100 gr solo					(% MO	ppm P	
					1/3	15 (Atmosferas)			Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	S			H <sup>+</sup> + Al <sup>3+</sup>
0-30	90	4	6	1,54	4,1	2,31	7,0	0,61	1,7	0,8	0,02	0,25	2,77	0,33	0,81	6,24
30-60	83	4	13	1,60	5,83	3,34	5,6	0,27	1,2	0,8	0,02	0,13	2,15	1,15	0,42	2,4
60-90	74	5	21	1,66	10,47	5,53	5,0	0,38	0,7	0,8	0,03	0,09	1,62	1,81	—	1,44

S = Soma cátions trocáveis

MO = Matéria orgânica

P = Fósforo

porosidade drenável estimada a partir da relação  $\mu = \sqrt{K}$  (Beers 1965) foi de 15%.

### Cálculo do espaçamento de drenos:

O espaçamento foi calculado usando as fórmulas mais conhecidas: Hooghoudt (regime permanente) e Glover & Dumm (regime transiente). Os parâmetros (fórmulas 1 e 2) usados em cada caso foram determinados, medidos e/ou estimados segundo o caso e serão apresentados oportunamente.

**Regime permanente** - A equação de Hooghoudt quando a camada impermeável está diretamente abaixo dos drenos, simplifica-se a:

$$L^2 = \frac{4 Kh^2}{q}$$

Os parâmetros usados foram:

$K = 2,3$  m/d (medido em testes de furo de trado).

$h =$  (profundidade do dreno) - (profundidade máxima admitida no ponto médio entre drenos paralelos) =  $1,60 - 1,10 = 0,50$  m

$q = 8,0$  mm/d (estimado em base a balanço hídrico no perfil do solo).

O espaçamento calculado foi de  $L = 16,96$  m.

**Regime não-permanente (transiente)** - A equação usada foi a de Glover & Dumm.

Os parâmetros usados foram:

$K = 2,3$  m/d;

$\mu = 0,15$ ;

$h_0 = 0,8$  m;

$h_t = 0,4$  m;

$t = 3$  dias;

$D_0 = 0$

$$D = D_0 + \frac{h_0 + h_t}{4} = 0,3$$

O espaçamento calculado foi  $L = 12,72$

A média dos espaçamentos calculados com as duas fórmulas é de  $L = 14,84$  m; adotando-se o valor de  $L = 15$  m (próximo inteiro).

Tubos de PVC liso de 100 m de diâmetro foram usados como drenos; estes foram fendilhados com serra procurando obter uma área de entrada de 0,4%, valor aproximado da área de entrada em manilhas de cerâmica de 30 cm de comprimento e 10 cm de diâmetro. Como material de envoltura usaram-se areia com Bedim, cascalho com Bedim e só cascalho.

A vazão dos drenos foi medida continuamente pelo método do recipiente de volume conhecido e cronômetro, e a profundidade do lençol obtida de poços de observação dispostos em baterias de três poços arranjados em linha perpendicular ao eixo do dreno distanciados 0, 1/5 e 1/2 do espaçamento entre drenos.

A fonte de recarga foi principalmente a irrigação superficial (por sulcos), aplicada em média cada seis dias.

Complementamente foi determinada a distribuição de umidade do solo antes de cada irrigação em amostras de 0 cm a 30 cm, 30 cm a 60 cm e 60 cm a 90 cm de pro-

fundidade pelo método gravimétrico; e foram determinadas as variações químicas e de sedimentos da água de drenagem.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Regime de umidade no perfil do solo

A Fig. 1 representa a distribuição média da umidade no perfil do solo, antes de cada irrigação, na área arenada. A área entre as curvas multiplicada pela densidade aparente média dos solos representa a diferença dos efeitos de um a outro tratamento em termos de mm de água. Para os regimes de irrigação praticados, i.e., intervalos de seis dias e lâminas de 7,5 mm na área não drenada (testemunha) a mais de 10 mm na área drenada, a umidade antes da irrigação esteve sempre acima da capacidade de campo em 6,3%; 3,4% e 1,5% respectivamente nos casos sem dreno, com dreno cada 30 m e com dreno cada 15 m respectivamente. Estes valores estão diretamente relacionados com a profundidade do lençol freático quando o solo é drenado natural ou artificialmente até um estado de equilíbrio (Skaggs et al. 1973).

### Perfil do lençol freático durante a drenagem

A posição do lençol durante a drenagem, levantada a partir das baterias de poços de observação representada nas Fig. 2A e 2B, para ambos os espa-

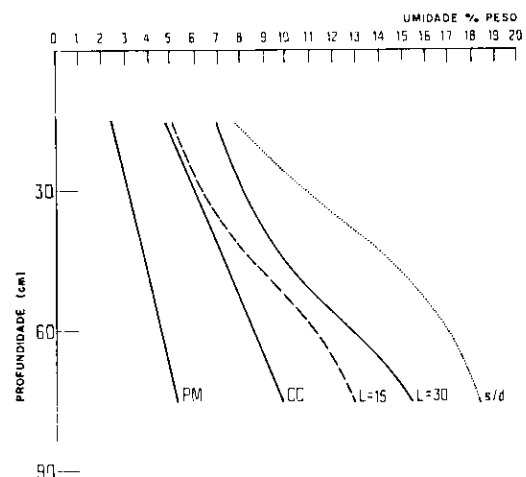


FIG. 1. Perfil de umidade do solo na área sem drenos (s/d), drenos cada 30 m e drenos cada 15 m.

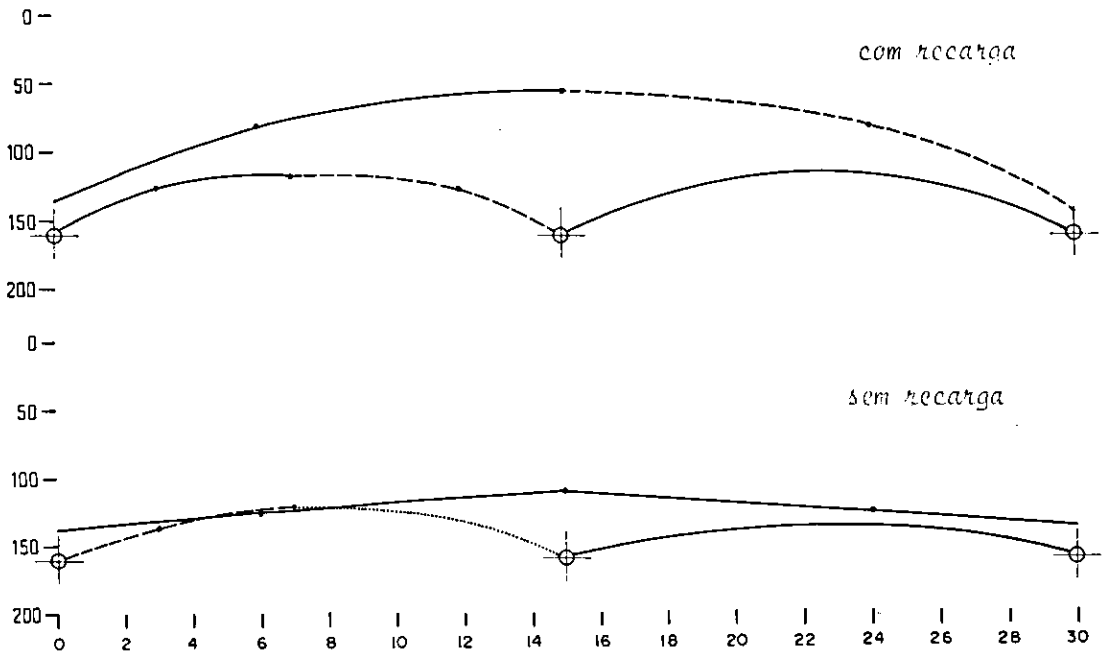


FIG. 2A. Perfil do lençol freático por efeito da drenagem.

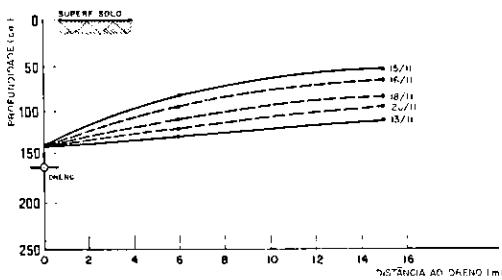


FIG. 2B. Queda do lençol após cessar a recarga.

çamentos de drenagem 30 m e 15 m. O perfil do lençol é de forma parabólica, com variações sensíveis dependentes do espaçamento e o estado inicial ou final em relação à ação da recarga. A equações para o estado final de “quase” equilíbrio para os dois espaçamentos de drenos estudados são:

$$L = 15, \quad h = 9,47 x - 0,64 x^2 \quad \dots 4$$

$$L = 30, \quad h = 3,3 x - 0,815 x^2 \quad \dots 5$$

Onde  $h$  = carga hidráulica, em metros e  $x$  = distância ao dreno, em metros. A forma parabólica foi a de melhor ajuste, como indicado pelos valores de  $R^2$  ( $= 0,99$ ) obtidos, e semelhante à elíptica assumida por Hooghoudt e a parábola de 4.<sup>o</sup> grau

considerada por Tapp e Moody para obter a atual fórmula modificada de Glover & Dumm (Schilf-gaarde 1974, Skaggs et al. 1973, Perrier et al. 1972).

O período de observação escolhido foi o correspondente a 16-22/novembro, após uma chuva de 80 mm; a falta de uniformidade na aplicação da irrigação não permite uma comparação do efeito da recarga nos tratamentos.

#### Carga hidráulica ( $h$ ) e descarga específica do dreno ( $q$ ).

A relação entre  $h$  e  $q$  está representada na Fig. 3. Foram usados os dados correspondentes a vários e diferentes períodos de irrigação, inclusive, um de chuva, resultando numa distribuição um pouco dispersa como consequência das condições iniciais de umidade e do tempo de irrigação principalmente (Hoffman & Schwab 1964). A relação obtida é quadrática mas diferente para cada espaçamento e as equações das curvas aproximadas são:

$$L = 30 \text{ m}, \quad q = 0,005 - 0,21 h + 8,76 h^2 \quad \dots 6$$

$$L = 15 \text{ m}, \quad q = -0,005 - 0,69 h + 27,54 h^2 \quad \dots 7$$

onde:

$L$  = espaçamento entre drenos, m

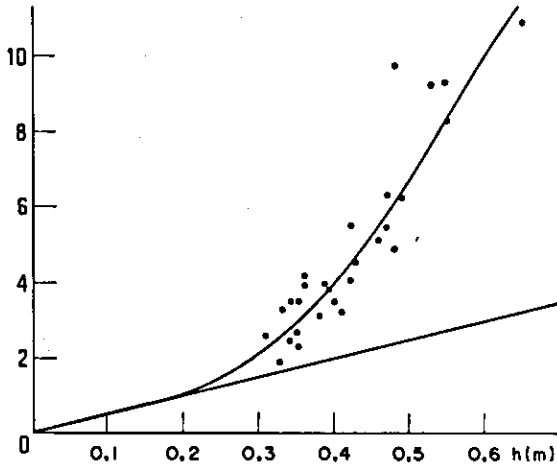
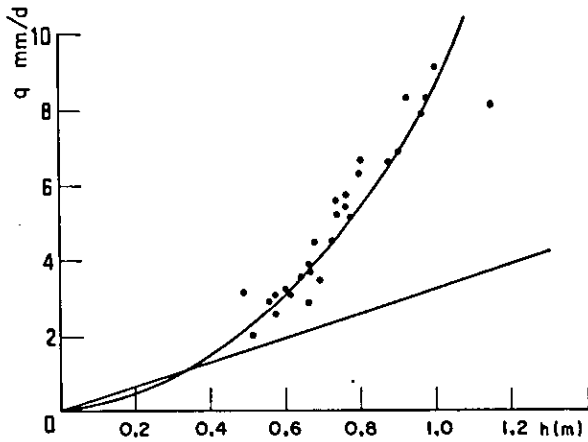


FIG. 3. Relação q vs h: Esq. L = 30 m; Dir. L = 15 m.

q = descarga específica ou descarga normativa, m/dia.

Dieleman & Trafford (1976), justificam linearidade na relação q vs. h quando o lençol freático desce até próximo do nível dos drenos ou quando a contribuição ao fluxo, das camadas acima dos drenos é mínima. Sob o regime de irrigação conduzido, a descarga específica máxima dos drenos foi em torno de 8,0 mm/dia nos drenos espaçados cada 30 m e de 9 a 10 mm/dia nos drenos cada 15 m; para estas descargas, corresponderam cargas hidráulicas de 0,9 m para L = 30 m e 0,20 m à 0,55 m para L = 15 m. No terceiro dia após cessar a recarga, a descarga caiu a 50%, caindo a carga a 0,75 m e 0,15 m (Fig. 4).

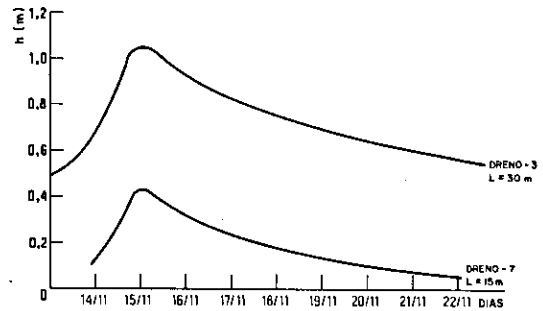


FIG. 4. Recessão do lençol: h vs. t.

**Parâmetros hidrológicos do solo.** São discutidos em continuação:

A condutividade hidráulica, (K) foi preliminarmente determinada em testes de "furo de trado" e posteriormente conferida através da utilização dos dados levantados de h e q durante a performance do sistema de drenos subterrâneos instalados. A equação de Hooghoudt para fluxo em regime permanente é utilizada neste propósito, expressa como uma função de h (Dieleman & Trafford 1967, Dieleman 1979):

$$q = \frac{8 K dh}{L^2} + \frac{4 Kh^2}{L^2} \quad \dots 8$$

$$q\mu h = A + Bh \quad \dots 9$$

A relação q/h vs. h (Fig. 5), observa linearidade quando A é nulo ou seja só quando d = 0, então:

$$q/h = Bh$$

e o valor de B é determinado pela declividade da linha q/h vs. h:

$$B = \frac{4H}{L^2} j = \tan \theta \quad \dots 11$$

Os valores K obtidos são 2,03 e 2,53 m/d para L = 30 e L = 15, respectivamente, que dão a média de 2,28 m/d, concordante com os valores preliminares, confirmando a confiabilidade do método de "furo de trado".

- O fator de intensidade de drenagem ou fator de reação, foi derivado da função de recessão de q

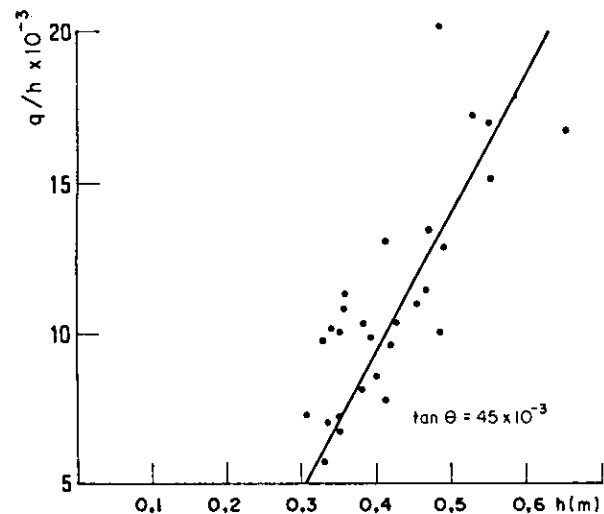
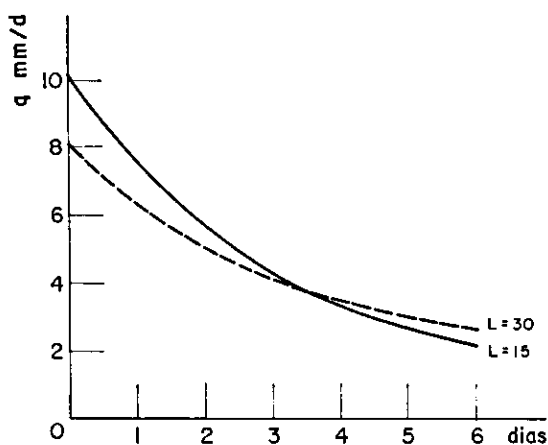
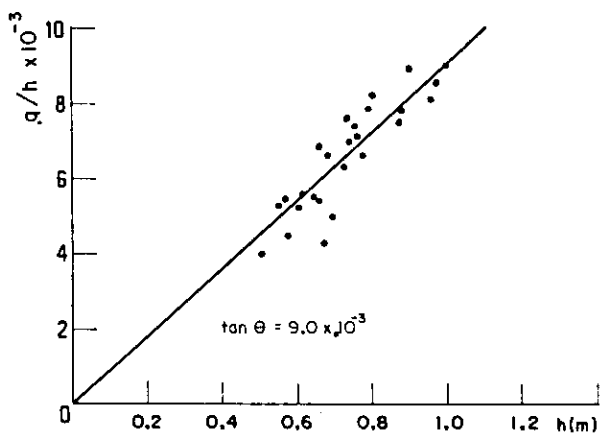


FIG. 6. Recessão da descarga: q vs.t.

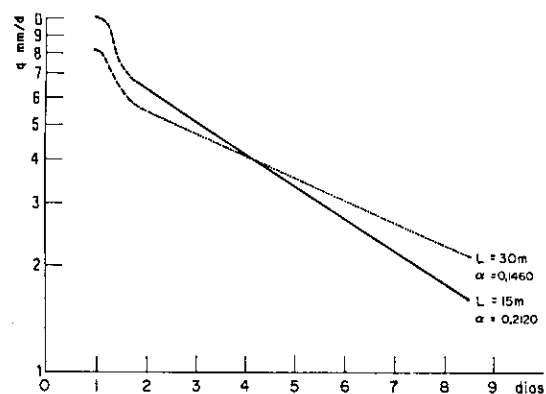


FIG. 5. Relação q/h vs h: Esq. L = 30 m; Dir. L = 15 m.

FIG. 7. Relação log q vs.t.

de um só período (Fig. 6), e é definido pela declividade da função semi-log (Fig. 7):

$$= \frac{2,3 (\log q^1 - \log q^2)}{t^1 - t^2} \dots 12$$

Os valores obtidos foram 0,15 e 0,21 dia<sup>-1</sup>, para L = 30 m e L = 15 m respectivamente. Estes valores são usados posteriormente na determinação da porosidade drenável.

- Porosidade drenável ( $\mu$ ) - a seguinte relação derivada por Kraijenhoff Van de Leur (Dieleman 1979) foi usada no cálculo da porosidade drenável a partir da informação de (q) e (h) levantada:

$$q(t) = \frac{2\mu}{\pi j} h(t) \dots 13$$

Onde  $j = 1/\alpha$  coeficiente de reservatório de Kraijenhoff; q (t) e h (t), são q e h dependentes do tempo.

$$\mu = \frac{q(t) \cdot \pi}{2\alpha h(t)} \dots 14$$

Os valores obtidos foram 0,07; 0,08 e 0,24. Os dois primeiros são demasiado pequenos e muito diferentes dos valores esperados para o tipo de solo em questão (FAO 1979) e a média dos três (0,13)

é muito próxima do valor inicialmente estimada (0,15). Outros testes deverão ser feitos para definir melhor este parâmetro.

- Transmissividade (KD) - a seguinte equação, derivada por Kraijenhoff Van de Leur (Dieleman 1979, El-Mowelhi & Shilfgaarde 1982) foi usada para o cálculo da transmissividade.

$$KD = \frac{L^2 q (t)}{2\pi h (t)} \quad \dots 15$$

Valores de q e h medidos no campo foram usados e obtiveram-se valores médios de KD de 0,36 e 0,95 m<sup>2</sup>/dia (KD = 0,66 m<sup>2</sup>/dia) para espaçamento de 15 m e 30 m, respectivamente.

A transmissividade total do perfil seria dada pelas contribuições parciais das camadas acima (1) e abaixo de (2) dos drenos.

$$KD = K_1 D_1 + K_2 D_2$$

$$K_1 D_1 = 0,63 \text{ m}^2/\text{dia}$$

$$\text{então } K_2 D_2 = 0,03 \text{ m}^2/\text{dia.}$$

O cálculo anterior nos confirma a pouca ou desprezível contribuição da camada abaixo dos drenos, justificando a suposição inicial em relação à profundidade da camada impermeável.

#### Espaçamento de drenagem (L.)

Nas Fig. 1 e 4 percebe-se que a efetividade da drenagem subterrânea para rebaixar o lençol freático é maior quanto menor é o espaçamento. Observa-se também que, limitados pela proximidade da camada impermeável, os drenos são pouco profundos. Verificou-se também a afirmação de Doering et al. (1982), que em solos de textura grossa, quanto maior a profundidade do lençol (correspondente a um menor espaçamento entre drenos), maior a demanda de irrigação; no entanto, isto é favorável na época de chuvas permitindo maior capacidade de armazenamento, e fazendo menos graves os problemas de alagamento e escoamento superficial (erosão).

Os dois espaçamentos testados foram eficientes no rebaixamento do lençol, sendo que o espaçamento menor (L = 15) manteve o lençol freático

desnecessariamente mais profundo secando em excesso o perfil. O espaçamento L = 30 m manteve melhor regime de umidade no perfil, entretanto acredita-se ainda que é necessário testar espaçamentos maiores, na procura de soluções mais eficientes e conseqüentemente mais econômicas.

As fórmulas usadas têm limitações de aplicação pela sua procedência empírica e/ou teórica que exige simplificações para a sua dedução. Por outro lado a avaliação dos parâmetros necessários nas fórmulas também tem limitações de representatividade porque procedem de observações pontuais em número geralmente insuficientes e/ou baseados em premissas nem sempre possíveis de conferir a priori. Por esta razão justifica-se o recálculo do espaçamento usando os parâmetros conferidos no funcionamento dos drenos (a posteriori) de maneira a ajustar parâmetros e critérios de drenagem, e o grau de confiabilidade das fórmulas usadas.

Assim para o espaçamento real de L = 15 m, os valores recalculados são 20,3 m e 9,18 m, com as fórmulas de Hooghoudt e Glover & Dumm, respectivamente. Para o espaçamento real de L = 30 m. Os valores recalculados são: 34,05 m e 23,4 m, com as fórmulas de Hooghoudt e Glover & Dumm, respectivamente. Concluindo-se que Hooghoudt sobreestima os espaçamentos em 35% e 13,5% e Glover & Dumm os subestima em 38,8% e 22%.

#### Comportamento do material de envoltura

Foram tomadas amostras de água de drenagem em três oportunidades para determinação da quantidade de sedimentos "lavados" através do material de envoltura (Tabela 2). Aparentemente a combinação de Bedim + cascalho apresenta o melhor comportamento, tanto como filtro (menor quantidade de sedimentos) quanto em relação à resistência de entrada apresentada. Esta foi observada com leituras no poço de observação instalado no dreno mesmo. As leituras dos poços acima dos drenos foram 1,376 m; 1,606 e 1,45, respectivamente para as combinações (1) Bedim + areia (2) Bedim + cascalho e (3) cascalho. A perda de carga, (he) é nessa mesma ordem 0,224, 0,042 e 0,150. A resistência de entrada (r<sub>e</sub>) é calculada com a seguinte relação (Dieleman 1976):

$$r_e = \frac{he}{q}$$

TABELA 2. Água de drenagem.

Material de envoltura	Datas	05/10/84		26/10/84			14/06/85		
	pH	CE <sup>2</sup>	Sedim. <sup>3</sup>	pH	CE <sup>2</sup>	Sedim. <sup>3</sup>	pH	CE <sup>2</sup>	Sedimento <sup>3</sup>
Bedim + areia	5,9	0,30	44,2	6,63	0,23	14,0	5,87	0,20	79,7
Bedim + cascalho	6,1	0,28	22,0	6,8	0,25	20,0	5,55	0,18	23,0
Cascalho	5,5	0,34	8,0	6,7	0,28	20,0	5,5	0,21	478,5

<sup>1</sup> Densidade aparente, g/cm<sup>3</sup>

<sup>2</sup> mmho/cm

<sup>3</sup> mg/l.

onde:

$r_e$  = resistência de entrada, dias/m

$h_e$  = perda de carga, m

$q$  = descarga do dreno, m<sup>3</sup>/dia-m (por metro de comprimento de dreno)

E foram obtidos os seguintes valores  $r_e$ : 1,47; 0,57; 2,14 para as combinações (1), (2) e (3), respectivamente.

A desvantagem das duas primeiras combinações pode ser o custo do Bedim; a vantagem, é a de limitar o volume necessário de material inerte (areia ou cascalho) complementar.

### CONCLUSÕES

1. O método de furo de trado na determinação da condutividade hidráulica é bastante exato.
2. O perfil do lençol freático da drenagem nas condições do estudo foi de forma parabólica.
3. A velocidade de descarga dos drenos foi em torno de 5 mm/d. Sendo a máxima instantânea de 8 a 10 mm/d.
4. A carga hidráulica média nas condições do estudo foi 0,75 m e 0,16 à 0,44, para 30 m e 15 m de espaçamento, respectivamente.
5. A camada de solo abaixo dos drenos, constituída por cascalho com materiais finos, no caso estudado, tem contribuição desprezível ao fluxo e pode ser considerada como o manto impermeável.
6. O fator de intensidade de drenagem ou fator de reação, variou de 0,15 a 0,21.
7. Os valores de porosidade drenável determinados no teste de performance dos drenos foram de 7,8% e 24%.

8. A fórmula de Hooghoudt sobreestima o espaçamento de drenos em 13,5% a 35%; a de Glover & Dumm os subestima em 22% a 39%.

9. Dos espaçamentos testados, e em função de custos e requerimentos de irrigação, o espaçamento  $L = 30$  é o mais conveniente para as condições do estudo.

### REFERÊNCIAS

- BEERS, W.F.J. van. Some nomographs for the calculation of drain spacing. Wageningen, International Institute for Land Reclamation and Improvement, 1965. 48p. (Bulletin, 8)
- BOWER, H. & SCHILFGAARDE, J. van Simplified method of predicting fall of water table in drained land. Trans. ASAE, 6(4):288-96, 1963.
- DIELEMAN, P.J. Deriving soil hydrological constants from field drainage test. In: DRAINAGE PRINCIPLES AND APPLICATIONS. Wageningen, International Institute for Land Reclamation and Improvement, 1979. v. 3, p.329-50. (Publication, 16)
- DIELEMAN, P.J. & TRAFFORD, B.D. Drainage testing. Rome, FAO, 1976. 172p. (FAO Irrigation and Drainage Paper, 28)
- DOERING, E.J.; BENZ, L.C.; REICHMAN, G.A. Shallow-water-table concept for drainage design in semi-arid and sub-humid regions. In: NATIONAL DRAINAGE SYMPOSIUM, 4., Chicago, 1982. Advances in drainage; proceedings of the Fourth National Drainage Symposium. St. Joseph, American Society of Agricultural Engineers, 1982. p.34-41. (ASAE publication, 12-82)
- EL-MOWELHI, N.M. & SCHILFGAARDE, J. van. Computation of soil hydrological constants from field drainage experiments in some soils of Egypt. Trans. ASAE, 25(4):984-6, 1982.
- FAO, Roma, Itália. Drainage design factors; 28 questions and answers expert consultation. s.l., 1980. p.52. (FAO irrigation and drainage paper, 38)



- HOFFMAN, G.J. & SCHWAB, G.O. Tile spacing prediction based on drain outflow. *Trans. ASAE*, 7(4): 444-7, 1964.
- KESSLER, J. Field Drainage Criteria. In: **DRAINAGE PRINCIPLES AND APPLICATIONS**. Wageningen, International Institute for Land Reclamation and Improvement, 1979. v. 2, p.131-64.
- LOVELL, C.J. & YOUNGS, E.G. A comparison of steady-state land drainage equations. *Agric. Water Manage.*, 9(1):1-21, 1984.
- PERRIER, E.R.; MACKENZIE, A.J.; GRASS, L.B.; SHULL, H.H. Performance of a tile drainage system; an evaluation of a tile design and management. *Trans. ASAE*, 15(3):440-4, 1972.
- SCHILFGAARDE, J. van. Nonsteady flow to drains. In: \_\_\_\_\_, ed. **Drainage for agriculture**. Madison, American Society of Agronomy, 1974. (Agronomy, 17)
- SKAGGS, R.W.; KRIZ, G.J.; BERNAL, R. Field evaluation of transient drain spacing equations. *Trans. ASAE*, 16(3):590-5, 1973.