

## EFICIÊNCIA DE ALGUMAS EQUAÇÕES DE DRENAGEM NO DIMENSIONAMENTO DE DRENOS ABERTOS E COBERTOS EM CONDIÇÕES DE CAMPO<sup>1)</sup>

Eugenio Ferreira Coelho<sup>2)</sup>  
Paulo Afonso Ferreira<sup>3)</sup>  
Tarciso José Caixeta<sup>4)</sup>  
Salassier Bernardo<sup>3)</sup>  
Blanor Torres Loureiro<sup>3)</sup>

### 1. INTRODUÇÃO

Tendo em vista o sucesso alcançado pelo PROVÁRZEAS e a demanda de trabalhos de pesquisa que visem a aumentar a produção brasileira de alimentos, torna-se imprescindível aprimorar os conhecimentos a respeito das áreas de várzeas cultiváveis. As várzeas constituem áreas de baixadas que abrangem cerca de 30 milhões de hectares em todo o Brasil. Seus solos, pela constituição química e física e pela topografia, aliada às técnicas de drenagem e irrigação, representam, verdadeiramente, grande potencial para a produção de alimentos de custo baixo e em menor espaço de tempo (17).

No programa de aproveitamento de várzeas, um dos principais investimentos consiste na drenagem, para a qual, na maioria dos casos, não se usam técnicas adequadas de dimensionamento dos sistemas, que exige obtenção correta dos parâmetros físico-hídricos do solo. Dentre esses parâmetros destaca-se a condutividade hidráulica saturada ( $K_0$ ), cujo valor pode ser determinado por diversos métodos, de campo e de laboratório (2, 3, 7, 9, 14, 18). Dentre os de campo destacam-se

<sup>1)</sup> Parte da tese do 1.<sup>º</sup> autor, apresentada à U.F.V.

Recebido para publicação em 11-7-1984.

<sup>2)</sup> Rua Gomes Barbosa, 184. 36570 Viçosa, MG.

<sup>3)</sup> Departamento de Engenharia Agrícola da U.F.V. 36570 Viçosa, MG.

<sup>4)</sup> EPAMIG. Caixa Postal 216. 36570 Viçosa, MG.

os métodos do poço (furo de trado) e do piezômetro, que têm sido usados por diversos autores (4, 8, 15, 16, 21, 22) no estudo da eficiência das equações de dimensionamento ou do comportamento do lençol freático.

Outro parâmetro físico de grande importância é a porosidade drenável ( $f$ ), cujos valores, determinados em laboratórios, têm sido usados no estudo do dimensionamento de sistemas de drenagem em regime não permanente (4, 21).

Um item do dimensionamento de sistemas de drenagem é a definição do tipo de escoamento com que se deve trabalhar. Diversos autores (9, 18, 20) consideram mais correto o dimensionamento em condições de regime de escoamento não permanente, isto é, considerando a variação da altura do lençol de acordo com o tempo.

As equações mais usadas para determinar o espaçamento entre drenos, nessas condições, são as de Glover, Tapp-Moody, Boussinesq-Schilfgaarde, Bouwer-Schilfgaarde, Van Schilfgaarde, Luthin e Hammad. Essas equações têm sido objeto de estudo fora do País, onde não há trabalhos que recomendem determinada fórmula de dimensionamento como mais adequada às condições das várzeas em geral. Em razão disso, há necessidade de pesquisas que visem à definição da melhor equação ou teoria.

Diante disso, os objetivos deste trabalho foram:

- determinar as características hidrodinâmicas (condutividade hidráulica saturada e porosidade drenável) de um solo de várzea e
- analisar a eficiência do sistema de drenos abertos e cobertos, instalados no campo, bem como testar as teorias clássicas de dimensionamento desses sistemas.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi conduzido num segmento de várzea de cinco ha, na Fazenda Experimental Santa Rita, município de Prudente de Moraes, pertencente à Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG).

A área experimental, constituída de três drenos de 180 m de comprimento, espaçados de 40 m (Figura 1), foi dividida em duas partes: uma representando um sistema de drenos abertos de seção trapezoidal, com declividade média de 0,4%, comprimento de 90 m a partir do dreno coletor (base menor, 0,40 m; talude, 0,75:1; altura média, 1,20 m); e outra representando um sistema de drenos cobertos, de 90 m de comprimento, feitos com tubos de PVC corrugados, perfurados, com a mesma declividade e profundidade dos drenos abertos, envolvidos por 10 cm de envelope, ou filtro, de brita número zero e areia grossa.

### 2.1. Determinação das Características Físicas da Área Experimental e Instalação do Sistema de Registro de Dados

A análise granulométrica do solo da área experimental foi feita pelo método da pipeta, segundo Kilmer e Alexander, citados por KIEHL (6), com o emprego de solução de NaOH a 6% como dispersante, em amostras coletadas em 20 pontos dispersos na área (Quadro 1).

A porosidade drenável, ou macroporosidade, foi obtida por método de laboratório, da seguinte forma: as amostras, com estrutura não alterada, foram retiradas de 12 pontos da área, usando-se trado UHLAND equipado com anéis de acrílico, com diâmetro interno de 76,82 mm e altura de 15,07 mm. No laboratório, as amostras foram saturadas durante 72 horas, pesadas e levadas ao recipiente extrator, onde receberam pressão equivalente a uma coluna d'água de 60 cm durante 144 horas. Em seguida, foram novamente pesadas e levadas à estufa (105°C - 48

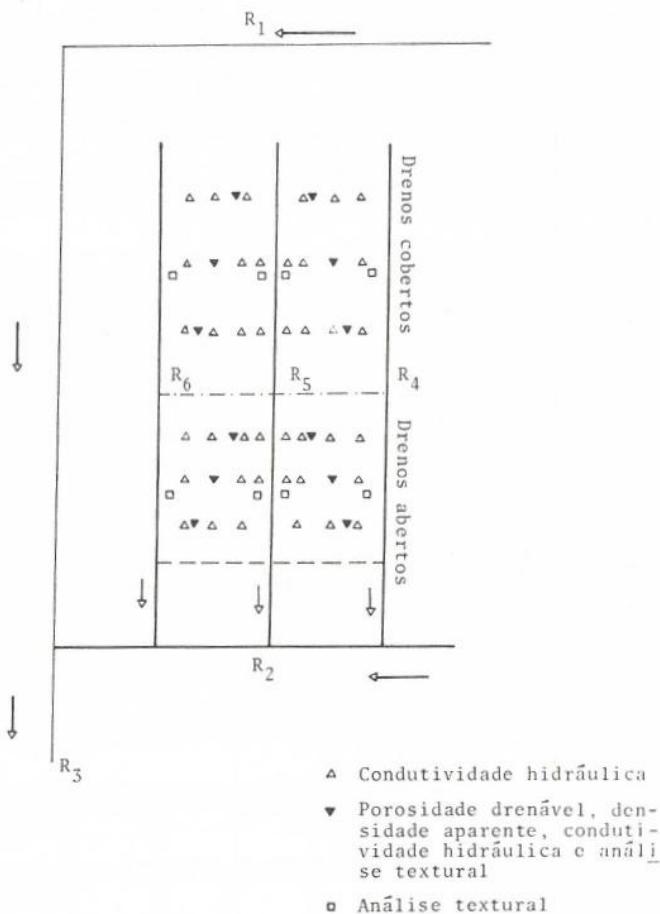


FIGURA 1 - Locais amostrados para determinação dos parâmetros físicos do solo.

QUADRO 1 - Análise granulométrica do solo da área experimental

Tipo de dreno	Posição relativa do dreno	Profundidade cm	Areia %	Siltite %	Argila %	Classificação
						textural
Lado direito	0 - 40	10	36	54	Argila	
	40 - 60	40	35	55	Franco	
	60 - 100	27	41	31	Franco-argilososo	
	100 - 150	12	41	47	Argilo-siltoso	
Alberto	150 - 200	0	43	57	Argilo-siltoso	
	0 - 40	7	33	60	Argila	
	40 - 60	5	44	51	Argilo-siltoso	
	60 - 100	3	42	52	Argilo-siltoso	
Lado esquerdo	100 - 150	1	55	45	Argilo-siltoso	
	150 - 200	3	37	60	Argila	
Lado direito	0 - 40	6	35	58	Argila	
	40 - 60	5	44	51	Argilo-siltoso	
	60 - 100	5	48	48	Argilo-siltoso	
	100 - 150	3	46	52	Argilo-siltoso	
Coberto	150 - 200	2	48	50	Argilo-siltoso	
	0 - 40	7	33	58	Argila	
	40 - 60	8	40	52	Argilo-siltoso	
	60 - 100	5	42	53	Argilo-siltoso	
Lado esquerdo	100 - 150	2	49	48	Argilo-siltoso	
	150 - 200	1	34	64	Argila-pesada	

horas). Secas, foram pesadas novamente. A partir das pesagens e do volume da amostra, determinaram-se a macroporosidade, ou porosidade drenável (f), e a porosidade total (PT), usando-se as relações

$$f = \frac{P_1 - P_2}{V} \times 100$$

$$PT = \frac{P_1 - P_3}{V} \times 100$$

em que

$P_1$  = peso da amostra saturada e do anel (g)

$P_2$  = peso da amostra na capacidade de campo e do anel (g)

$P_3$  = peso da amostra seca e do anel (g)

V = volume da amostra ( $\text{cm}^3$ )

A densidade aparente foi determinada pelo método do anel volumétrico, segundo KIEHL (6), a partir de amostras retiradas de 12 pontos da área experimental.

A condutividade hidráulica saturada ( $K_0$ ) foi determinada, com o emprego do método do poço, ou trado, conforme método citado por diversos autores (3, 5, 9, 12, 13), em 52 pontos da área.

As posições do lençol freático foram determinadas por meio de leituras diárias nos poços de observação, distribuídos, conforme Dieleman e Trafford, citados por MILLAR (13), nas áreas referentes aos dois sistemas de drenagem (aberto e coberto), conforme a Figura 2.

As vazões, tanto do dreno aberto como coberto, foram determinadas por processo direto, usando-se cronômetro e balde de 15 litros, no dreno central da área experimental.

Paralelamente à montagem do sistema de coleta de dados, foi feita uma comporta no dreno de contorno R<sub>3</sub>, conforme a Figura 2, com o objetivo de elevar o lençol freático.

## 2.2. Utilização dos Dados de Campo nas Teorias de Drenagem

A comporta que há no dreno R<sub>3</sub> foi fechada durante 20 dias, promovendo-se, nesse período, a saturação do solo da área experimental. Aberta, esperou-se que o nível da água nos drenos voltasse ao normal, quando tiveram início as leituras diárias das posições do lençol e das vazões nos drenos. As tomadas de dados foram feitas de 5/8/83 até 12/9/83.

Os dados referentes às posições do lençol freático, juntamente com os dados de tempo de rebaixamento e vazão, foram usados no estudo da eficiência dos sistemas de drenagem. As posições do lençol no semi-espacô entre os drenos, tomadas nas subáreas referentes aos drenos coberto e aberto, à direita e à esquerda, foram transformadas em valores de cargas hidráulicas, segundo o método descrito por MILLAR (13) e GOMES (5).

Tendo em vista a diferença entre os parâmetros físicos referentes a ambos os lados dos drenos, aberto e coberto, optou-se por determinar espaçamentos para cada uma dessas partes do sistema de drenagem.

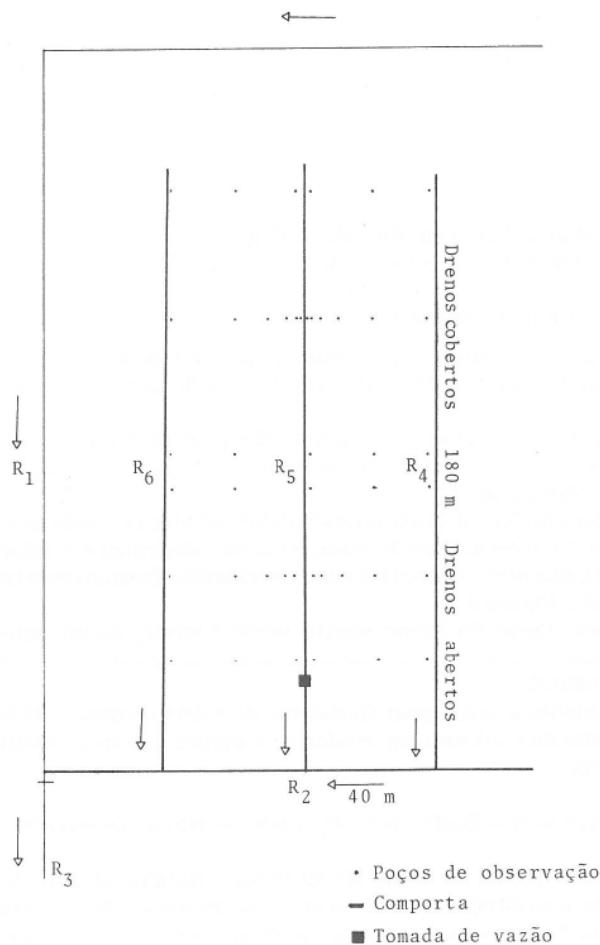


FIGURA 2 - Posições dos poços de observação, da comporta e da tomada de vazão, para os drenos abertos e cobertos.

As equações usadas para determinar o espaçamento foram as seguintes:

equação de Glover:

$$S^2 = \frac{\pi^2 K_0 (d + H_0/2) t}{F \ln \left( \frac{4H_0}{\pi H_t} \right)}$$

equação de Tapp-Moody:

$$\frac{H_t}{H_0} = \frac{192}{\pi^3} \sum_{n=2}^{n-1} (-1)^{\frac{n-1}{2}} \frac{n^2 - (8/\pi^2)}{n^5} \exp\left(\frac{-\pi^2 n^2 K_0 d t}{f S^2}\right)$$

$$n = 1, 3, 5, \dots$$

equação de Boussinesq-Schilfgaarde:

$$S^2 = \frac{9 K_0 d_0 t}{f \ln \left[ \frac{H_0(2d_0 + H_t)}{H_t(2d_0 + H_0)} \right]}$$

equação de Bouwer-Schilfgaarde:

$$S^2 = \frac{8 K_0 d_0 t}{c f \ln \left[ \frac{H_0(2d_0 + H_t)}{H_t(2d_0 + H_0)} \right]}$$

equação de Van Schilfgaarde:

$$S = 3 \left[ 1 - \left( \frac{d_0}{d_0 + H_0} \right)^2 \right]^{1/2} \left[ \frac{K_0(d_0 + H_t)(d_0 + H_0)t}{2f(H_0 - H_t)} \right]^{1/2}$$

equação de Hammad para  $d/s < 0,25$ :

$$S = \frac{2\pi K_0 t}{f \ln \left( \frac{H_0}{H_t} \right) \ln \left( \frac{S^2}{2\pi^2 rd} \right)}$$

equação de Luthin (forma inicial do lençol horizontal):

$$S = \frac{BK_0 t}{f \ln \left( \frac{H_0}{H_t} \right)}$$

equação de Luthin (forma inicial do lençol elíptica):

$$S = \frac{4B K_0 t}{\pi f \ln \left( \frac{H_0}{H_t} \right)}$$

em que

$t$  = tempo de rebaixamento do lençol freático (s)

$H_0$  = valor da altura máxima do lençol freático nos drenos ( $H$ ), para  $t = 0$  (m)

$H_t$  = valor da altura máxima do lençol freático nos drenos ( $H$ ), após o intervalo de tempo  $t$  (m)

$S$  = espaçamento entre os drenos (m)

$d$  = distância vertical do centro do dreno à camada impermeável (m)

$d_0$  = extrato equivalente de Hooghoudt (m)

$C$  = fator de correção, que varia de 0,8 a 1,0

$r$  = raio do tubo de dreno (m)

$B$  = declividade da reta, obtida da relação entre  $Q$  e  $K_0 H$

$Q$  = vazão na saída do dreno

Os valores de  $K_0$  e  $f$ , juntamente com os dados da profundidade da camada impermeável, do perímetro molhado do tubo e da vala, das variações do lençol e do tempo em que ocorreram essas variações, foram usados num programa em linguagem PL/I, visando à determinação dos espaçamentos.

As observações foram feitas em três períodos: o primeiro entre 5/8/83 e 27/8/83, o segundo entre 10/8/83 e 8/9/83 e o terceiro entre 5/8/83 e 8/9/83. Dentro de cada período foram usadas três ou quatro variações de tempo ( $\Delta T$ ) e altura do lençol freático ( $\Delta H$ ), tendo cada equação sido processada 43 vezes.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. Características Físicas da Área Experimental

Observa-se, no Quadro 2, que o solo da área experimental apresentava características que indicavam dificuldades de movimentação de água, a partir da profundidade de 40 cm. O lado direito do dreno aberto apresentou os mais altos valores de porosidade drenável e condutividade hidráulica saturada de toda a área experimental, sendo esse o lado mais favorável às condições de drenagem. O restante da área apresentou baixa variabilidade espacial, relativamente aos parâmetros físicos determinados.

QUADRO 2 - Valores médios de porosidade drenável (f), porosidade total (PT), densidade aparente (dap) e condutividade hidráulica saturada ( $K_O$ )

Tipo de dreno	Posição relativa do dreno	Profundidade cm	f	PT %	dap g/cm <sup>3</sup>	$K_O$ m/dia
Lado direito	0 - 40	5,1	55,35	1,21		
	40 - 60	4,3	47,27	1,37		
	60 - 100	3,0	49,38	1,34		
	100 - 150	1,0	49,76	1,37		0,192
Alberto	150 - 200	1,0	49,76	1,37		
	0 - 40	2,6	57,92	1,11		
	40 - 60	1,1	49,03	1,41		
	60 - 100	1,0	48,00	1,42		
Lado esquerdo	100 - 150	1,0	48,00	1,42		
	150 - 200	1,0	50,41	1,34		0,045
	0 - 40	2,8	52,26	1,26		
	40 - 60	1,1	47,25	1,40		
Coberto	60 - 100	1,0	46,00	1,40		
	100 - 150	1,0	46,00	1,40		
	150 - 200	1,0	48,32	1,32		
	0 - 40	3,0	51,88	1,20		
Lado esquerdo	40 - 60	1,3	50,46	1,36		
	60 - 100	1,1	49,00	1,37		
	100 - 150	1,1	49,00	1,37		
	150 - 200	1,0	50,73	1,25		

### 3.2. Análise da Eficiência dos Sistemas de Drenagem

As Figuras 3 e 4, que indicam as posições do lençol freático em diferentes períodos de tempo, contados a partir de 5/8/83, mostram que a declividade das linhas de saturação do lençol foi maior nas partes cujos solos apresentaram textura mais fina (lado esquerdo dos drenos, coberto e aberto), o que está de acordo com trabalhos de ALBUQUERQUE (1) e PRATA FILHO (19). As partes de textura mais grossa (lado direito dos drenos, aberto e coberto), por sua vez, apresentaram linha freática com declividades mais suaves, o que está de acordo com diversos autores (11, 15, 21, 23).

Considerando apenas o lado esquerdo do dreno central, onde as características do solo são mais homogêneas, verificou-se, comparando o dreno aberto com o coberto, uma faixa de variação do lençol ligeiramente superior para o dreno aberto, o que se deve à maior área de recepção de água desse dreno e à menor resistência ao escoamento como um todo.

A Figura 5 mostra maior variação na velocidade de rebaixamento do lençol nas partes de características mais permeáveis, como é o caso do lado direito dos drenos, coberto e aberto; mostra também que, nos períodos iniciais, a velocidade de rebaixamento é mais acentuada, caindo à medida que o lençol abaixa no perfil. Em consequência da redução da velocidade de rebaixamento, a vazão decresceu com o tempo, conforme a Figura 6. Observa-se, comparando os drenos abertos com os cobertos, maior variação na vazão com o tempo para os drenos abertos, ou seja, no período de 38 dias, o volume de água escoado na saída do dreno aberto foi superior ao escoamento na saída do dreno coberto.

As Figuras 7 e 8 representam o comportamento da vazão coletada nos drenos, em relação à altura do lençol no semi-espaco entre eles, tomada a partir da linha desses drenos. Ajustou-se uma função tipo  $Y = ax + b$  aos pontos obtidos na Figura 8 (dreno coberto), resultado que concorda com os de diversos trabalhos (4, 10, 11, 15), enquanto para o dreno aberto foi ajustada uma função quadrática tipo  $Y = ax^2 + bx + c$  aos pontos plotados na Figura 7, resultados esses mais próximos aos encontrados por TALSMA e HASKEW (22) e TAYLOR e GOINS (23).

### 3.3. Estudo da Eficiência das Equações de Drenagem

Salvo algumas exceções, todas as equações estudadas superestimaram o espaçamento real de 40 m, crescendo essas superestimações com os aumentos dos intervalos de tempo e com a variação na posição do lençol ( $H_0 - H_t$ ).

A equação de Glover apresentou maior eficiência, comparada às outras. As melhores estimativas do espaçamento corresponderam aos menores intervalos de tempo e de variação na posição do lençol, o que era esperado, conforme SCHILFGAARDE (20).

A equação de Tapp-Moody apresentou resultados muito próximos dos da de Glover, resultados esses coerentes com os obtidos em trabalhos de laboratório (1, 19) e com os encontrados por LUTHIN (9) e SCHILFGAARDE (20), segundo os quais não há diferença nas estimativas do espaçamento por essas teorias, uma vez que elas diferem apenas quanto à forma inicial do lençol. O Quadro 3 mostra que, em média, essa teoria superou em 6,9% e 10,2% a teoria de Glover, para dreno aberto e dreno coberto, respectivamente.

A equação de Boussinesq-Schilfgaarde, em termos de resultados, seguiu a de Tapp-Moody. Conforme SCHILFGAARDE (20), esperava-se dessa equação melhores resultados que os da de Glover, em razão do seu próprio desenvolvimento. Ela não deve restringir-se a fornecer resultados mais precisos para menores incrementos de tempo e variação na posição do lençol. O Quadro 3 mostra que essa teoria

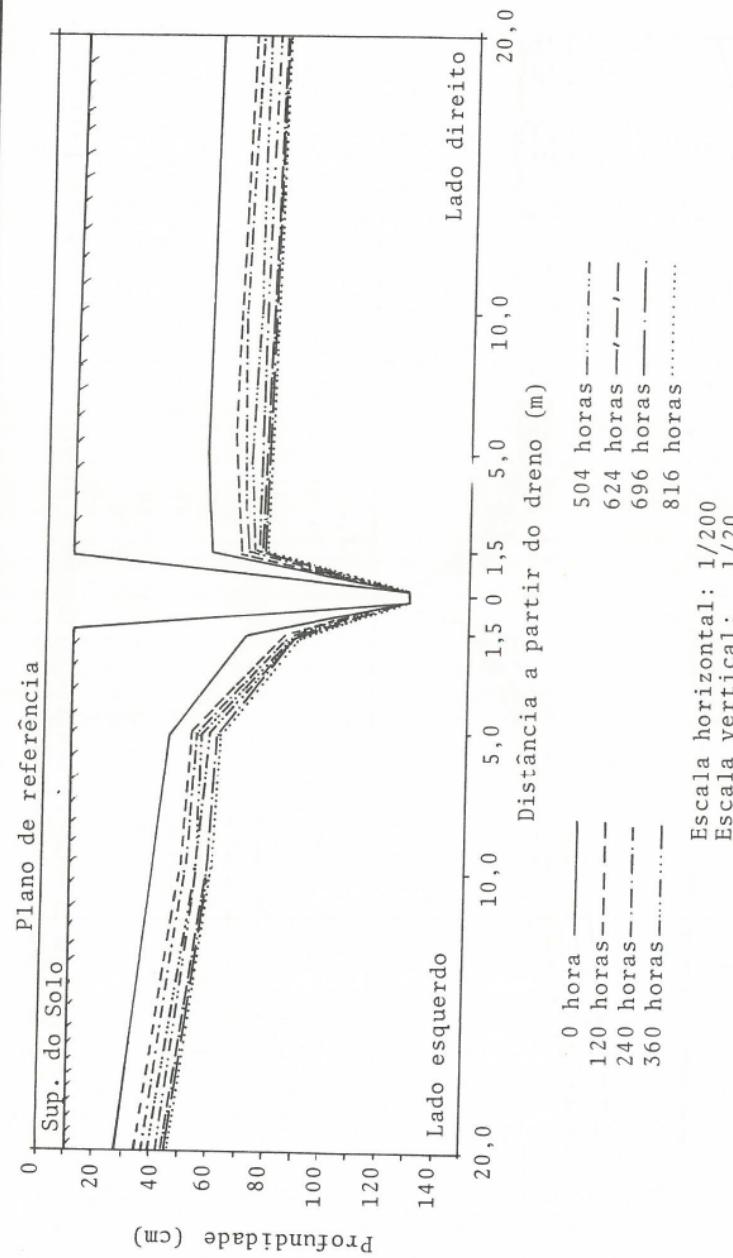


FIGURA 3 - Curvaturas do lençol freático para dreno aberto, escoamento não permanente, em diferentes períodos de tempo.

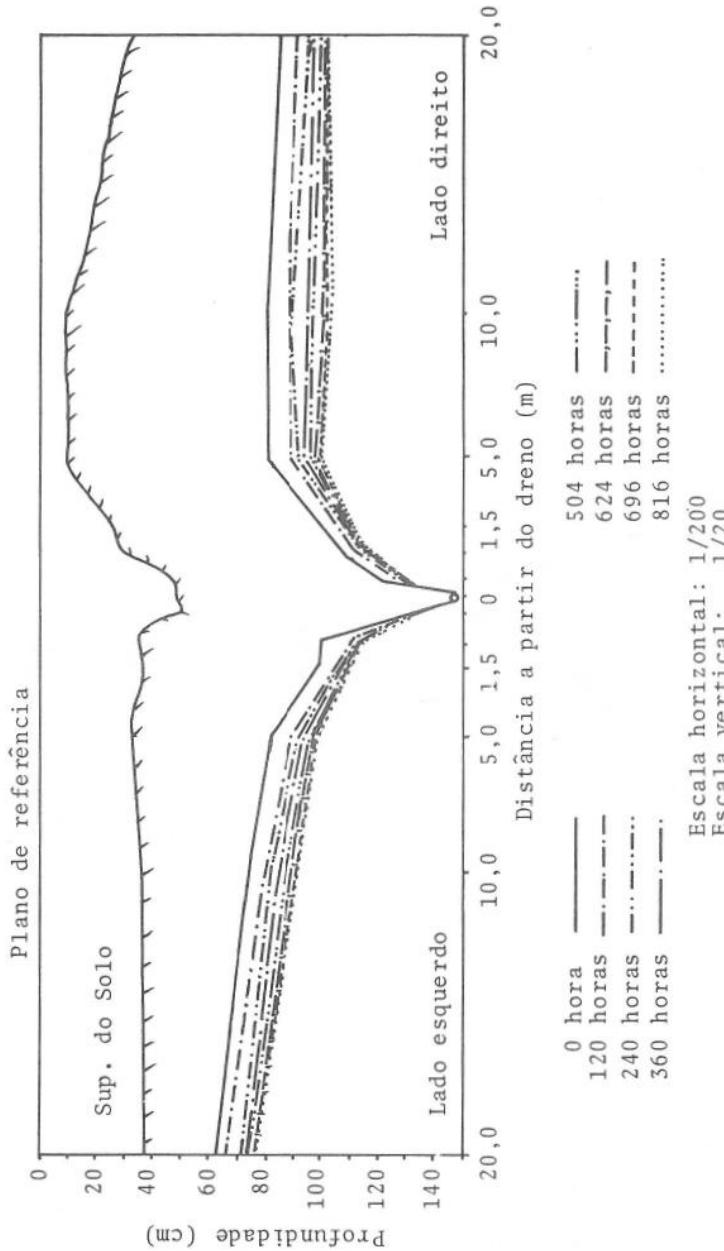


FIGURA 4 - Curvaturas do lençol freático para dreno coberto, escoamento não permanente, em diferentes períodos de tempo.

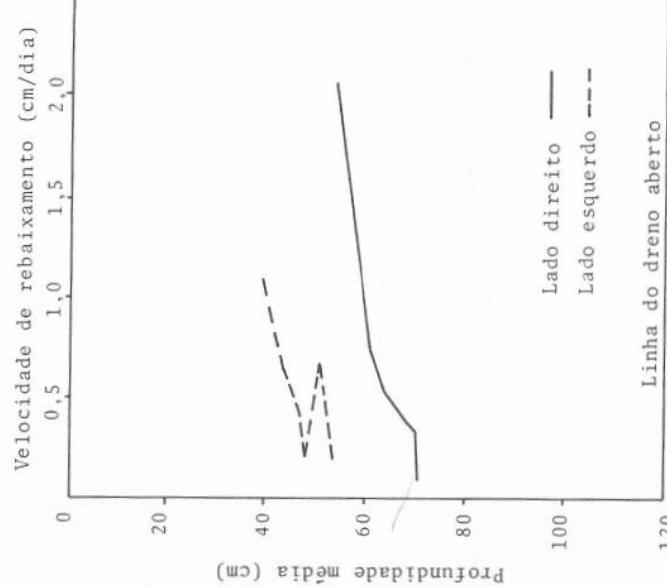
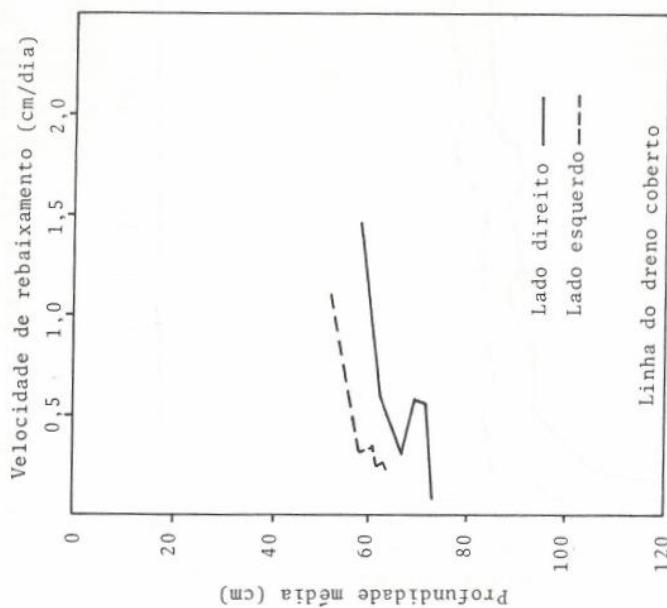


FIGURA 5 - Relação entre a velocidade de rebaixamento do lençol freático e a profundidade média do perfil drenado.

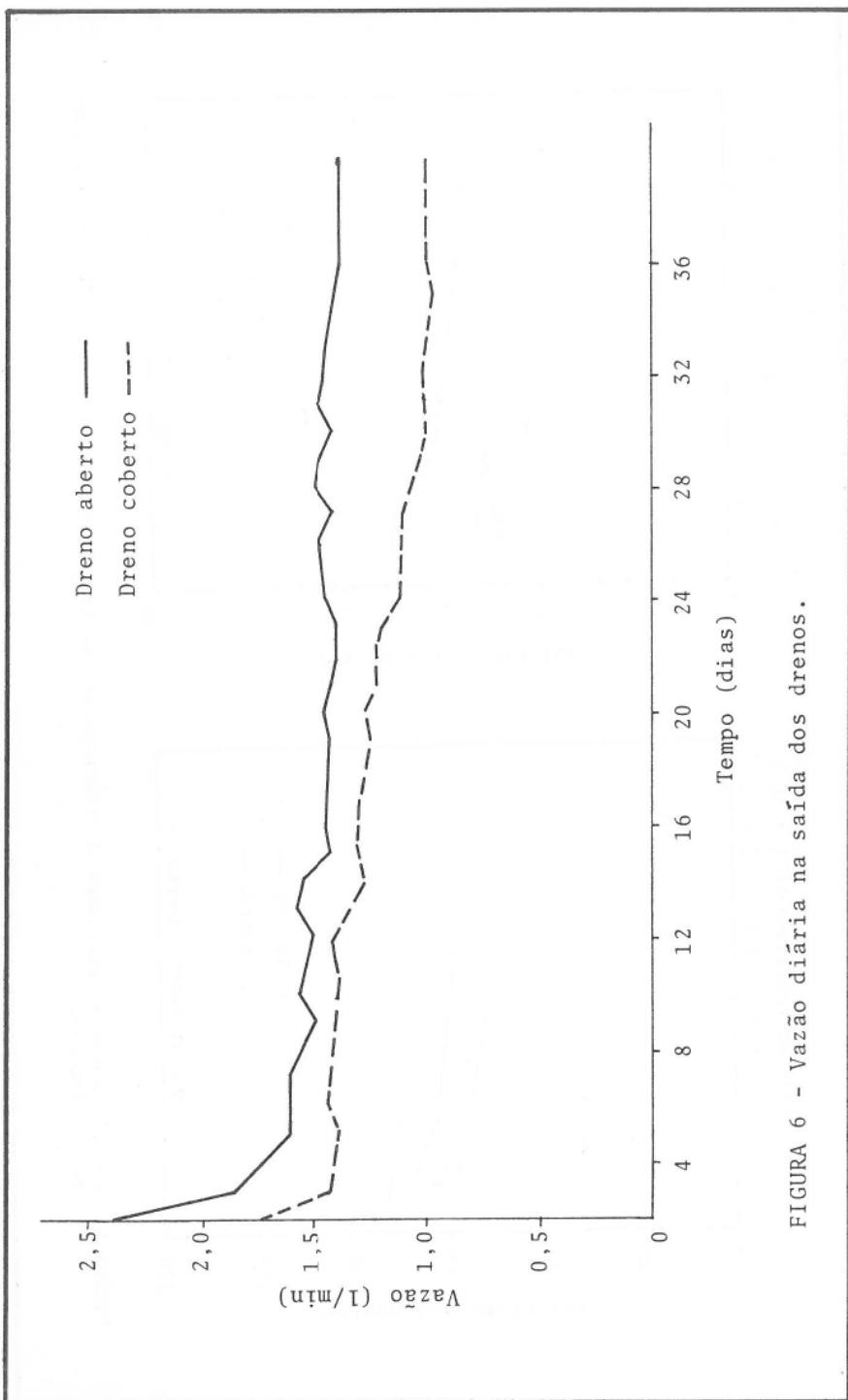


FIGURA 6 - Vazão diária na saída dos drenos.

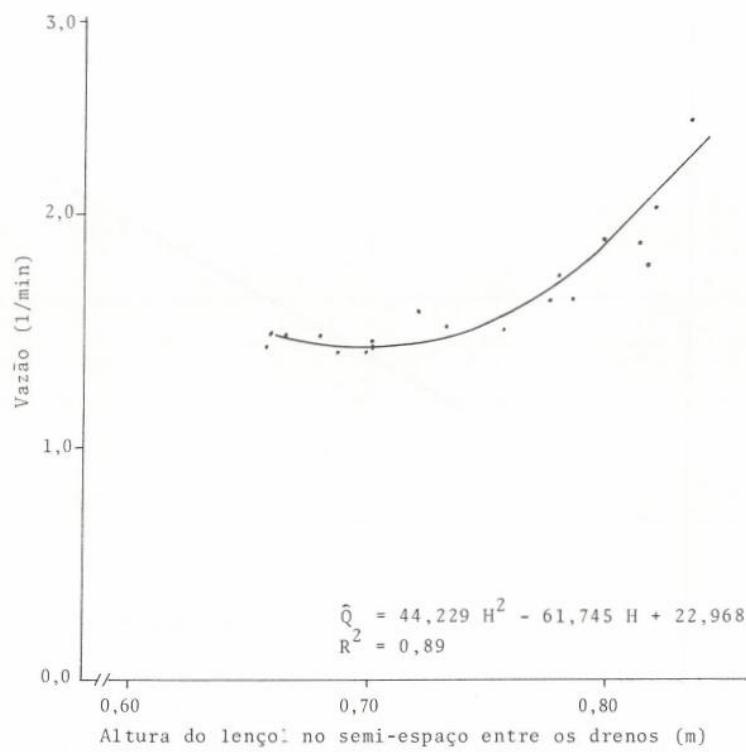


FIGURA 7 - Relação entre a vazão na saída do dreno aberto ( $Q$ ) e a altura do lençol no semi-espaco entre os drenos ( $H$ ).

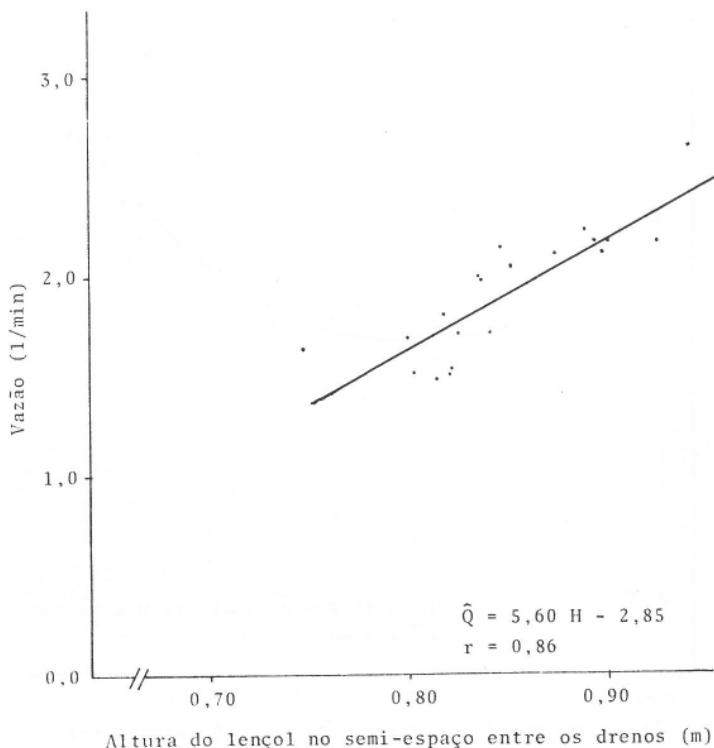


FIGURA 8 - Relação entre a vazão na saída do dreno coberto ( $Q$ ) e a altura do lençol no semi-espaco entre os drenos ( $H$ ).

QUADRO 3 - Valores estimados médios\* de espaçamento ( $\bar{S}$ ), desvios-padrão (DP) e coeficiente de variação (CV) obtidos pelas teorias usadas, em dreno cobertos e abertos

Teoria	Dreno aberto			Dreno coberto		
	$\bar{S}$ (m)	DP (m)	CV (%)	$\bar{S}$ (m)	DP (m)	CV (%)
Glover	71,29	15,86	22,25	83,43	36,73	44,02
Tapp-Moody	76,20	14,01	18,39	91,90	37,26	40,54
Bouss.-Schilf.	99,58	16,56	16,63	131,21	46,09	35,36
Schilfgaard	103,45	16,99	16,42	134,18	47,90	35,70
Bouwer-Schilf.	105,01	17,97	17,11	138,75	48,61	35,03
Hammad	237,12	78,31	33,03	390,00	214,39	54,97
Luthin Horiz.	681,00	547,90	80,46	1365,00	672,89	49,30
Luthin Elipt.	867,30	697,58	80,43	1885,84	736,96	39,08

\* Para obter esses valores foram observados os lados direito e esquerdo do referido dreno.

superou as teorias de Glover e Tapp-Moody em 57,30% e 42,80%, para o dreno coberto, ou em 39,70% e 30,70%, para o dreno aberto, respectivamente.

A teoria de Van Schilfgaarde apresentou baixa eficiência; entretanto, em relação às demais teorias estudadas, seguiu a de Boussinesq-Schilfgaarde. O aumento das superestimações do espaçamento com o aumento das variações de tempo e posição do lençol freático era esperado, segundo SCHILFGAARDE (20), que recomenda o uso da teoria para pequenos incrementos de tempo e posição do lençol freático. O Quadro 3 mostra que a média dos espaçamentos estimados por essa teoria supera o valor experimental em 158,65% para o dreno aberto e em 235,45% para o dreno coberto.

A teoria de Bouwer-Schilfgaarde propiciou resultados bem próximos dos obtidos pela teoria de Boussinesq-Schilfgaarde, o que era esperado, uma vez que essas duas equações são iguais quando o fator de correção C tem valor 8/9. A média dos espaçamentos estimados por essa teoria (Quadro 3) superou os da teoria de Boussinesq-Schilfgaarde em 5,45% para o dreno aberto e em 5,75% para o dreno coberto. É interessante verificar a proximidade dos resultados dessa teoria com os da teoria de Van Schilfgaarde, que superada por ela em 3,30% e 1,50%, para dreno coberto e dreno aberto, respectivamente.

A teoria de Hammad apresentou eficiência muito baixa, sendo os desvios entre o espaçamento real e os estimados superiores a 200% em 97,67% dos casos estudados. Esse comportamento, também verificado por PRATA FILHO (19), em laboratório, resultou, possivelmente, do fato de a equação de Hammad, para  $d/s < 0,25$ , ser muito sensível à escolha do método de determinação da condutividade hidráulica e da porosidade drenável. Neste trabalho, além de possíveis incorreções na sua determinação, para determinado lado do dreno, esses parâmetros foram mantidos constantes em todos os cálculos. O valor médio do espaçamento estimado por essa teoria superou o valor experimental em 875% e 582,80%, para dreno coberto e dreno aberto, respectivamente.

A teoria de Luthin foi, relativamente às outras, a que apresentou a mais baixa eficiência: 93,02% dos cálculos apresentaram resultados que superaram em mais de 300% o valor experimental do espaçamento.

Das teorias estudadas, apenas as de Glover, Tapp-Moody, Boussinesq-Schilfgaarde e Van Schilfgaarde apresentaram resultados na faixa de 0 a  $\pm 40\%$  de desvio entre os valores estimados e o valor real do espaçamento.

#### 4. RESUMO E CONCLUSÕES

Em área pertencente à Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG), situada no município de Prudente de Moraes, MG, determinaram-se as características físico-hídricas do solo, a eficiência de drenos abertos e cobertos e de algumas teorias de drenagem em regime de escoamento não permanente.

O sistema de drenagem instalado na área constituiu-se de drenos abertos e cobertos, com espaçamento de 40 m e profundidade média de 1,20 m.

Para determinar a posição do lençol, com o tempo, empregaram-se poços de observação dispostos transversalmente, no sentido dos drenos; a vazão dos drenos, usando-se estação de medições.

A condutividade hidráulica saturada foi determinada pelo método do poço, ou trado, e a porosidade drenável com a aplicação de método de laboratório.

As teorias (equações) de escoamento não permanente avaliadas foram as de Glover, de Tapp-Moody, de Boussinesq-Schilfgaarde, de Van Schilfgaarde, de Bouwer-Schilfgaarde, de Hammad e de Luthin.

O estudo da eficiência dos drenos mostrou que os drenos abertos foram um pouco melhores que os cobertos.

Salvo algumas exceções, todas as equações estudadas superestimaram o espaçamento real de campo, crescendo essa superestimação com o aumento dos intervalos de tempo e posição do lençol freático.

As teorias de Glover e de Tapp-Moody apresentaram comportamento semelhante, o mesmo ocorrendo com as de Boussinesq-Schilfgaarde, Van Schilfgaarde e Bouwer-Schilfgaarde.

Considerando tanto os drenos abertos quanto os cobertos, a ordem de eficiência das teorias estudadas foi a seguinte: Glover, Tapp-Moody, Boussinesq-Schilfgaarde, Van Schilfgaarde, Bouwer-Schilfgaarde, Hammad e Luthin.

## 5. SUMMARY

### (THE EFFICIENCY OF SOME DRAINAGE EQUATIONS FOR DITCH AND TILE DRAINS UNDER FIELD CONDITIONS)

A field experiment was conducted on a subirrigation-drainage system to determine the performance of seven drain spacing equations for a clay soil.

The hydraulic conductivity was determined from in-place measurements by the augerhole method, and the drainable porosity by the laboratory method.

The performance of the tile and ditch drains was investigated by simultaneous measurements of water-table height, along lines at right angles to the laterals, and rate of discharge from them.

The order of preference of the seven equations tested was: Glover, Tapp-Moody, Boussinesq-Schilfgaarde, Van Schilfgaarde, Bouwer-Schilfgaarde, Hammad and Luthin.

## 6. LITERATURA CITADA

1. ALBUQUERQUE, P.E.P. *Validade de Algumas Equações de Drenagem para Drenos Cobertos em Condições de Laboratório*. Viçosa, UFV, Imprensa Universitária, 1982. 84 p. (Tese M.S.).
2. BOUWER, H. & JACKSON, R.D. Hydraulic conductivity, drainable pore space. In: VAN SCHILFGAARDE, Jan. (ed.). *Drainage for Agriculture*. Madison, American Society of Agronomy, 1974. p. 611-666. (Agronomy, 17).
3. CRUCIANI, D.E. *A Drenagem na Agricultura*. São Paulo, Nobel, 1980. 333 p.
4. FRENCH, B.E. & O'CALLAGHAN, J.R. A field test of drain spacing equations for agricultural land. *Journal Agricultural Engineering Research*, 11:282-295. 1966.
5. GOMES, P.C.F. *Problemática da Caracterização de Solos Aluviais para Fins de Drenagem Subterrânea*. Campina Grande, U.F.PB., 1977. 119 p. (Tese M.S.).
6. KIEHL, E.J. *Manual de Edafologia*. São Paulo, Agronômica Ceres, 1979. 262 p.
7. KIRKHAN, D. Proposed method for field measurement of permeability of soil below the water table. *Soil Science Society American Proceedings*, 10:58-68. 1946.

8. KIRKHAN, D. & ZEEUW, J.W. Field measurement for test of soil drainage theory. *Soil Science Society American Proceedings*, 16:286-293. 1952.
9. LUTHIN, J.N. *Drainage Engineering*. Huntington, Robert E. Krieger Publishing Company, 1973. 250 p.
10. LUTHIN, J.N. & HAIG, A. Some factors affecting flow into drain pipes, *Hilgardia*, 41:235-245. 1972.
11. LUTHIN, J.N. & WORSTELL, R.V. The falling water table in tile drainage — a laboratory study. *Soil Science Society Proceedings*, 25:580-584. 1957.
12. MANFRINATO, H.A. *O Método das Cavidades Cilíndricas na Condutividade Hidráulica e Sua Aplicação na Drenagem*. Piracicaba, ESALQ, 1961. 62 p. (Tese de Doutoramento).
13. MILLAR, A.A. *Drenagem de Terras Agrícolas: Bases Agronômicas*. São Paulo, McGraw-Hill do Brasil, 1978. 276 p.
14. MONKE, E.J.; HUGGINS, L.F.; GALLOWAY, H.M. & FOSTER, G.R. Field Study of subsurface drainage on a slowly permeable soil. *Transaction of the ASAE*, 10:573-576. 1967.
15. NWA, E.U. & TWOCOCK, J.G. Drainage design theory and practice. *Journal of Hydrology*, 9:259-276. 1969.
16. PERRIER, E.R.; MACKENZIE, A.J.; CRASS, L.B. & SHULL, H.H. Performance of a tile drainage system: an evaluation of a tile design and management. *Transactions of the ASAE*, 10:573-576. 1967.
17. PIRES, E.T. & CARVALHO, E.M. A importância do PROVÁRZEAS para a Agricultura mineira. *Informe Agropecuário*, 6(65):21-23. 1980.
18. PIZARRO, F. *Drenage Agrícola y Recuperacion de Suelos Salinos*. Madrid, Edit. Agrícola Espanhola, 1978. 525 p.
19. PRATA FILHO, D.A. *Validade de Algumas Equações de Drenagem para Drenos Abertos em Condições de Laboratório*. Viçosa, U.F.V., Imprensa Universitária, 1982. 77 p. (Tese M.S.).
20. SCHILFGAARDE, J.V. Nonsteady flow drains. In: ——. *Drainage for Agriculture*. Madison, American Society of Agronomy, 1974. p. 245-265. (Agronomy, 17).
21. SKAGGS, E.W.; KRIZ, G.J. & BERNAL, R. Field evaluation of transient drain spacing equations. *Transaction of the ASAE*, 16:590-595. 1973.
22. TALSMA, T. & HASKEW, H.C. Investigation of water-table response to tile drains in comparison with theory. *Journal of Geophysical Research*, 64:1933-1944. 1959.
23. TAYLOR, G.S. & GOINS, T. Characteristics of water removal in a tile-drained humic-gley. *Soil Science Society American Proceedings*, 21:575-580. 1957.