

**ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA “LUIZ DE QUEIROZ” – ESALQ/USP
LEB 1440 – HIDROLOGIA E DRENAGEM**

Prof. Fernando Campos Mendonça

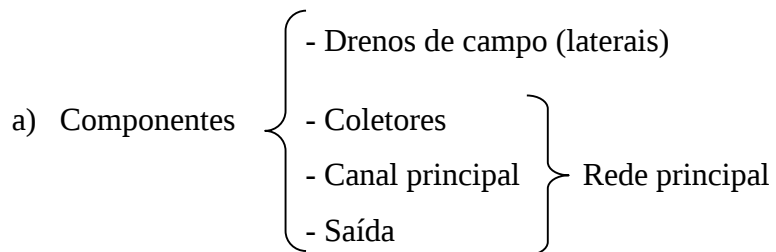
Aula 11 – Drenagem Subterrânea

1. Objetivo e Viabilidade:

- a) Objetivo: Aumentar o gradiente do LF (gradiente de potencial de água no solo, ψ_a) para que a água se mova mais rápido e rebaixe o LF mais rapidamente.
- b) Viabilidade: limites de profundidade da barreira (P_B) e da condutividade hidráulica do solo saturado (K_o).

$$P_B \geq 60 \text{ cm} \qquad K_o \geq 0,1 \text{ m/dia}$$

2. Componentes e tipos de sistema



**(TRANSPARÊNCIAS - Aula 11-1 e 11-2)
(DRENOS INTERCEPTOR, DE ALÍVIO OU DE CINTURA E COLETORES)**

b) Tipos:

(CADERNO – TIPOS DE SISTEMAS DE DRENAGEM)

(TRANSPARÊNCIAS – Aula 11-3 a 11-6)

Legenda: **————** Valeta **- - -** Tubo

b.1) Sistema de Valetas

(FOTOS – Dreno valeta 1 a 5)

Vantagens:

- Menor custo de implantação
- Facilita retirada de água empoçada
- Melhor para terrenos recém-saneados

b.2) Sistema misto (valetas + tubos)

b.3) Sistema de tubos (Valetas apenas no canal principal)

(FOTOS – Tubo corrugado 1 a 8)

3. Investigações adicionais para projetos de drenagem subterrânea - LF

a) Área de drenagem – Poços de observação

(CADERNO – FIGURA – POÇOS DE DRENAGEM - ISÓBATAS)

- Curvas de igual profundidade do LF (Isóbatas) – Independente da cota de superfície
- Detecção de áreas com diferentes graus de gravidade do problema
- Diagnóstico da gravidade do problema

(CADERNO – FIGURA – ISOHIPSAS)

- Curvas de igual cota freática (Isohipsas) – Dependente da cota de superfície
- Determinação das linhas de fluxo
- Definição de:
 - Natureza dos canais pré-existent
 - Zonas de recarga lateral
 - Direção dos drenos de campo

b) Declividade do LF e direção dos drenos de campo

$$\text{Declividade do LF} \left\{ \begin{array}{l} \geq 1\% \rightarrow \text{drenos interceptando linhas de corrente} \\ < 1\% \rightarrow \text{drenos em qualquer direção} \\ \quad \quad \quad \text{(não interfere no desempenho)} \end{array} \right.$$

c) Natureza do canal**(FIGURA – CADERNO – CANAIS E LINHAS DE FLUXO)****(TRANSP. – Prof. Décio Cruciani – Aula 11-7 a 11-9 - ISOHIPSAS E LINHAS DE FLUXO)****4. Profundidade dos drenos de campo (P)****(FIGURA – CADERNO – DRENOS ABERTOS E FECHADOS)**

$$P = f(\dots) \left\{ \begin{array}{l} \text{- Relação custo de escavação x nº de drenos (CADERNO – Esquema)} \\ \text{- Tipo de máquina de escavação} \\ \text{- Profundidade da barreira} \\ \text{- Cota da saída (Bueiros de estradas, rios etc.)} \end{array} \right.$$

(FOTOS – Valetadeira 1 a 8)Ordem de grandeza de P

- Semiárido (valetadeira) → 1,0 a 1,1 m
- Sul/Sudeste $\left\{ \begin{array}{l} \text{Solos orgânicos} \rightarrow 0,8 \text{ m} \\ \text{Outros solos} \rightarrow 1,2 \text{ a } 1,6 \text{ m} \end{array} \right.$

5. Cálculo do espaçamento dos drenos de campo (S)

$$S = f(\dots) \left\{ \begin{array}{l} \text{Parâmetros do solo (Ko, } \alpha, P_B) \\ \text{Profundidade do dreno (P)} \\ \text{Critério de drenagem} \\ \text{(cultura, tempo máximo de saturação, distância vertical do dreno à barreira)} \\ \text{Equação de espaçamento} \end{array} \right.$$

5.1. Regime de escoamento:

5.1.1. Regime de escoamento permanente:

Ex.: Holanda (chuvas longas e de baixa intensidade)

(FIGURA – CADERNO – ESQUEMA DE DRENOS E REGIME PERMANENTE)

Cálculo do espaçamento dos drenos (S):

a.1) Movimento horizontal (drenos próximos à barreira)

$$S = S_o = \sqrt{\frac{4 \cdot K_o \cdot h \cdot (2d+h)}{R}}$$

S – espaçamento dos drenos, m

S_o – espaçamento dos drenos assumindo movimento horizontal de água, m

K_o – condutividade hidráulica em solo saturado com água, m/dia

h – altura (desnível) da franja capilar à profundidade dos drenos, m

d – distância vertical do dreno à barreira, m

R – recarga de água proveniente da chuva, m/dia

a.2) Movimento radial (drenos distantes da barreira)

$$S = S_o - C$$

$$C = d \cdot \ln\left(\frac{d}{P_m}\right) \quad C = d \cdot \ln\left(\frac{d}{P_m}\right)$$

C – fator de correção do espaçamento, m

d – distância vertical do dreno à barreira, m

P_m – perímetro molhado do dreno

Exemplos:

a) Calcule o espaçamento dos drenos de campo na seguinte situação:

(FIGURA – CADERNO – ESQUEMA DOS DRENOS)

Dados:

Cultura: uva

Localidade: Petrolina-PE

Prof. efetiva de raízes: $z = 40 \text{ cm}$ (0,4 m)

Prof. da barreira: $P_B = 3 \text{ m}$ (Prof. do perfil do solo)

Solo argiloso

Prof. dos drenos: $P = 1,1 \text{ m}$

$K_o = 1,0 \text{ m/dia}$

$R = 6 \text{ mm/dia}$ (0,006 m/dia)

Diâmetro dos drenos (tubos): 4" (100 mm)

Solução:

Critério de definição de h :

- Solos argilosos: $p = \text{prof. de raízes } (z) + 10 \text{ cm}$

- Solos arenosos: $p = z + 5 \text{ cm}$

Neste caso (solo argiloso): $p = 40 + 10 = 50 \text{ cm}$ ou 0,5 m

$$h = P - p = 1,1 - 0,5 = 0,6 \text{ m}$$

$$S_o = \sqrt{\frac{4 \cdot 1,0 \cdot 0,6 \cdot (2 \cdot 1,9 + 0,6)}{0,006}} = 41,95 \text{ m}$$

Correção para fluxo radial:

Perímetro molhado do dreno (meio tubo):

$$P_m = \frac{2 \pi r}{2} = \pi r = \frac{\pi D}{2} = \frac{\pi \cdot 0,1}{2} = 0,15708 \text{ m}$$

$$C = 1,9 \cdot \ln\left(\frac{1,9}{0,15708}\right) = 4,74 \text{ m}$$

$$S = S_o - C = 41,95 - 4,74$$

$$S = 37,2 \cong 37 \text{ m}$$

b) Refaça o exercício anterior considerando que a barreira está a 1,1 m (drenos encostados na barreira, $d=0$).

(FIGURA – CADERNO – ESQUEMA DE INSTALAÇÃO DOS DRENOS)

$p = 0,5 \text{ m}$	$S_o = \sqrt{\frac{4 \cdot 1,0 \cdot 0,6 \cdot (2 \cdot 0 + 0,6)}{0,006}} = 15,5 \text{ m}$
$h = 0,6 \text{ m}$	
$P_B = 1,1 \text{ m}$	Não há necessidade de correção porque o dreno está instalado imediatamente sobre a barreira.
$P = 1,1 \text{ m}$	
$d = 0 \text{ m}$	
$K_o = 1,0 \text{ m/dia}$	O <u>movimento</u> da água é considerado <u>horizontal</u> .
$R = 0,006 \text{ m/dia}$	

5.1.2. Regime de escoamento não-permanente:

Ex.: Regiões tropicais úmidas (chuvas curtas e de alta intensidade)

Distância dos drenos à barreira	{	$d \neq 0 \Rightarrow$ Equação de Schilfgaard	$S_o = \sqrt{\frac{9 \cdot K_o \cdot d \cdot t}{\alpha \cdot \ln\left[\frac{h_o \cdot (2d + ht)}{ht \cdot (2d + h_o)}\right]}}$
		$d = 0 \Rightarrow$ Equação de Boussinesq	$S = S_o - C$ $S = \sqrt{\frac{9 \cdot K_o \cdot t}{2 \cdot \alpha} \cdot \frac{(h_o \cdot ht)}{(h_o - ht)}}$

ht – altura da franja capilar, m

h_o – altura do LF devido à elevação após a recarga, m

Como o regime é não-permanente, é necessário um critério para definir a recarga.

Critério de Cruciani (1987) modificado:

“A recarga será a fração que infiltra de uma chuva de 6 h de duração com período de retorno $T = 5$ anos”.

Tempo para rebaixar o LF, de h_0 para h_t : $\Delta t = f(\text{cultura})$

(TRANSPARÊNCIA – Aula 11-10 - Tabela de Culturas x Δt)

Exemplo:

Uma área cultivada com cana-de-açúcar em solo argiloso apresentou problemas devido à elevação do LF e foi necessário implantar um sistema de drenagem subterrânea, tal como mostra o esquema e os dados a seguir. Calcule o espaçamento dos drenos para essas condições.

(FIGURA – CADERNO – ESQUEMA DE DRENAGEM SUBTERRÂNEA)

Chuva = 99,1 mm

$C = 0,60$ (60% de escoamento superficial)

$\alpha = 12\%$ (0,12)

$p = 0,5$ m

$P = 1,5$ m

$P_B = 3,5$ m

$d = P_B - P = 2,0$ m

$h_t = P - p = 1,0$ m

$h_{-1} = P/2 = 0,75$ m (critério de projeto)

$K_0 = 0,6$ m/dia

Largura da base do dreno: $b = 40$ cm (0,4 m)

Lâmina d'água no dreno: $Y = 5$ cm (0,05 m)

Solução:

Tempo para livrar a zona radicular do excesso de água (cana-de-açúcar): $t = 9$ dias

Parte da chuva que infiltra:

$$C = 0,60 \Rightarrow \text{Infiltração} = 40\% = 0,4 \times 99,1 = 39,6 \text{ mm}$$

Elevação do LF:

$$\alpha = \frac{h}{\Delta z} \Rightarrow \Delta z = \frac{h}{\alpha} = \frac{39,6}{0,12} = 330 \text{ mm ou } 0,33 \text{ m}$$

Altura do LF após a recarga:

$$h_0 = h_{-1} + \Delta z = 0,75 + 0,33 = 1,08 \text{ m}$$

Como $d \neq 0 \Rightarrow$ Equação de Schilfgaarde

$$S_o = \sqrt{\frac{9 \cdot K_o \cdot d \cdot t}{\alpha \cdot \ln\left[\frac{h_o \cdot (2d + ht)}{ht \cdot (2d + h_o)}\right]}} \quad S_o = \sqrt{\frac{9 \cdot 0,6 \cdot 2,0 \cdot 9}{0,12 \cdot \ln\left[\frac{1,08 \cdot (2 \cdot 2,0 + 1,0)}{1,0 \cdot (2 \cdot 2,0 + 1,08)}\right]}} = 115,15 \text{ m}$$

Correção:

$$\text{Perímetro molhado: } P_m = b + 2 Y \cdot \sqrt{\lambda^2 + 1} = 0,4 + 2 \cdot 0,05 \cdot \sqrt{1^2 + 1}$$

$$P_m = 0,54 \text{ m}$$

$$C = d \cdot \ln\left(\frac{d}{P_m}\right) = 2,0 \cdot \ln\left(\frac{2,0}{0,54}\right)$$

$$C = 2,62 \text{ m}$$

Espaçamento dos drenos:

$$S = S_o - C = 115 - 2,62 = 112,38 \cong 112 \text{ m}$$

Exercício para casa: Refazer o exercício anterior supondo $d = 0$ (Equação de Boussinesq).

$$R.: S = 52,28 \text{ m} \cong 52 \text{ m}$$

6. Alocação dos drenos no mapa

Sugestões:

a) Drenos de campo tipo valeta:

- Declividade do fundo $> 0,1\%$ (evitar sedimentação excessiva) e $< 5\%$ (evitar erosão acentuada)

$$0,1\% < I < 5\%$$

- Procurar direção em que a declividade de fundo seja igual à da superfície do terreno (minimização de cortes)

- Se declividade do terreno $> 5\% \Rightarrow$ alinhamento de drenos transversal

- Instalar a rede principal nos pontos de cota mais baixa do terreno

(FIGURA – CADERNO – POSICIONAMENTO DO CANAL PRINCIPAL)

b) Drenos tubulares:

- Declividade do tubo: $1‰ < I_t < 20‰$ (2%)
- Direção: declividade do tubo semelhante à do terreno
- Se declividade do terreno $< 1\%$ $\Rightarrow$ drenos declive abaixo
- Se declividade do terreno $> 1\%$ $\Rightarrow$ drenos em direção transversal
- Comprimento máximo dos drenos: 250 – 300 m (comprimento das mangueiras de limpeza)

(TRANSPARÊNCIA – DISPOSIÇÕES TÍPICAS DE DRENOS SUBTERRÂNEOS)

EXERCÍCIO (XEROX - SALA DE AULA)