

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

Prof. Fernando Campos Mendonça

Aula 12 – Drenagem Subterrânea (Continuação)

6. Localização dos drenos no mapa (Cont. - Aula 11)

CADERNO – FIGURA – LOCALIZAÇÃO DE DRENOS

7. Altimetria dos perfis de declividade e dimensionamento hidráulico

Drenos de campo $\left\{ \begin{array}{l} \text{Tubos} \\ \text{Valetas} \end{array} \right.$

CADERNO – GRÁFICO – COTAS x DISTÂNCIA ENTRE DRENOS (TUBOS E VALETAS)

a) Drenos de campo com tubos

- Definir o menor declive no perfil (I) \Rightarrow menor diâmetro do tubo

- Instalação c/ controle a laser \rightarrow usar \bar{I} ao invés de I_{\min}

a.1) Cálculo da vazão subterrânea:

Regime permanente: $Q = \frac{R \cdot A}{86400}$

Q – vazão do dreno, m³/s

R – recarga de água no solo, m/dia

A – área drenada, m²

Regime não permanente: $Q = \frac{\alpha \cdot (h_0 - h_t)}{t} \cdot \frac{S \cdot L}{86400}$

(FIGURA – CADERNO)

α - porosidade drenável, decimal

h_0 – altura do LF após a recarga, m

h_t – altura do LF após “t” dias de drenagem, m

S – espaçamento entre drenos, m²

L – comprimento do dreno, m

a.2) Dimensionamento hidráulico:**(FIGURA – CADERNO – DRENO DE TUBOS)**

Equação de Manning:
$$D = \left(\frac{Q \cdot n}{K \cdot I^{0,5}} \right)^{0,375}$$

D – diâmetro do dreno, m

Q – vazão do dreno, m³/s

n – coeficiente de rugosidade do dreno

I – declividade do dreno, m/m

K – coeficiente de área molhada

$$K = f(h/D) \quad h/D = 0,6 \Rightarrow K = 0,209$$

Exemplo: Escolha do diâmetro do dreno em regime não permanente.

Dados:

S = 30 m

(FIGURA – CADERNO – DRENOS TUBULARES)

L = 250 m

I = 3‰

α = 8%

n = 0,016

h_o = 0,1 m

h_t = 0,6 m

t = 3 dias

Solução:

$$h_o - h_t = 0,5 \text{ m}$$

$$Q = \frac{\alpha \cdot (h_o - h_t)}{t} \cdot \frac{S \cdot L}{86400} = \frac{0,08 \cdot 0,5}{3} \cdot \frac{30 \cdot 250}{86400}$$

$$Q = 0,0011574 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$D = \left(\frac{0,0011574 \cdot 0,016}{0,209 \cdot 0,003^{0,5}} \right)^{0,375} = 0,0899 \text{ m ou } 89,9 \text{ mm}$$

$$D_c = 110 \text{ mm}$$

b) Drenos de campo com valetas

- Pequena área de contribuição para cada dreno

- Declive menor que 5‰

- Seção do dreno geralmente transporta o escoamento superficial de forma não erosiva
- Manter o fundo do dreno o mais paralelo possível à superfície do terreno, à prof. “P”
(Prof. P detalhada no item 4 da aula anterior)

c) Rede principal (coletores e canal principal):

- Terreno com $I \geq 5\text{‰}$ \Rightarrow Fórmula Racional $Q_p = \frac{C \cdot i \cdot A}{360}$

- Terreno com $I < 5\text{‰}$ \Rightarrow Predomina escoamento subsuperficial

\rightarrow Critério de Smedema & Rycroft (1983): “Procurar escoar a metade de uma chuva de 6 h de duração com $T = 5$ anos, em um período de 6 horas”.

Exemplo: Planejamento do trecho 4-5 do perfil do coletor apresentado no esquema a seguir.

(FIGURA – CADERNO – ENCOSTA, VÁRZEA, DRENOS, COLETOR, APP E RIO)

Localidade: Taubaté-SP

Equação de chuva: $i = \frac{913,707 \cdot T^{0,152}}{(t+5,000)^{0,772}}$

$T = 5$ anos

$t = 6$ h ou 360 min $i = \frac{913,707 \cdot 5^{0,152}}{(360+5,000)^{0,772}} = 12,4$ mm/h

Critério: $i/2 = 6,2$ mm/h

Vazão unitária (Q , L/s/ha)

$$Q_{\text{unit}} = \frac{6,2 \frac{\text{L}}{\text{m}^2 \cdot \text{h}} \cdot 10000 \frac{\text{m}^2}{\text{ha}}}{3600 \frac{\text{s}}{\text{h}}} = 17,22 \text{ L/s/ha}$$

Trecho 4-5:

Pelo esquema calcula-se a área de drenagem: $A_d = 40$ ha

$\therefore Q = Q_{\text{unit}} \times A_d = 17,22 \times 40 = 688,8$ L/s ou $0,6888$ m³/s

c.1) Projeto do perfil:c.1.1) Definição do desnível mínimo (I_{\min})

- Estacas a cada 25 m
- Critério: desnível de 1 cm a cada 25 m

$$I_{\min} = \frac{0,01 \text{ m}}{25 \text{ m}} = 0,0004 \text{ m/m ou } 0,4\text{‰}$$

c.1.2) Verificação da viabilidade de condução da vazão com I_{\min}

- Seção no ponto “A”

(FIGURA – CADERNO – SEÇÃO NO PONTO A)

Altura da lâmina d'água no dreno (h):

$$h = 80\% P = 0,8 \times 1,5 = 1,2 \text{ m}$$

Seção molhada (S_m):

Solo argiloso: $\lambda = 1$

$$S_m = b \times h + \lambda \times h^2 = 0,4 \times 1,2 + 1 \times 1,2^2$$

$$S_m = 1,92 \text{ m}^2$$

Perímetro molhado (P_m):

$$P_m = b + 2 h \cdot \sqrt{\lambda^2 + 1} = 0,4 + 2 \cdot 1,2 \cdot \sqrt{1^2 + 1}$$

$$P_m = 3,714 \text{ m}$$

Raio hidráulico (R_h):

$$R_h = \frac{S_m}{P_m} = \frac{1,92}{3,714} = 0,506 \text{ m}$$

Velocidade de escoamento (V):

$$\text{Manning: } V = \frac{1}{n} \cdot R_h^{2/3} \cdot I^{0,5} = \frac{1}{0,016} \cdot 0,506^{2/3} \cdot 0,0004^{0,5}$$

$$V = 0,423 \text{ m/s}$$

Vazão máxima do dreno com I_{\min} :

$$Q_{\max} = S_m \cdot V = 1,92 \cdot 0,423 = 0,812 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{\max} > Q_{\text{projeto}} \Rightarrow \text{OK!}$$

c.1.3) Definição da declividade máxima (I_{\max})

Objetivo: evitar ou minimizar problemas de erosão

Critério: $V_{\max} = 0,9 \text{ m/s}$

Seção molhada do dreno com I_{\max} :

$$S_m = \frac{Q_{\text{projeto}}}{V_{\max}} = \frac{0,6888}{0,9} = 0,765 \text{ m}^2$$

Altura da lâmina d'água no dreno (h):

$$S_m = b \times h + \lambda \times h^2 \Rightarrow 0,765 = 0,4 \times h + 1 \times h^2$$

$$h = 0,697 \text{ m}$$

Perímetro molhado do dreno (P_m):

$$P_m = b + 2 h \cdot \sqrt{\lambda^2 + 1} = 0,4 + 2 \cdot 0,697 \cdot \sqrt{1^2 + 1}$$

$$P_m = 2,371 \text{ m}$$

Raio hidráulico do dreno (R_h):

$$R_h = \frac{S_m}{P_m} = \frac{0,765}{2,371} = 0,323 \text{ m}$$

Declividade máxima (I_{\max}):

$$\text{Manning: } V = \frac{1}{n} \cdot R_h^{2/3} \cdot I_{\max}^{0,5}$$

$$0,9 = \frac{1}{0,016} \cdot 0,323^{2/3} \cdot I_{\max}^{0,5}$$

$$I_{\max} = 0,0033 \text{ m/m ou } 3,3\text{‰}$$

Resumo – Perfil do dreno:

$$I_{\min} = 0,0004 \text{ m/m ou } 0,4\text{‰}$$

$$I_{\max} = 0,0033 \text{ m/m ou } 3,3\text{‰}$$

Exemplo: Cálculo do perfil de um dreno (I_d)

(DISTRIBUIR FIGURA EM PAPEL MILIMETRADO - XEROX)

- Calcular I do terreno (I_t)

- Verificar se $I_t \leq I_{\max}$

- $I_t \leq I_{\max} \Rightarrow I_d = I_t$

- $I_t > I_{\max} \Rightarrow I_d = I_{\max}$

Construção de degrau

Manter h_{\min} no dreno para garantir a borda livre (Neste caso, $h_{\min} = 1,5$ m)

8. Marcação dos cortes, escavação e cubagem

(FIGURA – CADERNO - PERFIL)

Cubagem: medição da profundidade do dreno a cada 25-50 m e cálculo do volume escavado

(TRANSPARÊNCIAS – MÁQUINAS PARA ESCAVAÇÃO)

9. Tipos de saída (rio)

(TRANSPARÊNCIA – TIPOS DE SAÍDA)

- Por gravidade (normal)

- Com válvula “flap” (saída com elevação, ou murundu)

- Com bomba (saída em polders)

- Vertical (pouco usada)

10. Envelopes ou envoltórios dos drenos (tubos)

- Materiais colocados em volta dos drenos tubulares

- Funções:

a) Evitar o arraste e a deposição de solo no interior do dreno

b) Aumentar a permeabilidade periférica do tubo, diminuindo a perda de carga na entrada

- O envelope deve ser poroso o suficiente para a segunda função, mas não deve haver penetração de solo para não prejudicar a primeira função.

Exemplos:

- Manta geotêxtil
- Areia grossa
- Cascalho fino
- Britas

Teste do peneiramento – definição da granulometria do solo

(FIGURA – CADERNO - PENEIRAS)

(GRÁFICO – CADERNO – D_{60} E D_{90})

(TRANSPARÊNCIAS – CRITÉRIOS PARA ESCOLHA - GEOTÊXTIL OU GRANULARES)

a) Manta geotêxtil (“Bidim”): silte + areia muito fina + areia fina < 45%

b) Brita: Diâmetro englobado (D_e)

$$D_{e_{\min}} < D_{60} < D_{e_{\max}}$$