

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

Prof. Fernando Campos Mendonça

**SISTEMA DE DRENAGEM E PRECIPITAÇÕES (PARTE 1)**

**1) Sistema de Drenagem da Bacia**

**1.1. Tipos de curso d'água**

- a) Perenes: calha do rio abaixo do LF ao longo de todo o ano (mín. 90% do ano)

(DESENHO – Rio perene)

$$Q_T = Q_{\text{sup}} + Q_{\text{sub}}$$

$Q_T$  – vazão total

$Q_{\text{sup}}$  – vazão superficial (enxurrada)

$Q_{\text{sub}}$  – vazão subterrânea (LF)

- 
- b) Efêmeros: calha sempre acima do LF

(DESENHO – Curso d'água efêmero)

$$Q_T = Q_{\text{sup}}$$

- 
- c) Intermitentes: comportamento varia de (a) para (b) ao longo do ano.

(DESENHO – Rio intermitente)

- Período úmido: calha abaixo do LF

$$Q_T = Q_{\text{sup}} + Q_{\text{sub}}$$

Período seco: calha acima do LF

$$Q_T = Q_{\text{sup}} \text{ ou } Q_T = 0$$

---

## 1.2. Identificação da rede de drenagem

- Até séc. XIX: Hidrologia qualitativa
- A partir do Séc. XX: Hidrologia quantitativa

a) Fotografia aérea (estereoscopia)

- Cursos perenes, efêmeros e intermitentes

b) Mapa topográfico

- Cursos perenes e intermitentes
- Número menor de cursos d'água
- SP - Carta topográfica (1:50.000)

c) Hierarquia pluvial

Critérios	{	STRAHLER (1952):	Junção → N° de ordem maior prevalece
		SHREVE (1967):	Junção → Soma dos n <sup>os</sup> de ordem

(CADERNO – DESENHO – PÁG. 2 – Hierarquia STRAHLER romanos e SHREVE arábicos)

d) Densidade de drenagem (Dd)

$$Dd = \frac{\sum Lr}{Ab}$$

Lr – comprimento dos rios (cursos superficiais perenes), km

Ab – área da bacia, km<sup>2</sup>

➤ Rede de drenagem: água que não infiltra

- Caminhamento da água:

Superfície do solo – lento

Curso d'água – rápido

- Solos com menor capacidade de infiltração → maior Dd e maior pico de cheia

e) Extensão média do escoamento sobre o terreno:

- Comprimento médio do percurso da água da superfície do solo à rede de drenagem.

(CADERNO – DESENHO – PÁG. 3)

$$Ab = \sum Lr \times 4 l$$

$l$  – largura do retângulo

$$l = \frac{1}{4} \frac{Ab}{\sum Lr}$$

Mas  $Dd = \frac{\sum Lr}{Ab} \quad \therefore \quad \boxed{l = \frac{1}{4 Dd}}$

Ex.:  $Dd = 3 \text{ km/km}^2$

$$l = \frac{1}{4 \times 3} = 1/12 \text{ km} = 0,0833 \text{ km ou } 83,3 \text{ m}$$

### 1.3. Características de relevo da BH

#### 1.3.1. Declividade média da BH

a) Método das quadrículas

(CADERNO – PÁG. 4 – DESENHO – BH em papel quadriculado)

$$\text{Declive} = \frac{L_{\text{vert}}}{L_{\text{hor}}} = \frac{5}{50} = 0,1 \text{ m/m (10\%)}$$

$L_{\text{vert}}$  – comprimento vertical, m

$L_{\text{hor}}$  – comprimento horizontal, m

- Repetir o procedimento para cada quadrícula e, depois, calcular a declividade média.

**1.3.2. Declividade média do talvegue**a) Declividade média simples ( $I_s$ )

$$I_s = \frac{\text{cota nascente} - \text{cota foz}}{L_{tv}}$$

$L_{tv}$  – comprimento do talvegue, km

Problema com  $I_s$ :  $I_s$  não representa a média real, pois a declividade do talvegue é desuniforme.

- Perfil de um rio – Declividade desuniforme

Cascatas, corredeiras, remansos

(CADERNO – PÁG. 5 - DESENHO – PERFIL DO RIO)

(1)  $I > I_s$

(2)  $I < I_s$

b) Declividade média equivalente ( $I_{eq}$ )

- Método adotado pelo DAEE-SP

- Mapa da BH

- Estender o comprimento do talvegue até o limite da BH (comprimento axial)

- Calcular o desnível dos trechos entre duas curvas de nível

- Calcular  $I_{eq}$ :

$$I_{eq} = \left( \frac{\sum L_i}{\sum \frac{L_i}{\sqrt{i}}} \right)^2$$

$L_i$  – comprimento do talvegue no trecho  $i$  ( $i = 1, 2, 3...n$ ), em km

$i$  – declividade do talvegue no trecho  $i$ , em metros

(CADERNO – PÁG. 6 – DESENHO BH e cálculo de  $I_{eq}$ )

Trecho	Desnível ( $\Delta H$ , m)	Comprimento (L, km)	Declive ( $\Delta z$ , m/km)
1	10,0	0,23	43,5
2	20,0	0,11	181,8
3	20,0	0,26	76,9
4	20,0	1,20	16,7
5	0,5	0,20	2,5
Soma	70,5	2,00	---

$$I_{eq} = \left[ \frac{\sum L_i}{\left( \frac{L_1}{\sqrt{I_1}} + \frac{L_2}{\sqrt{I_2}} + \frac{L_3}{\sqrt{I_3}} + \frac{L_4}{\sqrt{I_4}} + \frac{L_5}{\sqrt{I_5}} \right)} \right]^2$$

$$I_{eq} = 16,47 \text{ m/km} = 0,01647 \text{ m/m} \text{ ou } 1,65\%$$

$$\text{Obs.: } I_s = \frac{605 - 539,5}{2000} = 0,03275 \text{ m/m} \text{ ou } 3,28\%$$

Importância: modelagem e estimativa de vazões de escoamento em BHs (picos de cheias)

$I_{eq}$  – menores picos e redução do custo de obras hidráulicas

#### 1.4. Cobertura vegetal

$$\text{Desmatamento} \begin{cases} Q_m \uparrow \text{ (Redução da ET)} \\ Q_{\min} \downarrow \text{ (Redução da infiltração)} \\ Q_{\max} \uparrow \text{ (Aumento do escoamento superficial)} \end{cases}$$

Aplicações práticas:

1 - New York: reflorestamento em BH a montante

-  $Q_{\min} \uparrow$

- Melhora na qualidade de água

2 – Brasil – MG e SP: Programa “Produtor de Água”

- Extrema – MG
- Nazaré Paulista e Joanópolis – SP
- Maiores beneficiários: região metropolitana de São Paulo e BH-PCJ
- Pagamento por serviços ambientais

**1.4.1. Densidade de drenagem e cobertura vegetal (Código Florestal Brasileiro)**

Supondo  $Dd = 3,5 \text{ km/km}^2$

(CADERNO – PÁG. 8 – DESENHO DE MATA CILIAR C/ LARG. 30 m)

Mata ciliar de 30 m:  $3,5 \text{ km/km}^2 \times 0,06 \text{ km} = 0,21 \text{ km}^2/\text{km}^2$  ou 21% de cobertura

Mata ciliar de 15 m:  $3,5 \text{ km/km}^2 \times 0,03 \text{ km} = 0,105 \text{ km}^2/\text{km}^2$  ou 10,5% de cobertura

---

**2. Precipitações**

**2.1. Importância dos dados de chuva**

Exemplos:

- a)  $Q_{\text{mín}}$  ( $Q_{7,10}$ ;  $Q_{95}$ ;  $Q_{90}$ ) – Ppts totais anuais
- b) Balanço hídrico climatológico – Ppts mensais, quinzenais ou decendiais
- c) Irrigação suplementar – Ppt de 5 a 15 dias
- d)  $Q_{\text{máx}}$  – Ppts intensas e curtas ( $\leq 24 \text{ h}$ )

\* Dados necessários:

- (a), (b) e (c): chuva de um dia (pluviômetro)
- (d): chuva instantânea (pluviógrafo)

---

Pluviômetros: Ville de Paris e “Paulista”

Pluviógrafos:

- de balança
- de bóia
- de cubas basculantes

(FIGURAS E FOTOS – PLUVIÔMETROS E PLUVIÓGRAFOS)

---

## 2.2. Precipitações intensas – Caracterização

a) Altura precipitada (h, mm):

$$h = \frac{\text{vol água}}{\text{área boca coletor}}$$

$$1 \text{ mm} = 1 \text{ L/m}^2$$

b) Duração (t, min ou h)

$$t \begin{cases} \text{Evento como um todo} \\ \text{Período específico de interesse (geralmente uma fração do todo)} \end{cases}$$

Objetivo: calcular o escoamento superficial (enxurrada) a partir de uma chuva.

(CADERNO – PÁG. 10  $\rightarrow$   $h = f(t)$ )

---

c) Intensidade média (i, mm/h)

$$i = \frac{h}{t}$$

(CADERNO – PÁG. 10  $\rightarrow$   $i = f(t)$ )

---

d) Distribuição temporal

- Diagrama de blocos (geralmente 4 blocos)

(CADERNO – PÁG. 11 – Chuva adiantada, intermediária e atrasada)

---

e) Distribuição espacial da chuva

Exemplo: área plana c/ 400 km<sup>2</sup>

(CADERNO – PÁG. 12 – Isoietas)

---

- Chuvas em áreas pequenas ( $\leq 2 \text{ km}^2$ )
  - Despreza-se a distribuição espacial da chuva
  - Assumir  $h_{\text{proj}} = h_{\text{epicentro}}$
- Chuva em áreas grandes ( $> 2 \text{ km}^2$ )
  - Considerar a distribuição espacial da chuva
  - $h_{\text{proj}} = h_{\text{epicentro}} \times K$

K – fator ou fração de abatimento da chuva (determinação gráfica)

$$K = f(A_b, t)$$

(FIGURA – fator K)

---

f) Probabilidade de excedência (P) e período de retorno (T) (Risco do evento)

- Pressuposições:
  - Clima não está mudando (na escala de tempo considerada)
  - Eventos passados têm mesma probabilidade de ocorrência futura

Período de retorno (T): intervalo de tempo (geralmente em anos) em que se espera que o evento extremo seja igualado ou superado ao menos uma vez.

$$P = \frac{m}{n} \qquad T = \frac{1}{P}$$

P – probabilidade de ocorrência de um evento igual ou superior ( $\geq$ )  
 m – número de eventos iguais ou inferiores ( $\leq$ )  
 n – número de dados do evento  
 T – período de retorno do evento

(INICIAR COM  $P = \frac{m}{n} \rightarrow$  DEPOIS MUDAR  $P/P = \frac{m}{n+1}$ )

(DEPOIS DE MOSTRAR A TABELA - CONSTRANGIMENTO HIDROLÓGICO)

---

Exemplo: obtenção da chuva máxima de 24 h com um período de retorno de 5 anos (T = 5).

**Dados** (P = m/n)

Anos	$h_{m\acute{a}x}$ (mm)	$h_{m\acute{a}x}$ ord. (decrecente)	Nº ordem	$P = \frac{m}{n}$	$T = \frac{1}{P}$
1960	50	80	1	1/10 = 10%	10/1 = 10
1961	40	70	2	2/10 = 20%	10/2 = 5
1962	30	65	3	30%	3,3
1963	60	60	4	40%	2,5
1964	80	50	5	50%	2
1965	45	45	6	60%	1,7
1966	70	40	7	70%	1,4
1967	20	30	8	80%	1,3
1968	10	20	9	90%	1,1
1969	65	10	10	100%	1

**Dados** (P = m/n+1)

Anos	$h_{m\acute{a}x}$ (mm)	$h_{m\acute{a}x}$ ord. (decrecente)	Nº ordem	$P = \frac{m+1}{n}$	$T = \frac{1}{P}$
1960	50	80	1	1/11 = 9,1%	11/1 = 11
1961	40	70	2	2/11 = 18,2%	11/2 = 5,5
1962	30	65	3	27,3%	3,7
1963	60	60	4	36,4%	2,8
1964	80	50	5	45,5%	2,2
1965	45	45	6	54,5%	1,8
1966	70	40	7	63,6%	1,6
1967	20	30	8	72,7%	1,4
1968	10	20	9	81,8%	1,2
1969	65	10	10	90,9%	1,1

T = 5 anos → Entre os eventos c/ nº de ordem 2 e 3

Regra de três:

$\Delta h_{max\_1} = 5 \text{ mm}$	$\Delta T_1 = 1,8 \text{ anos}$	$\Delta h_{max\_2} = 1,4 \text{ mm}$
$\Delta h_{max\_2} = x$	$\Delta T_2 = 0,5 \text{ ano}$	$h_{max (T=5)} = 68,6 \text{ mm}$

Exercício (sala de aula): Pluviograma c/ h(mm) e i(mm/h)