

DRENAGEM E ESTUDO HIDROLÓGICO

Prof. Carlos Eduardo Troccoli Pastana

pastana@projeta.com.br

(14) 3422-4244

AULA TEÓRICA 09

BASEADO NAS AULAS DO PROF. Dr. JOSÉ BERNARDES FELEX

ESTUDO HIDROLÓGICO

Conforme já vimos, é necessário, na fase de anteprojeto, um conhecimento das características hidrológicas da região, em geral, e ao longo de cada traçado alternativo, onde devem ser procurados dados sobre:

- 1. Pluviometria da região;**
- 2. Forma e tamanho das bacias hidrográficas;**
- 3. Vazão máxima dos cursos d'água;**
- 4. Nível máximo de enchentes (NME) em baixadas;**
- 5. Nível de alagamento admissível a montante dos bueiros (quando precedente);**

ESTUDO HIDROLÓGICO

No trabalho em questão admite-se como resultado mínimo deste estudo:

1. A delimitação na planta (quando possível) e cálculo aproximado da área das bacias hidrográficas ao longo de cada traçado;

2. A indicação, no perfil longitudinal, do Nível Máximo de Enchentes - NME estimado em baixadas de maior extensão;

ESTUDO HIDROLÓGICO

Admite-se ainda, como outra simplificação, que se diferencie, conforme o tamanho da área da bacia hidrográfica, entre as seguintes estruturas:

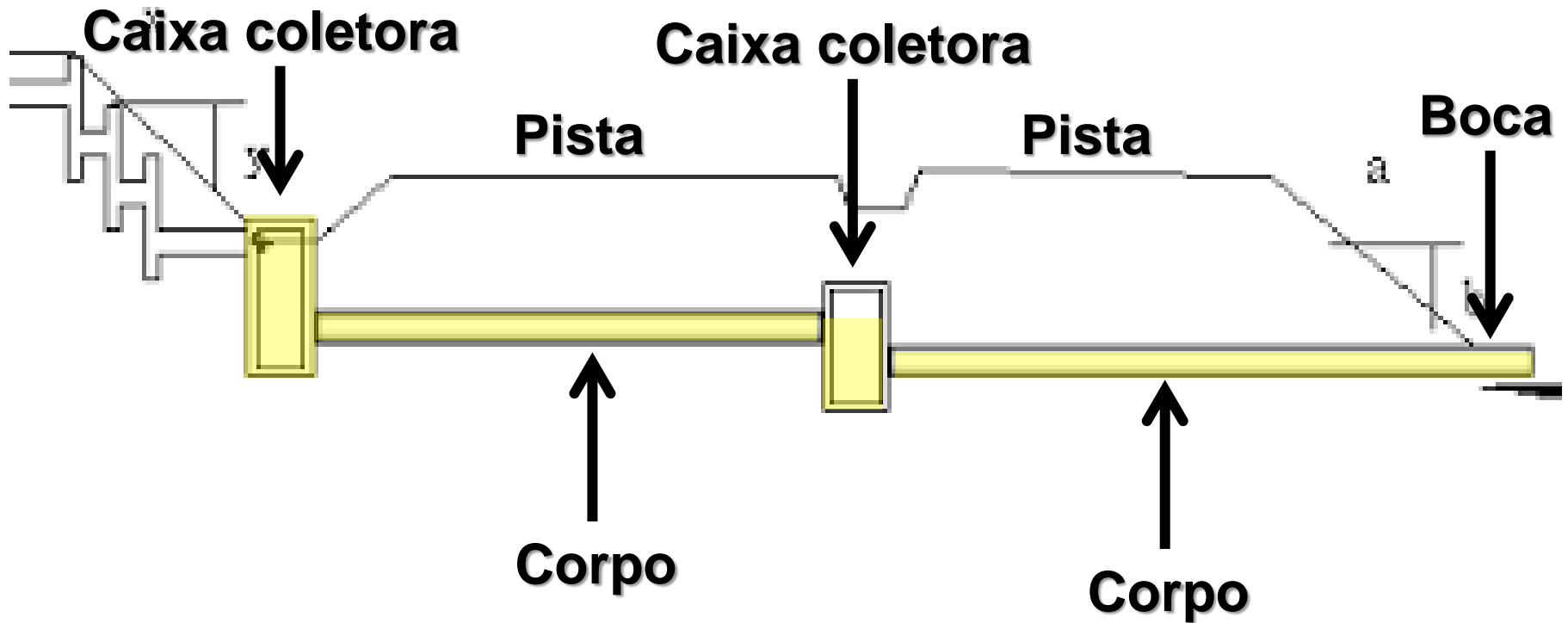
A (km ²)	ESTRUTURA
≤ 20	Bueiro de grotá
>20	Ponte ou pontilhão

Considerar:

- 1. A altura livre acima do NME pode ser considerada em 2,00 metros;**
- 2. Nos cortes de grande extensão (maior que 1 km) deve-se prever a construção de bueiros de greide a cada 500 metros.**

ESTUDO HIDROLÓGICO

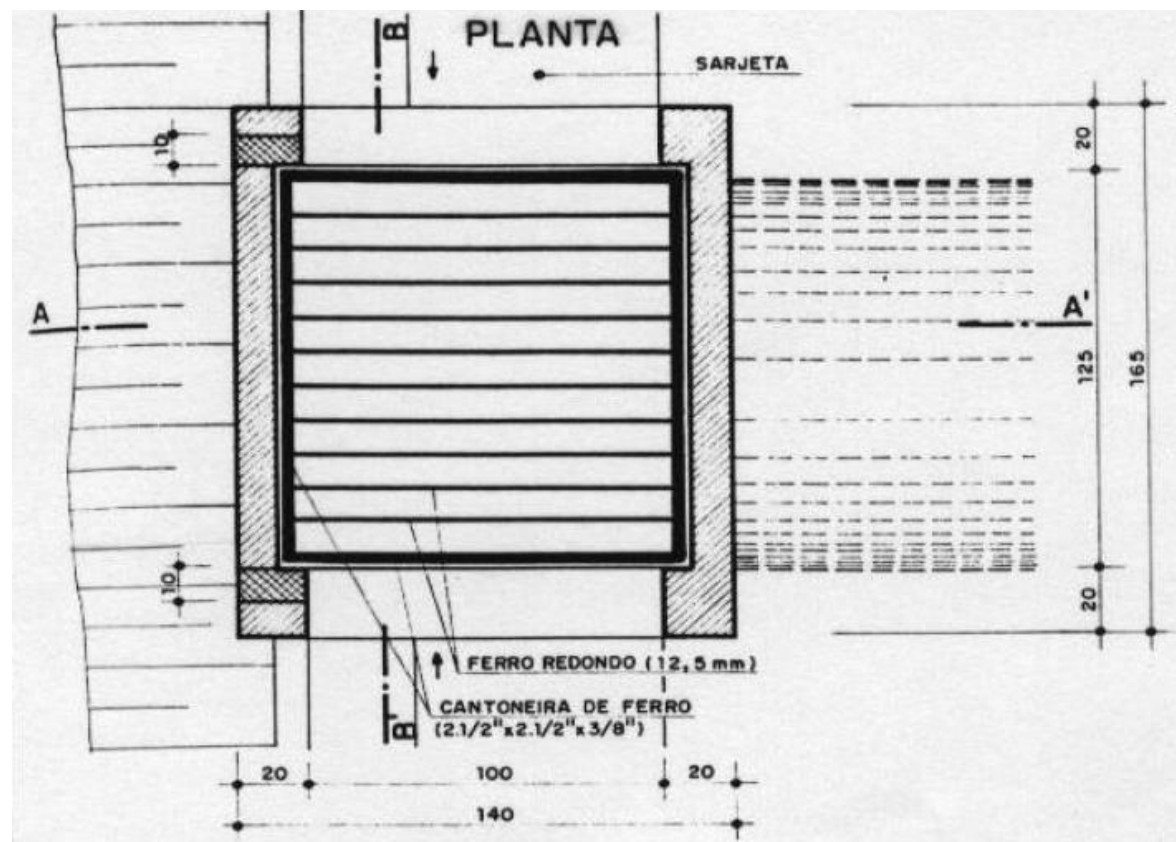
Bueiro de greide.



ESTUDO HIDROLÓGICO

Bueiro de greide.

Caixa coletora



ESTUDO HIDROLÓGICO

Os bueiros e pontes serão relacionados, convenientemente, em tabela, conforme modelo do ANEXO 4.

PONTES								
Estação (km)	Nome do curso d'água	Bacia contribuinte (km ²)	Extensão da obra (m)	Níveis (cotas) em (m)				Condições de fundações (1)
				Fundo d'água	Beira do rio	Máxima enchente	Tabuleiro	

ESTUDO HIDROLÓGICO

Os bueiros e pontes serão relacionados, convenientemente, em tabela, conforme modelo do ANEXO 4.

BUEIROS DE GROTA						
Estação (km)	Nome do curso d'água	Bacia contribuinte (km2)	Extensão da obra (m)	Níveis (cotas) em (m)		Condições de fundações (1)
				Fundo d'água	Greide de terraplenagem	

ESTUDO HIDROLÓGICO

Os bueiros e pontes serão relacionados, convenientemente, em tabela, conforme modelo do ANEXO 4.

BUEIROS DE GREIDE			
No trecho em corte Est. _____ a Est. _____	Extensão do corte (km)	Número de bueiros	Condições para saída d'água (2)
Número total de bueiros			

DRENAGEM

- Arte de conduzir e controlar fluxo de água em OBRAS.
- A água interfere na resistência de solos, provoca erosão, carrega materiais e influi na segurança do tráfego.
- A drenagem é feita pelos “elementos para drenagem”

MOTIVAÇÃO

- A construção e manutenção de componentes para drenar a seção transversal são importantes para proteção de pavimentos contra acúmulo de água.
- O escoamento superficial de água pode causar danos à superfície de rolamento de vias, acostamentos, e taludes de cortes e aterros, ou valetas e valas

MOTIVAÇÃO

- O mau funcionamento de canais provoca "deterioração acelerada de pavimentos" .
- E, erosão nas áreas adjacentes diminuindo a sensação de conforto e segurança para os indivíduos que viajam pelas rodovias.

MOTIVAÇÃO

Defeitos em equipamentos para drenar

- Provocar erosão e fazer diminuir o confinamento lateral de pavimentos;
- Tornar-se depósito de materiais carregados pela água;
- Ou, tornar-se depósito de materiais que o transporte de produtos deixa cair sobre a plataforma de vias.





TIPOS DE DRENAGEM

- Superficial
- Subterrânea
- De pavimento

O PROJETO DE DRENAGEM

- Conheça a geometria da obra;
- Faça a pré-escolha dos elementos para drenagem;
- Estime as vazões;
- Escolha formas, materiais e dimensione;
- Estude o controle de fluxo.

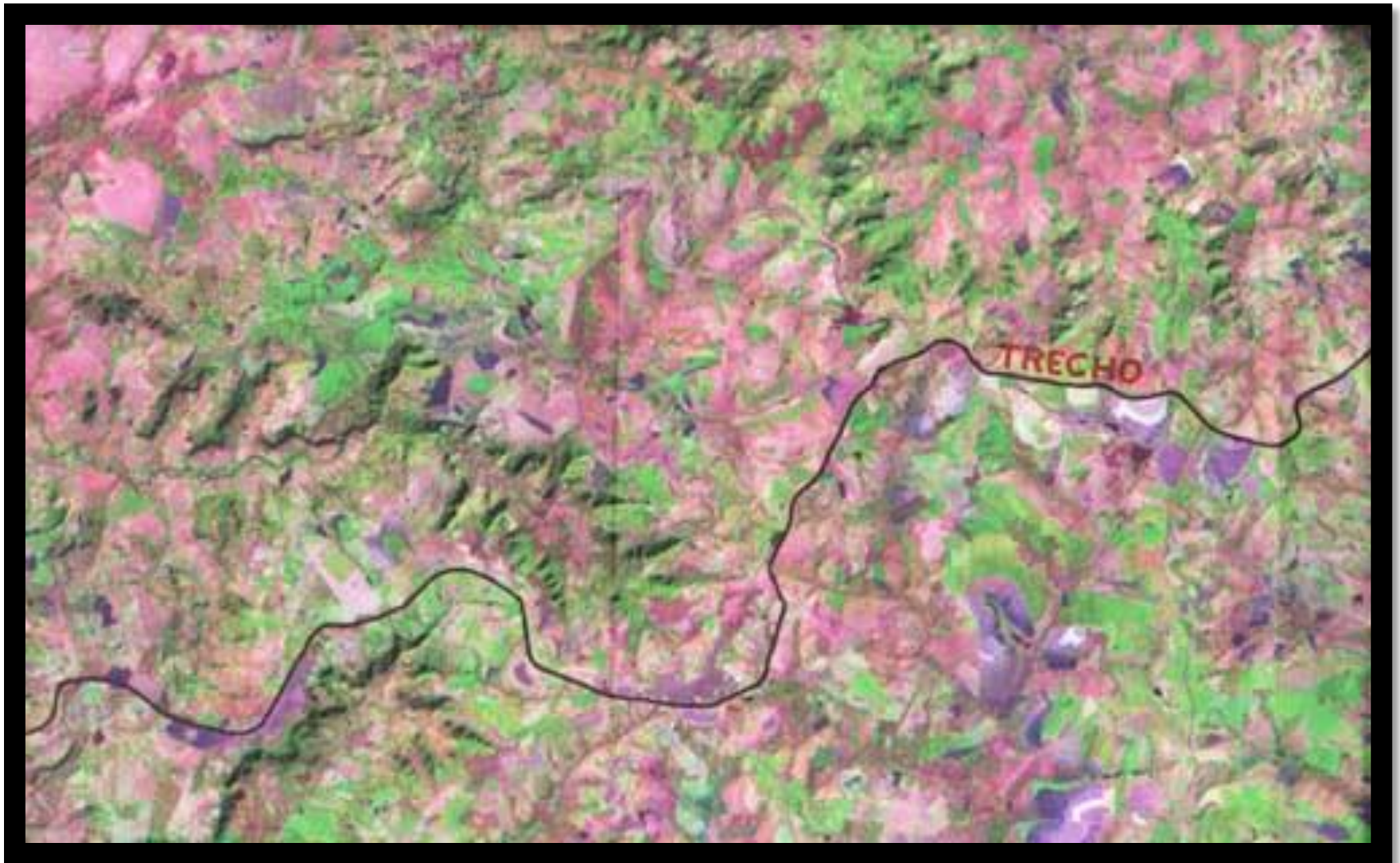
Você vai usar...

Planta; perfil; seções transversais; BOM SENSO; Hidrologia; hidráulica; estatística; mecânica dos solos, etc.

INÍCIO DE CONSTRUÇÃO DA VIA DOS BANDEIRANTES



VISTA DO TERRENO



OBRAS DA VIA DOS BANDEIRANTES



OBRAS DA VIA DOS BANDEIRANTES



OBRAS DA VIA DOS BANDEIRANTES



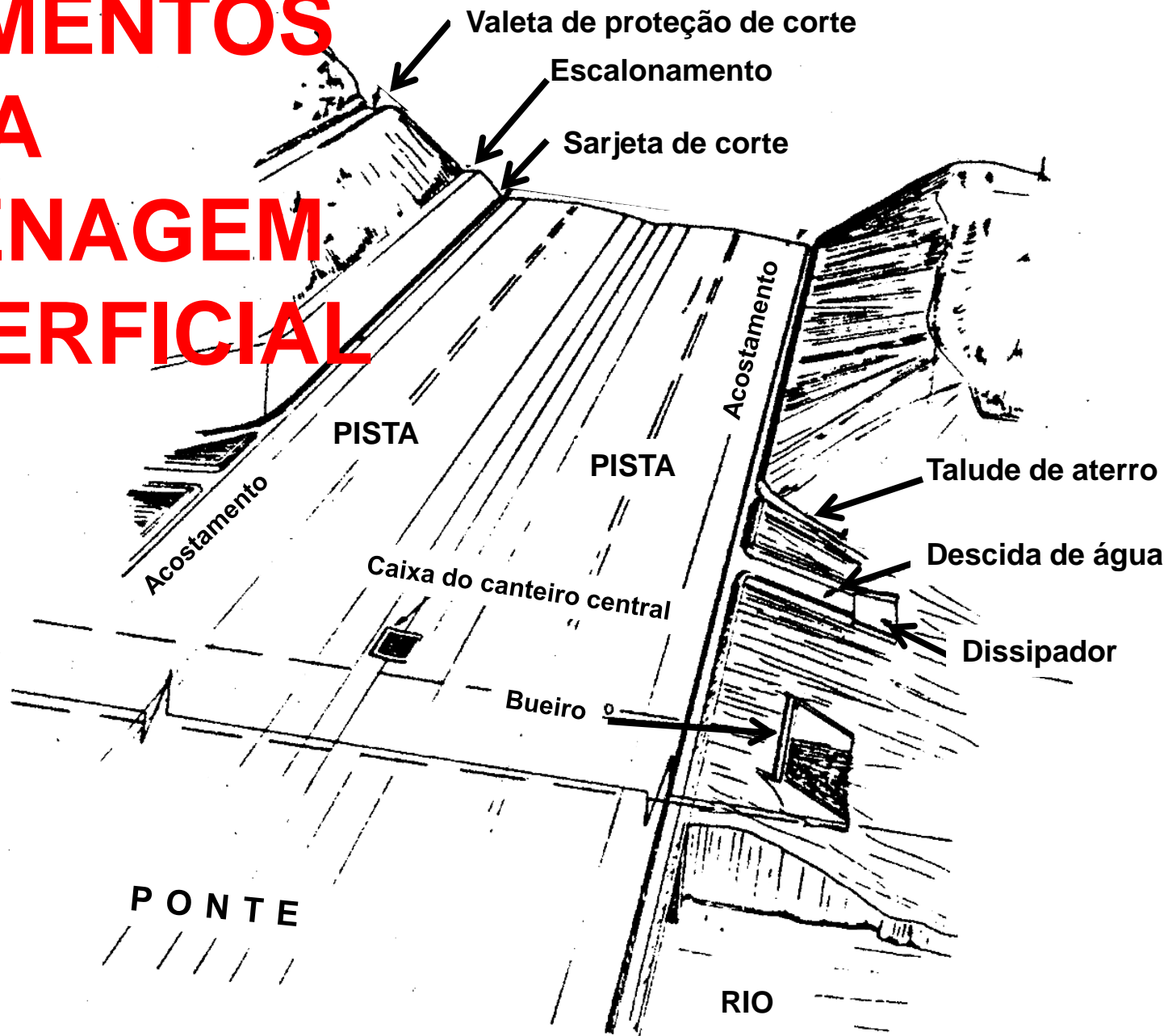
BANDEIRANTES-ANHANGUERA



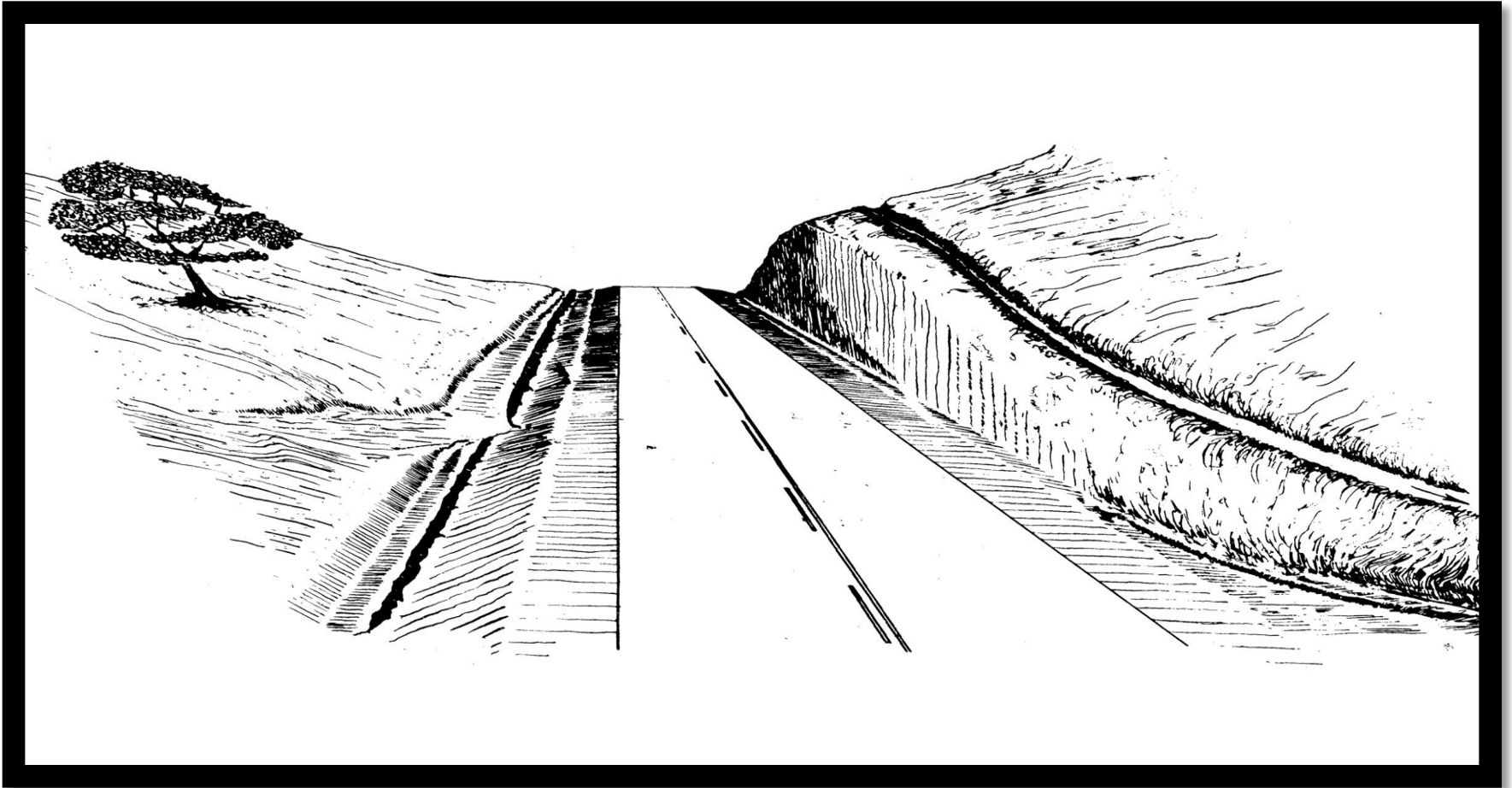
BANDEIRANTES-ANHANGUERA



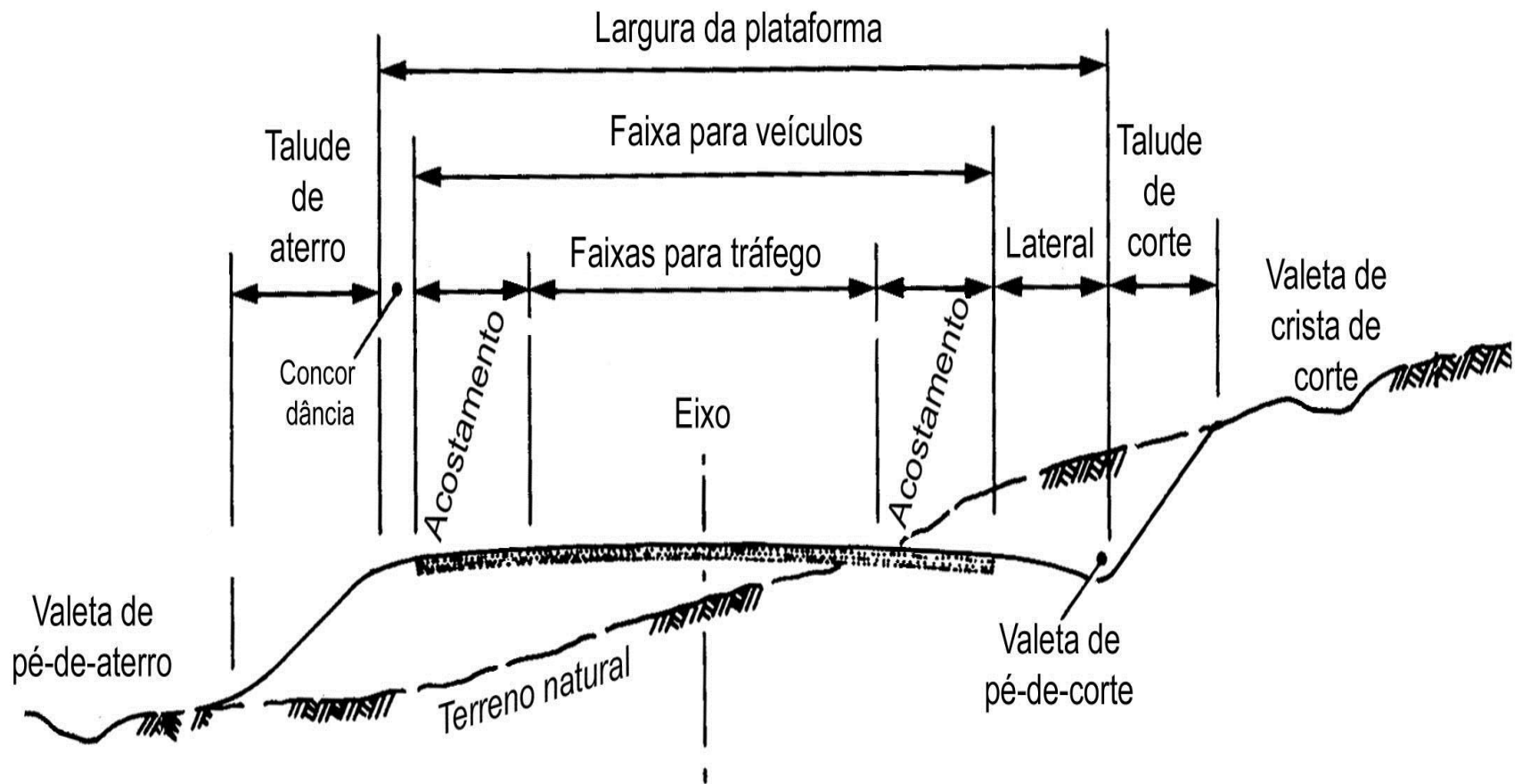
ELEMENTOS PARA DRENAGEM SUPERFICIAL



FORMATO DE VIAS



FORMATO DE SEÇÕES TRANSVERSAIS



O COMPORTAMENTO DE EQUIPAMENTOS PARA DRENAR DEPENDE DE:

- **Características físicas, formato, materiais das paredes e fundo, declividade longitudinal, etc do canal [FREITAS (2000)];**
- **Vazões que solicitam componentes da seção transversal, etc. [Métodos: PEIXOTO JR & FELEX (1997); PINTO, HOLTZ & MARTINS (1973); CETESB (1986)].**



OU:

- **Estimar a capacidade. [Métodos: DNER (1980), FHWA (1983, 1986, 1991)];**
- **Estimar medidas (regime de fluxo, velocidade,) sobre as características do escoamento de água pela seção transversal do canal analisado.**

MAS HOJE:

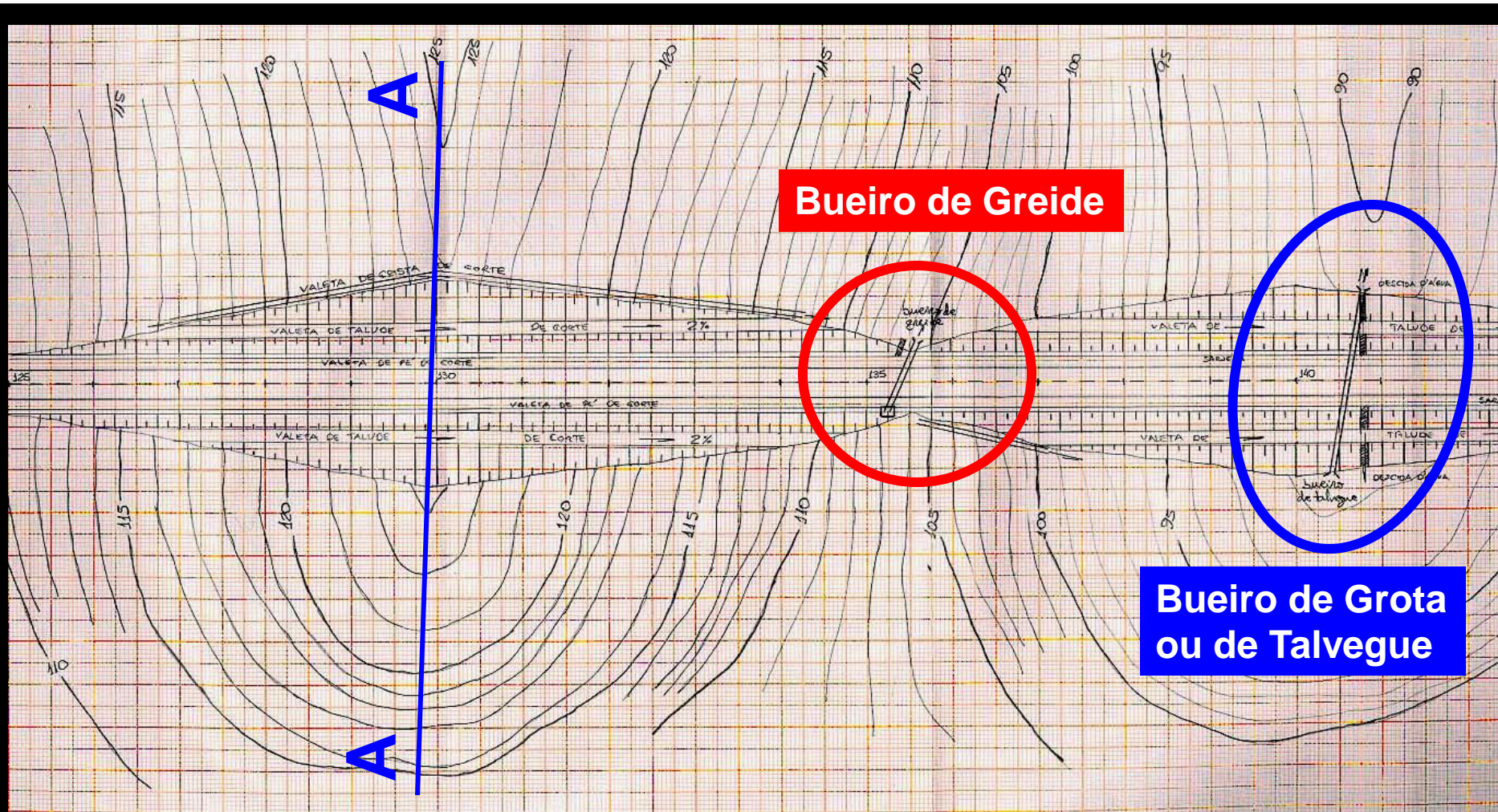
- **O processamento de dados em computador pode ser uma ferramenta útil para facilitar estudos e análises sobre essas medidas;**

Exemplo: HAESTAD (1999)

O QUE FAZER ?

- **Características de canais:**
 - **Obter em campo ou estimar em projetos;**
- **As vazões:**
 - **Função de regime de chuvas;**
- **Estimar capacidade, velocidade de água, etc;**
- **Estudar a interface entre líquido e equipamento para drenar.**

PLANTA



ESTIMATIVA DE VAZÕES

Método racional

DNIT-Manual de Hidrologia Básica

O Método Racional consiste no cálculo da descarga máxima de uma enchente de projeto por uma expressão muito simples:

$$Q = \frac{c.i.A}{3,6}$$

Q = Descarga máxima, em m³/s;

c = Coeficiente de deflúvio ou escoamento superficial =
(volume água que escoou)/(volume de chuva);

i = Intensidade de chuva definida, em mm/h; e

A = Área da bacia hidrográfica, em km².

Sugestões de coeficientes de escoamento

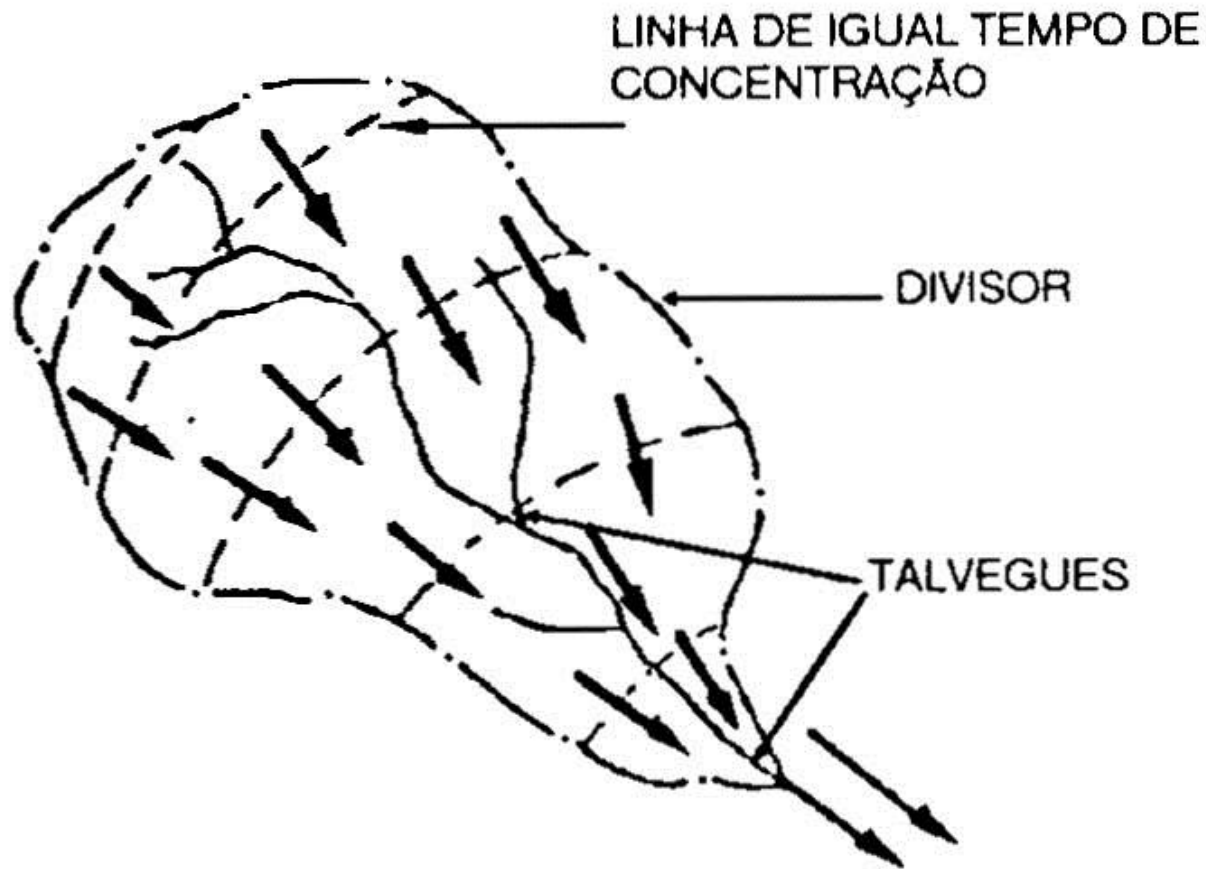
TIPO DE SUPERFÍCIE	COEFICIENTE DE <i>RUNOFF</i> (C)*
ÁREAS RURAIS	
Revestimento de concreto asfáltico.	0,8 – 0,9
Revestimento de macadame asfáltico.	0,6 – 0,8
Acostamento ou estradas com pedregulho.	0,4 – 0,6
Terra sem revestimento.	0,2 – 0,9
Áreas gramadas com declive (2:1).	0,5 – 0,7
Prados.	0,1 – 0,4
Áreas com matas.	0,1 – 0,3
Campos cultivados.	0,2 – 0,4

Sugestões de coeficientes de escoamento

TIPO DE SUPERFÍCIE	COEFICIENTE DE <i>RUNOFF</i> (C)*
ÁREAS URBANAS	
Zona residencial mais ou menos plana com cerca de 30% de área impermeável.	0,40
Zona residencial mais ou menos plana com cerca de 60% de área impermeável.	0,55
Zona residencial moderadamente íngreme, com cerca de 50% de área impermeável.	0,65
Área construída moderadamente íngreme, com cerca de 70% de área impermeável.	0,80
Zona comercial com cerca de 90% de área impermeável.	0,80

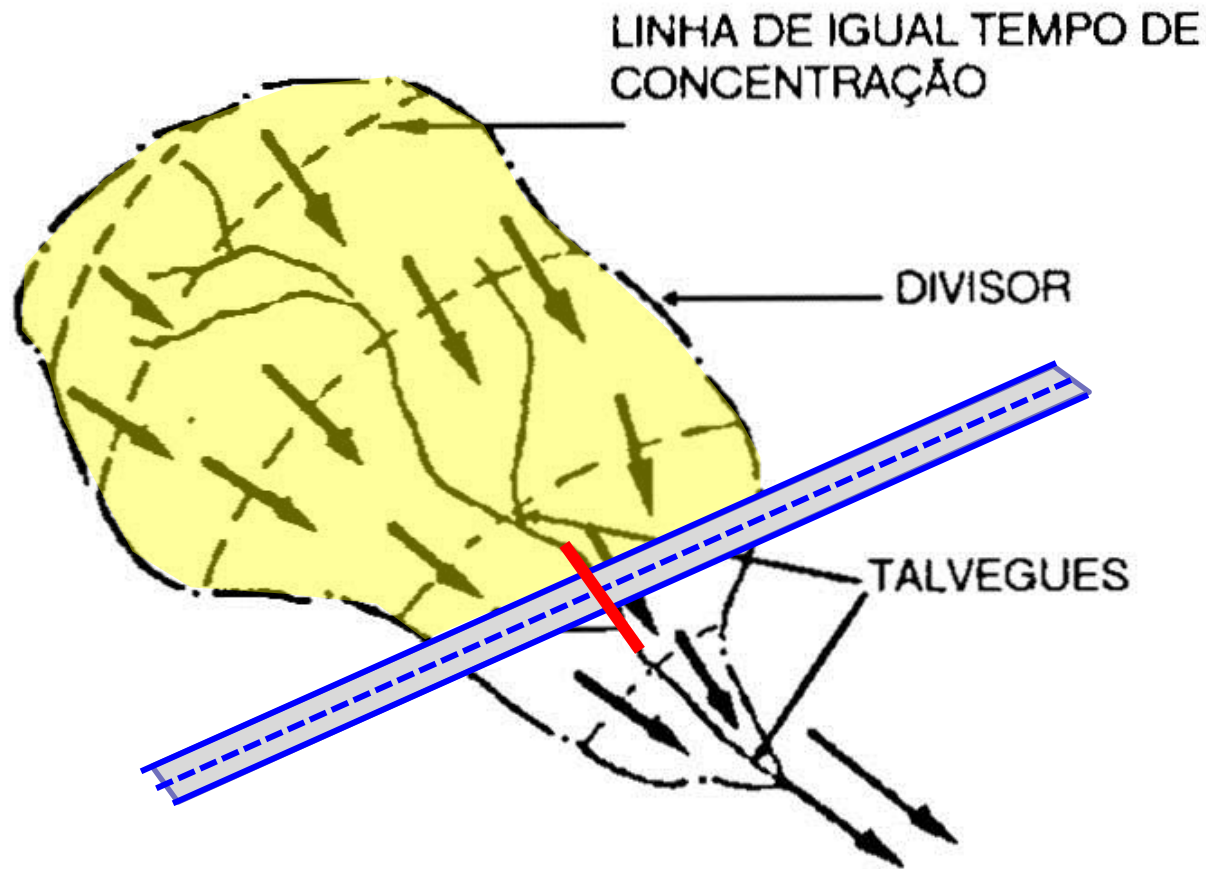
* Para taludes suaves ou solo permeável use os valores mais baixos; para taludes íngremes ou solo impermeável use os valores mais altos.

A ÁREA DA BACIA



- De levantamentos topográficos ou fotogramétricos;
- Estimativas através de projetos.

A ÁREA DA BACIA



- De levantamentos topográficos ou fotogramétricos;
- Estimativas através de projetos.

A INTENSIDADE DE PRECIPITAÇÃO

Depende do local, da história de chuvas, das hipóteses sobre o risco de a vazão ser superada.

$$i = \frac{a.T^n}{(t_c + b)^m} \quad \text{mm/h}$$

i = intensidade média em mm/h;

t_c = tempo de duração da chuva em minutos;

T = tempo de recorrência em anos.

a, b, c, d, e, m, n e r = parâmetros definidos a partir das observações básicas para elaboração da equação.

A INTENSIDADE DE PRECIPITAÇÃO

- Fórmula básica considerada válida para o Estado de São Paulo.

$$i = \frac{1750 \times T^{0,181}}{(t_c + 15)^{0,89}} \quad \text{mm/h}$$

ou

$$i = \frac{29,167 \times T^{0,181}}{(t_c + 15)^{0,89}} \quad \text{mm/min}$$

A INTENSIDADE DE PRECIPITAÇÃO

- Fórmula básica considerada válida para o Estado de São Paulo.

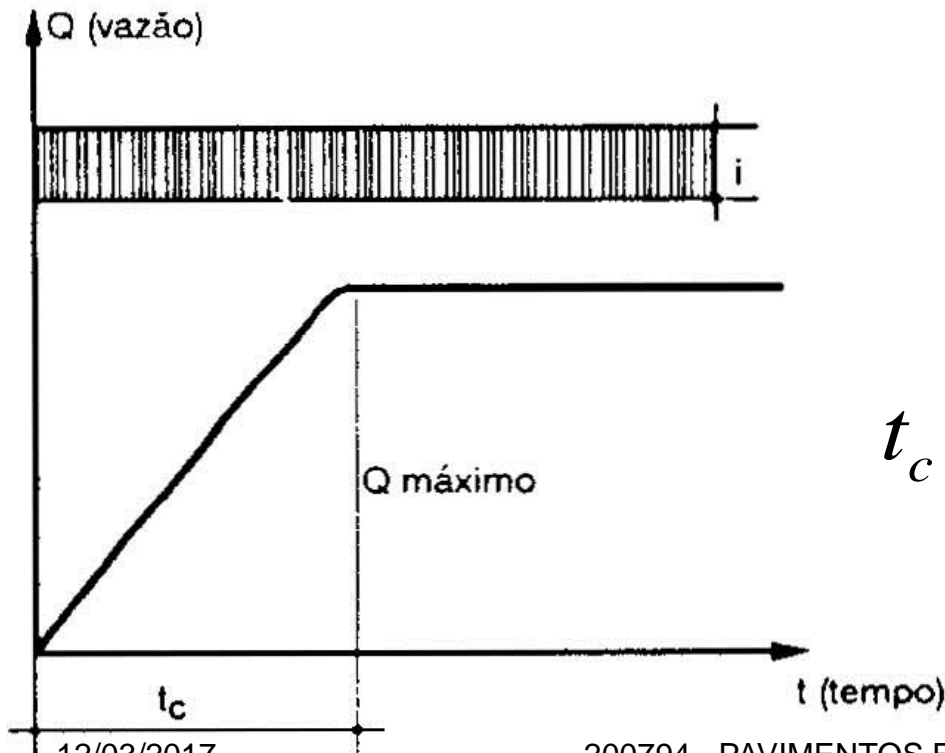
$$i = 1750 \cdot \frac{1}{(t_c + 15)^{0,89}}$$

mm/min

De uma maneira mais precisa, deve-se determinar a equação da intensidade de precipitação para cada região.

O TEMPO DE CONCENTRAÇÃO (t_c)

- Depende da máxima diferença de cotas (H, em metros), e do comprimento do talvegue da bacia (L, em km).
- **Mínimo: 10 minutos**



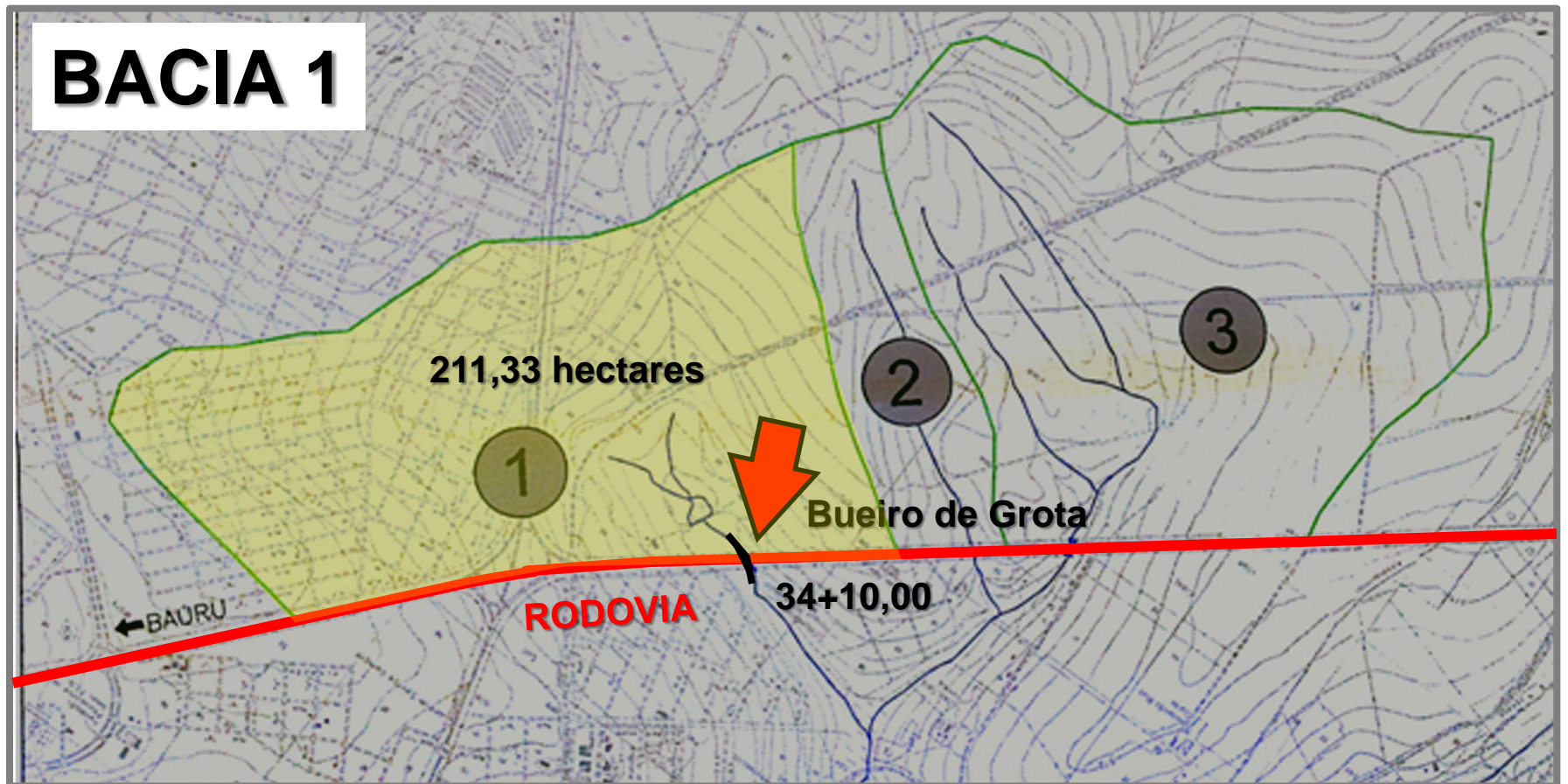
$$t_c = 57 \left[\sqrt{\frac{L^3}{H}} \right]^{0,77} \quad (\text{min})$$

O PERÍODO DE RETORNO

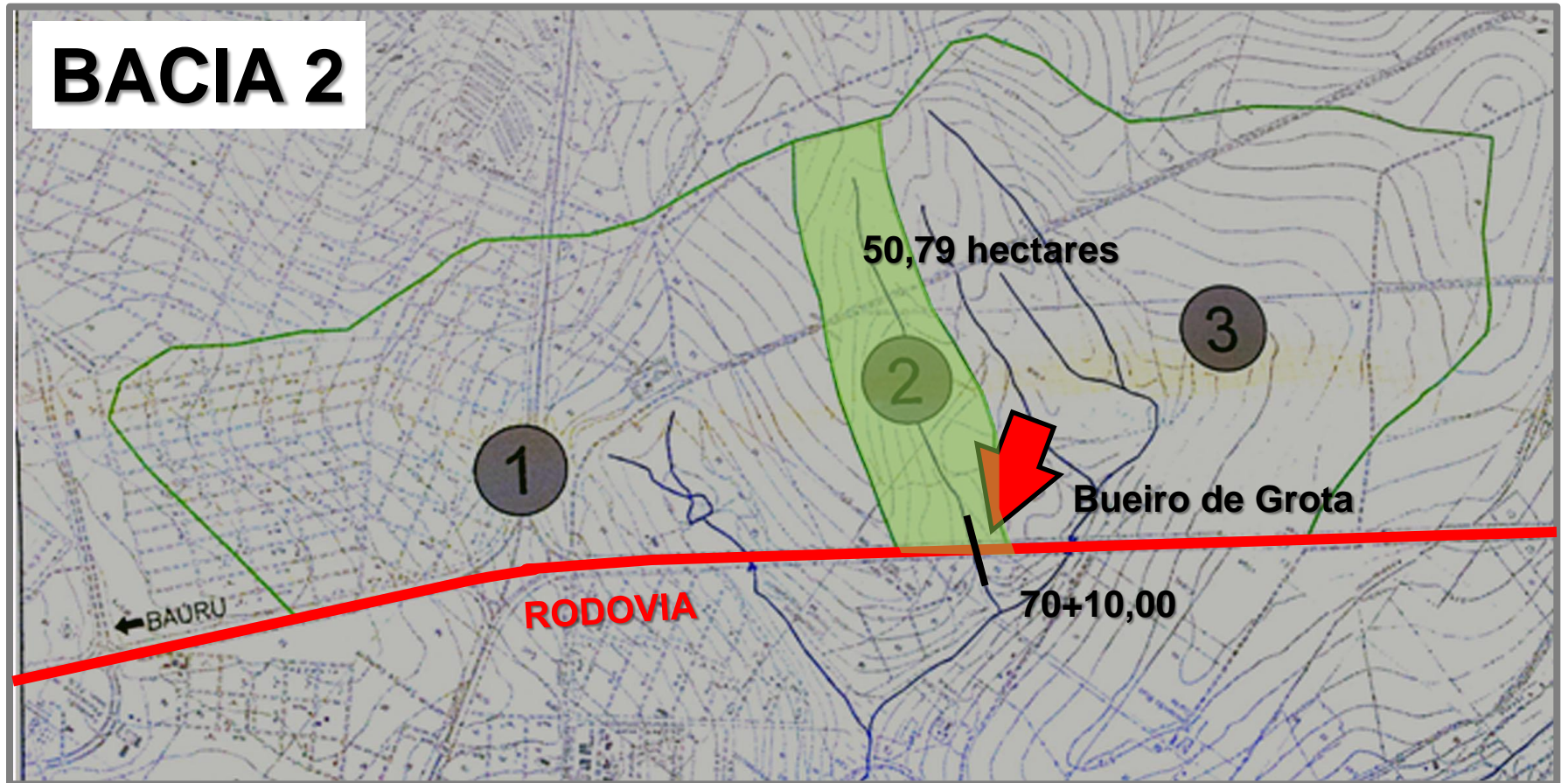
$$T = \frac{1}{\text{Frequência de ocorrência de chuva}}$$

- É o elemento que “traduz” o risco.
- Sarjetas, valetas, **$T = 5$ a 10 anos**
- Bueiros, **$T = 10$ a 100 anos**

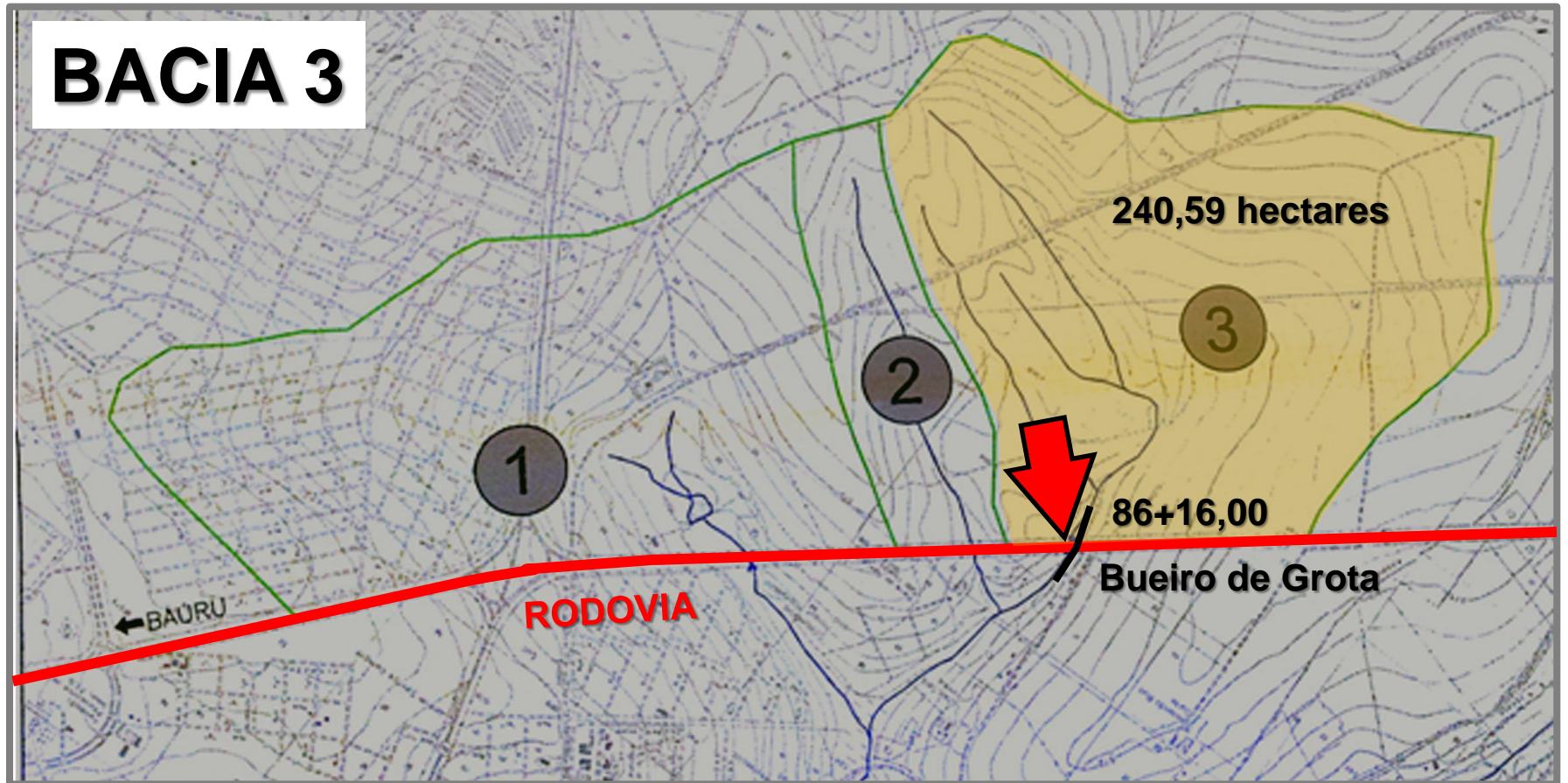
BACIAS



BACIAS

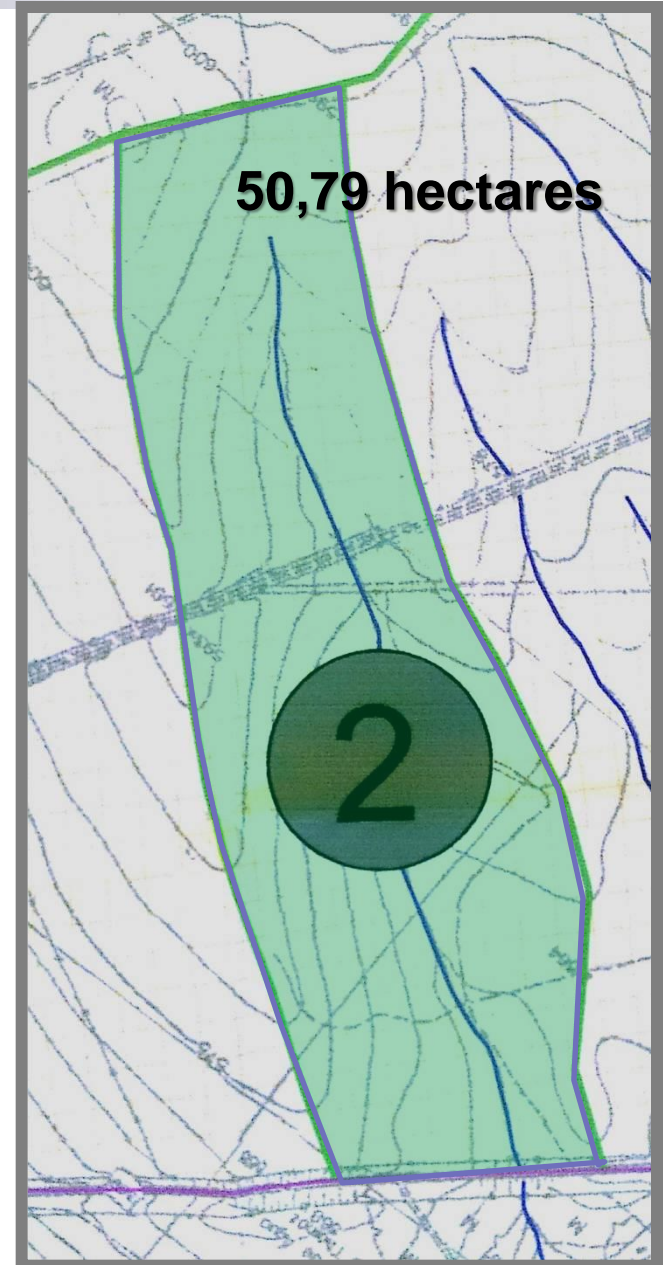


BACIAS



EXEMPLO

Para o projeto apresentado, pede-se calcular a vazão para a **BACIA 2** utilizando-se a equação geral de intensidade de precipitações para o Estado de São Paulo para um período de retorno $T = 25$ anos.

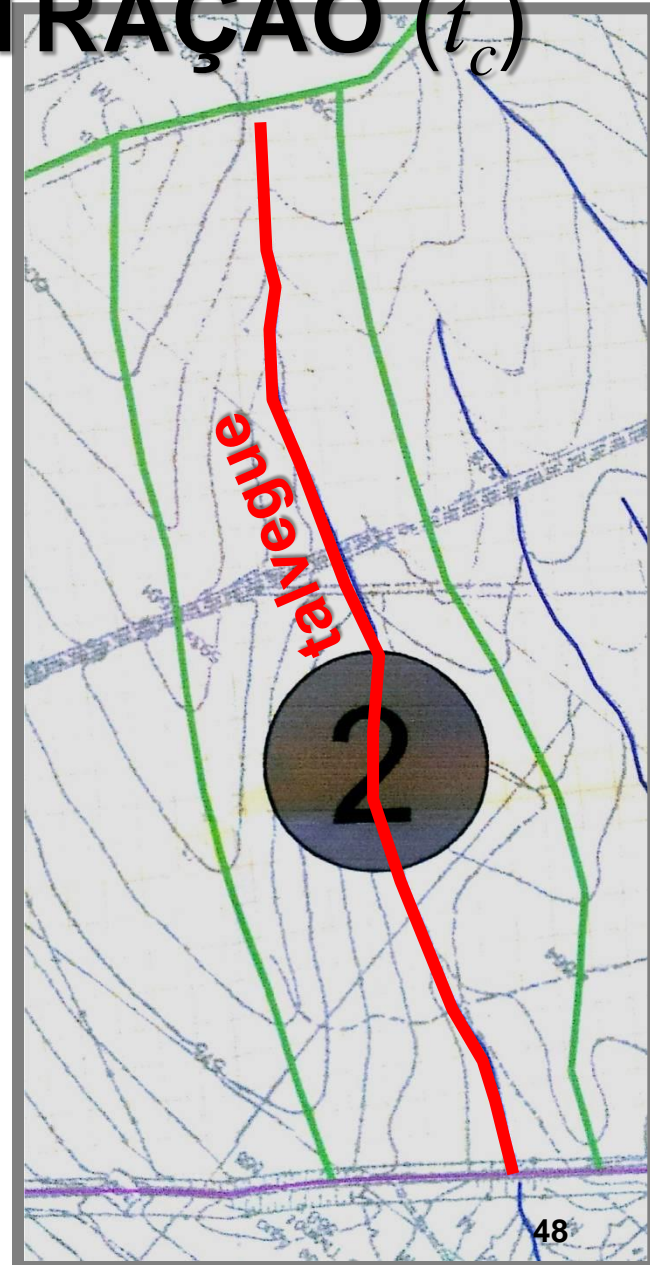


O TEMPO DE CONCENTRAÇÃO (t_c)

$$t_c = 57 \left[\sqrt{\frac{L^3}{H}} \right]^{0,77} \quad (\text{min})$$

1. Determinação do comprimento do talvegue " L ", em km .

$$L = 1,30 \text{ km}$$



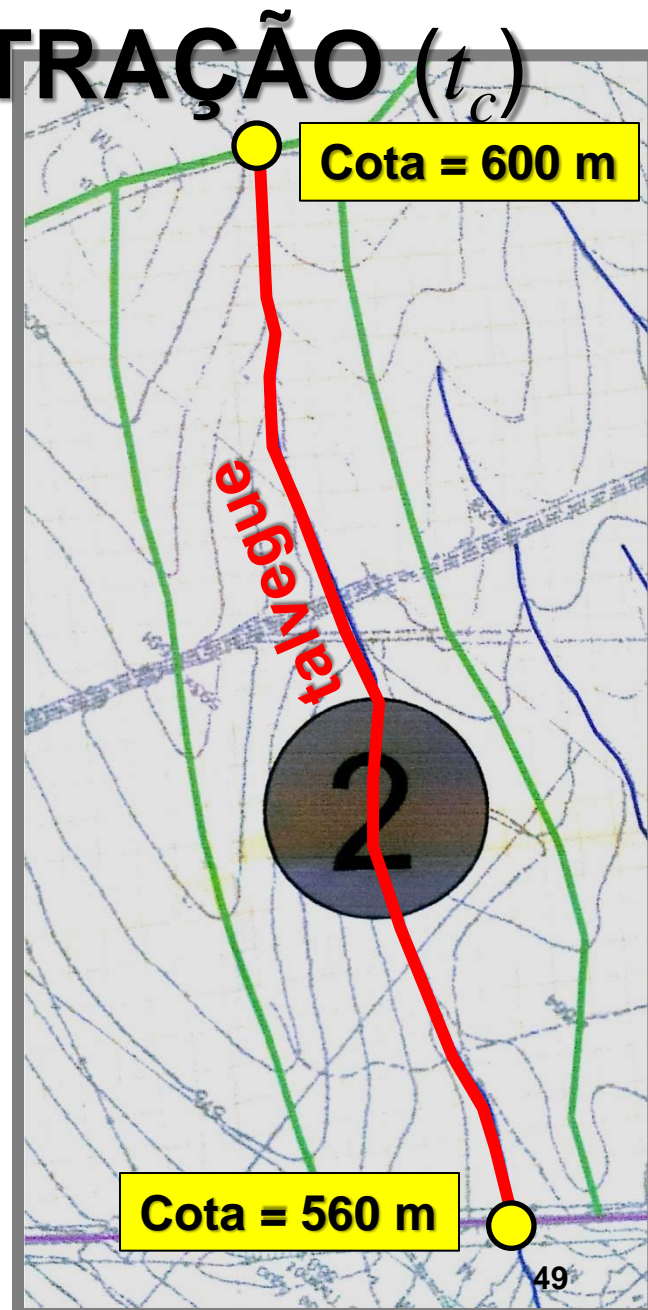
O TEMPO DE CONCENTRAÇÃO (t_c)

$$t_c = 57 \left[\sqrt{\frac{L^3}{H}} \right]^{0,77} \quad (\text{min})$$

2. Determinação do desnível “ H ” no talvegue, em m .

$$H = (600 - 560) \text{ m}$$

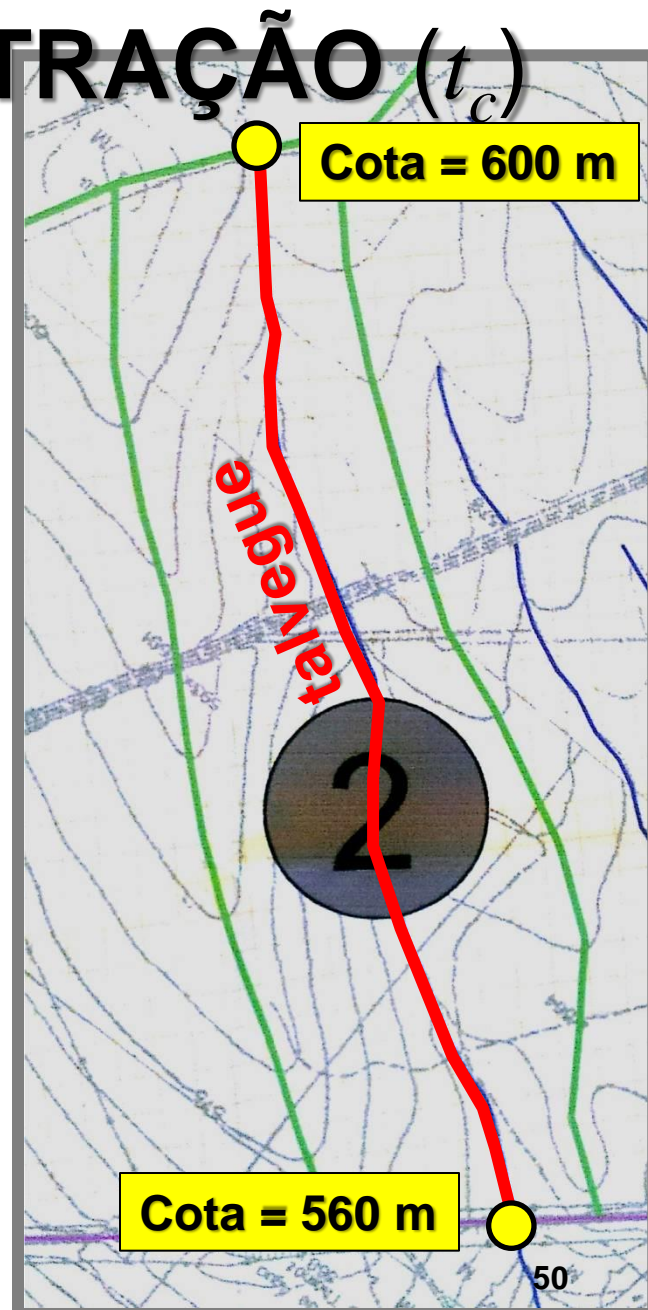
$$H = 40 \text{ m}$$



O TEMPO DE CONCENTRAÇÃO (t_c)

$$t_c = 57 \left[\sqrt{\frac{L^3}{H}} \right]^{0,77} \quad (\text{min})$$

$$t_c = 57 \left[\sqrt{\frac{1,3^3}{40}} \right]^{0,77} \cong 19 > 10 \text{ min}$$



A INTENSIDADE DE PRECIPITAÇÃO

- Fórmula básica considerada válida para o Estado de São Paulo.

$$i = \frac{1750 \times T^{0,181}}{(t_c + 15)^{0,89}} \quad \text{mm/h}$$

- Substituindo $T = 25$ anos e $t_c = 19$ min, temos:

$$i = \frac{1750 \times 25^{0,181}}{(19 + 15)^{0,89}} = 135,8 \quad \text{mm/h}$$

ESTIMATIVA DE VAZÕES

Método racional

$$Q = \frac{c.i.A}{3,6} \quad \text{m}^3/\text{s}$$

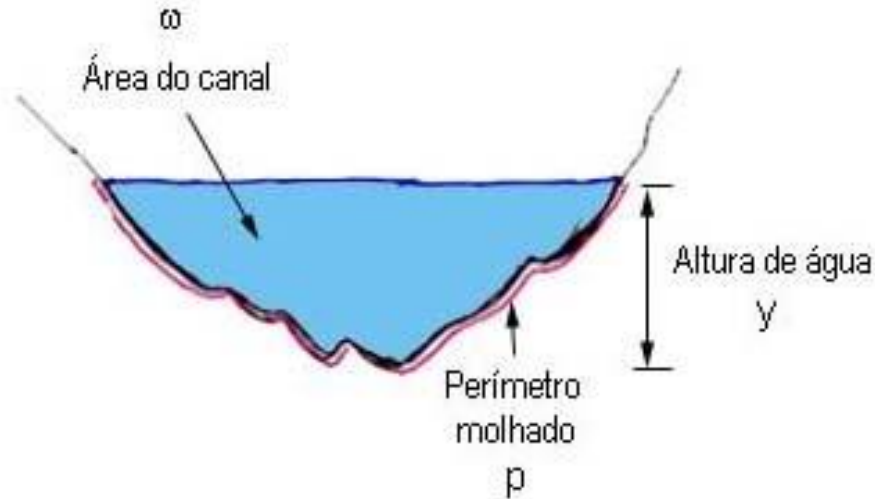
- $c =$ Coeficiente de deflúvio = 0,40
- $i =$ **Intensidade de chuva definida** = 135,8 mm/h.
- $A =$ Área da bacia hidrográfica = 0,5079 km².



$$Q = \frac{0,40 \times 135,8 \times 0,5079}{3,6} = 7,66 \quad \text{m}^3/\text{s}$$

A ESTIMATIVA DE VAZÕES

Manning



- Q = vazão
- n = coeficiente de rugosidade de Manning
- I = declividade longitudinal do canal
- ω = área do canal
- r = raio hidráulico

$$\frac{nQ}{\sqrt{I}} = \omega r^{\frac{2}{3}}$$

$$r = \frac{\omega}{p}$$

MAS !!!!!

- O fundo do canal não pode ser erodido pela água, ou:

$$V_{\text{manning}} < V_{\text{erosão de material do fundo do canal}}$$

E,

- O material em suspensão não pode ser sedimentado no fundo do canal:

$$V_{\text{mannig}} > V_{\text{sedimentação de material em suspensão}}$$

VELOCIDADES MÁXIMAS EM CANAIS

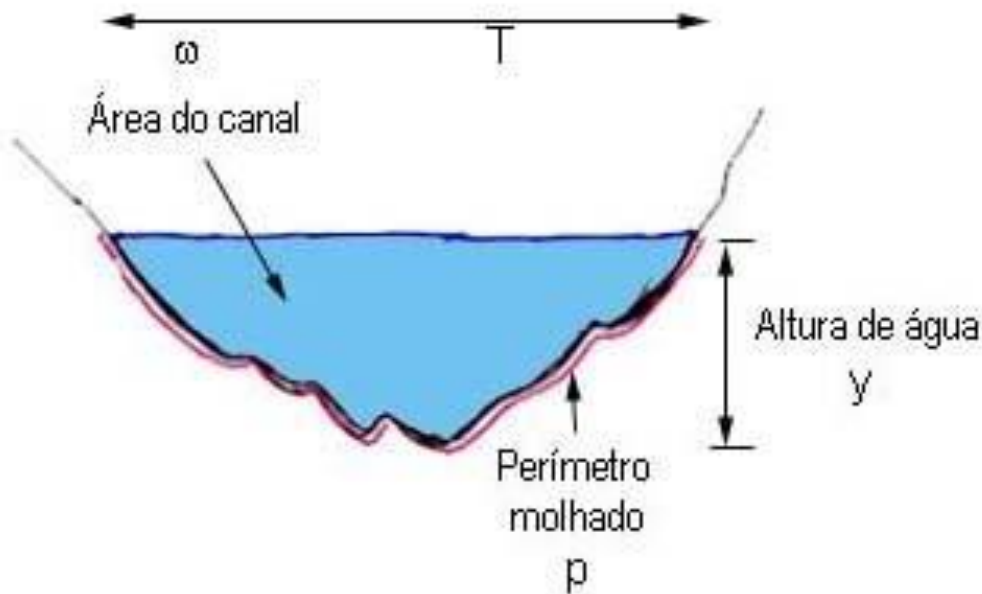
MATERIAL	VELOCIDADE EM m/s
Aglomerados consistentes.	2,00
Alvenaria de tijolos.	2,50
Rocha sã.	4,00
Concreto de cimento portland.	4,00
Grama ¹ (declive 0 a 5%).	2,40 – 1,80
Grama ¹ (declive 5 a 10%).	2,10 – 1,50
Grama ¹ (declive acima de 10%).	1,80 – 1,20

1 – Use o valor maior para solos resistentes à erosão e o valor menor para solos facilmente erodíveis.

VELOCIDADES MÁXIMAS EM CANAIS

MATERIAL	Velocidade permissível máxima para (em m/s)		
	ÁGUA LIMPA	ÁGUA CARREGANDO DOS SILTES FINOS	ÁGUA CARREGANDO AREIA E PEDREGULHO
Areia Fina (não coloidal).	0,46	0,76	0,46
Loam arenoso (não coloidal).	0,52	0,76	0,61
Loam siltooso (não coloidal).	0,61	0,91	0,61
Loam comum.	0,76	1,07	0,67
Cinza vulcânica.	0,76	1,07	0,61
Pedregulho fino.	0,76	1,52	1,13
Argila dura (muito coloidal).	1,13	1,52	0,91
Graduado de Loam a seixo (não coloidal).	1,13	1,52	1,52
Graduado de silte a seixo (coloidal).	1,22	1,67	1,52
Silte de aluvião (não coloidal).	0,61	1,07	0,61
Silte de aluvião (coloidal).	1,13	1,52	0,91
Pedregulho grosso (não coloidal).	1,22	1,83	1,98
Seixos e cascalhos.	1,52	1,67	1,98
Xistos e solos impermeáveis.	1,83	1,83	1,52

O REGIME DE FLUXO



- O número de Froude
- $F_R = 1$, fluxo crítico
- $F_R > 1$, fluxo turbulento
- $F_R < 1$, fluxo fluvial

$$D = \frac{\omega}{T} \quad F_R = \frac{V}{\sqrt{gD}}$$

O REGIME DE FLUXO



Procurar junto a matéria de **HIDROLOGIA** os dados necessários para o cálculo da vazão e o dimensionamento dos elementos de drenagem.



F I M

Boa semana !!!

Sugestões de coeficientes de escoamento

TIPO DE SUPERFÍCIE	COEFICIENTE DE <i>RUNOFF</i> (C)*
ÁREAS RURAIS	
Revestimento de concreto asfáltico.	0,8 – 0,9
Revestimento de macadame asfáltico.	0,6 – 0,8
Acostamento ou estradas com pedregulho.	0,4 – 0,6
Terra sem revestimento.	0,2 – 0,9
Áreas gramadas com declive (2:1).	0,5 – 0,7
Prados.	0,1 – 0,4
Áreas com matas.	0,1 – 0,3
Campos cultivados.	0,2 – 0,4

