

Universidade Regional do Cariri – URCA
Pró – Reitoria de Ensino de Graduação
Coordenação da Construção Civil



SECONSTEC

II Semana da Construção Civil e Tecnologia

Drenagem de Rodovias

Introdução

Prof. MSc. Renato de Oliveira Fernandes

Professor Assistente

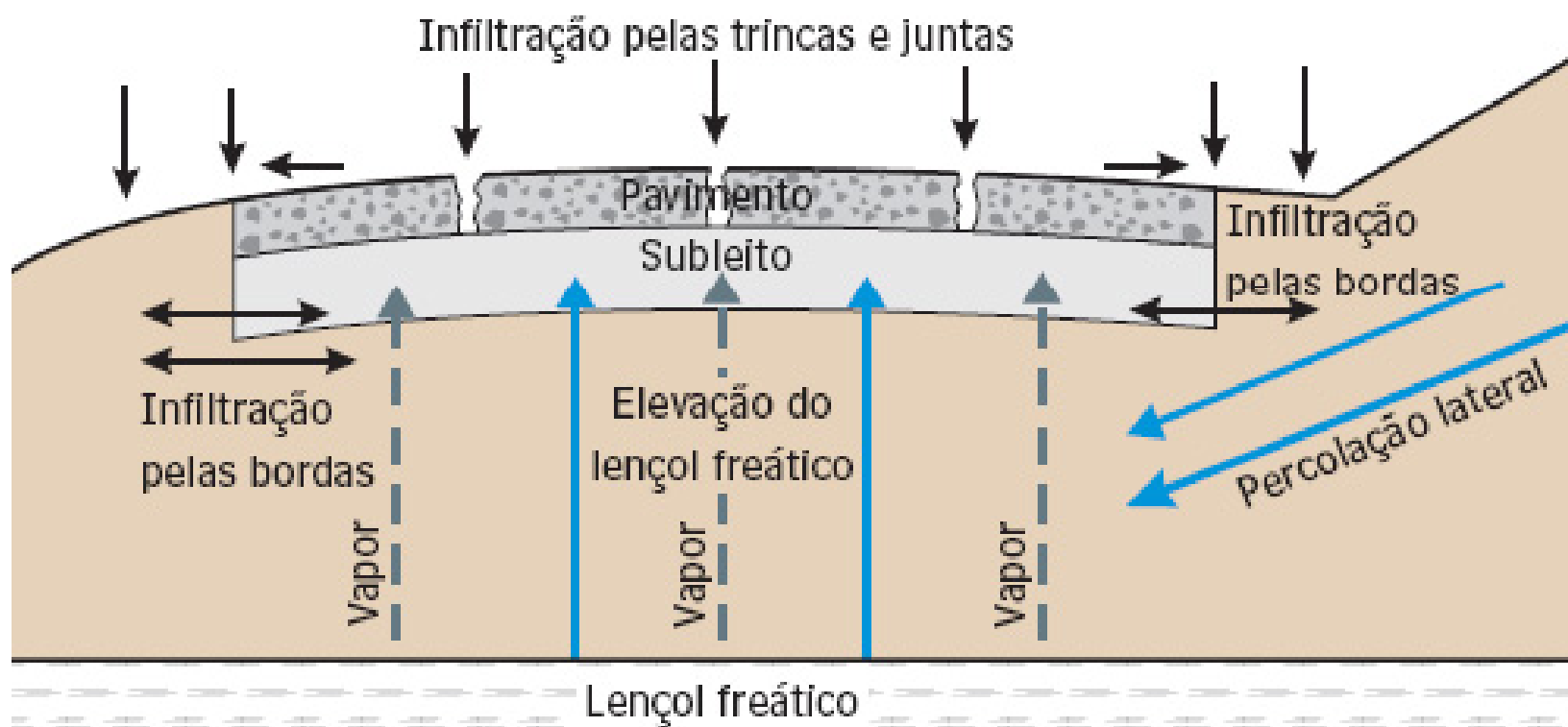
Dep. de Construção Civil/URCA

renatodeof@gmail.com

Água e os pavimentos

- A penetração da água nas camadas inferiores de um pavimento acelera a sua degradação (redução da vida útil).
- Água na superfície do pavimento gera instabilidade no tráfego (redução da segurança).

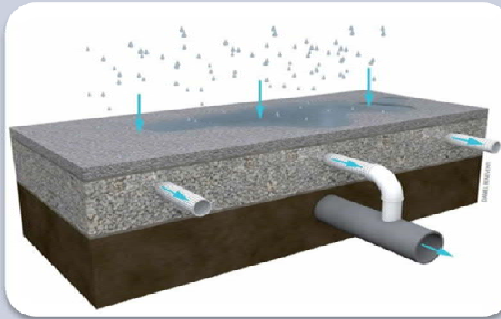
Fontes de água na estrutura do pavimento



Tipos de drenagem



Drenagem
Superficial

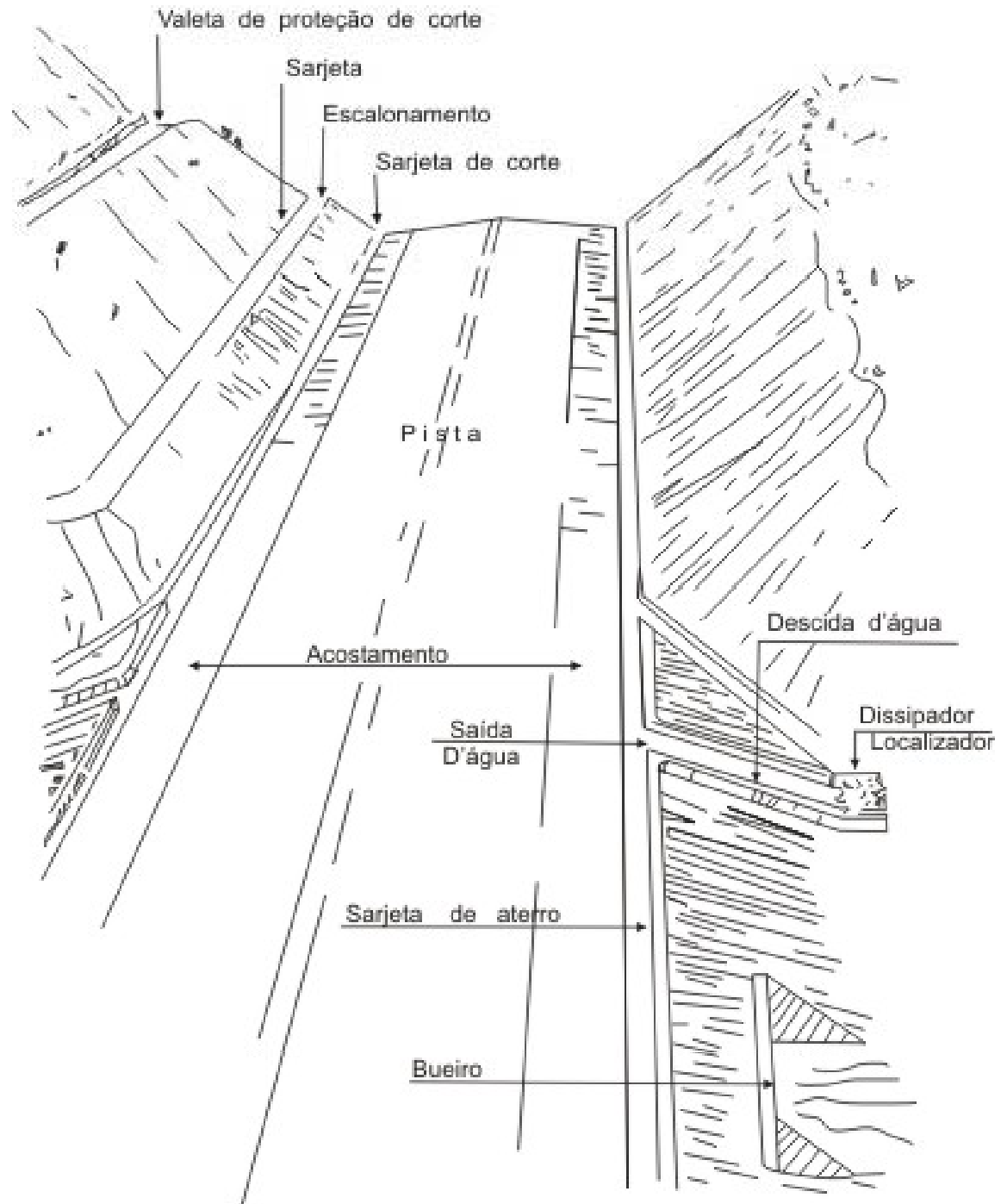


Drenagem
Subsuperficial

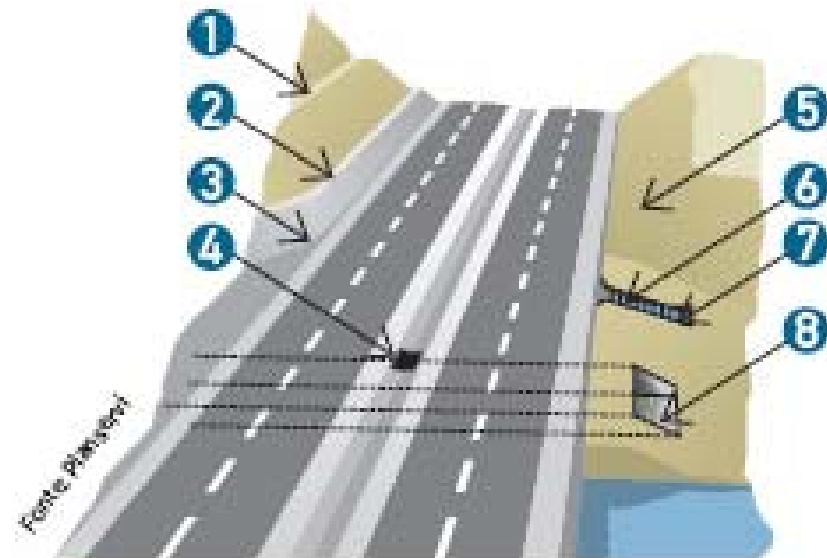


Drenagem
Subterrânea
ou Profunda

Drenagem Superficial

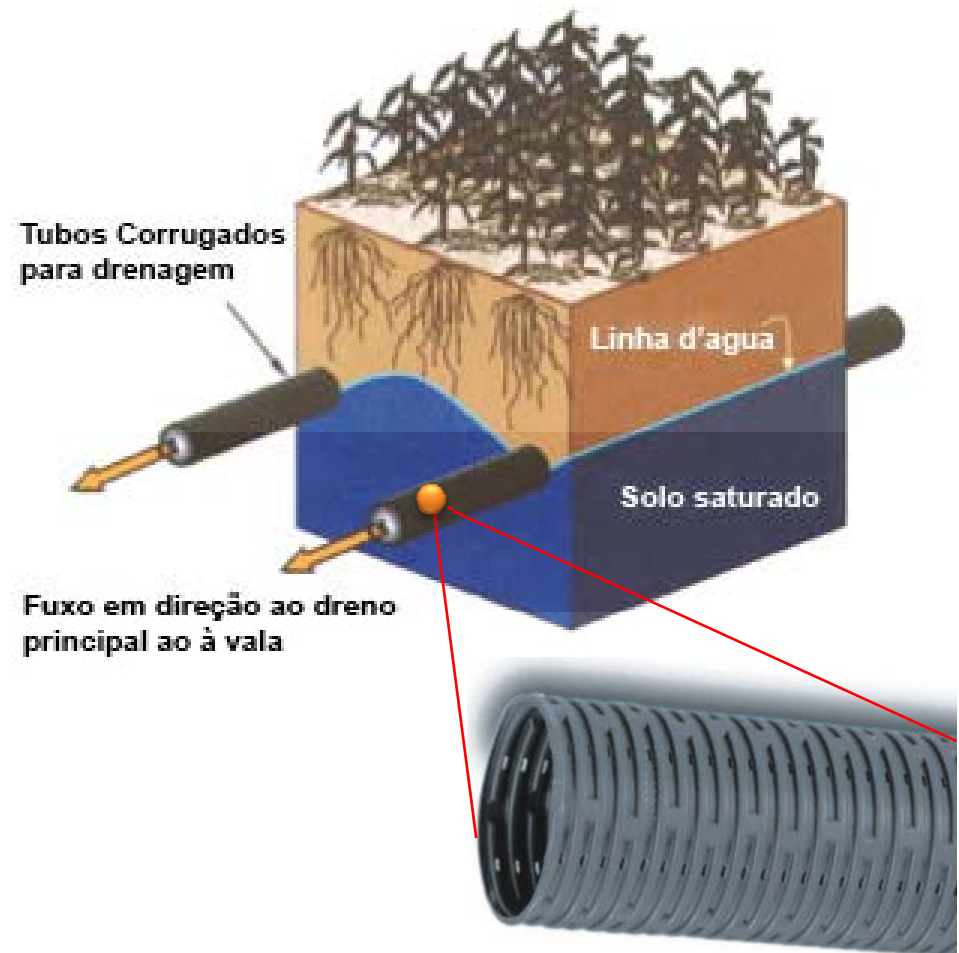
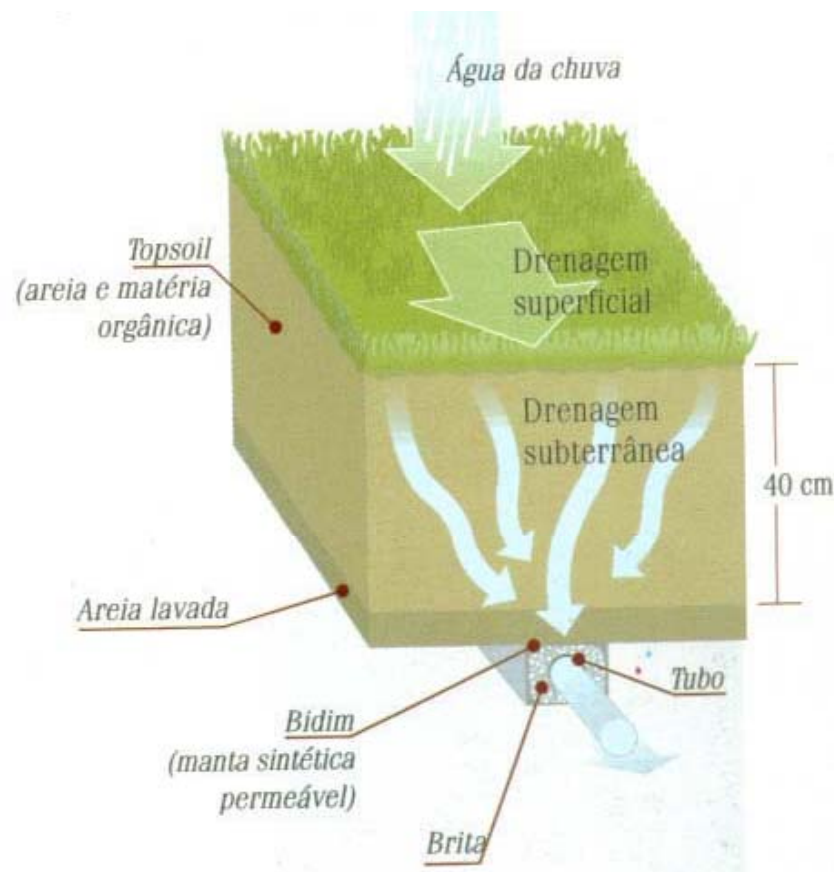


Dispositivos de drenagem

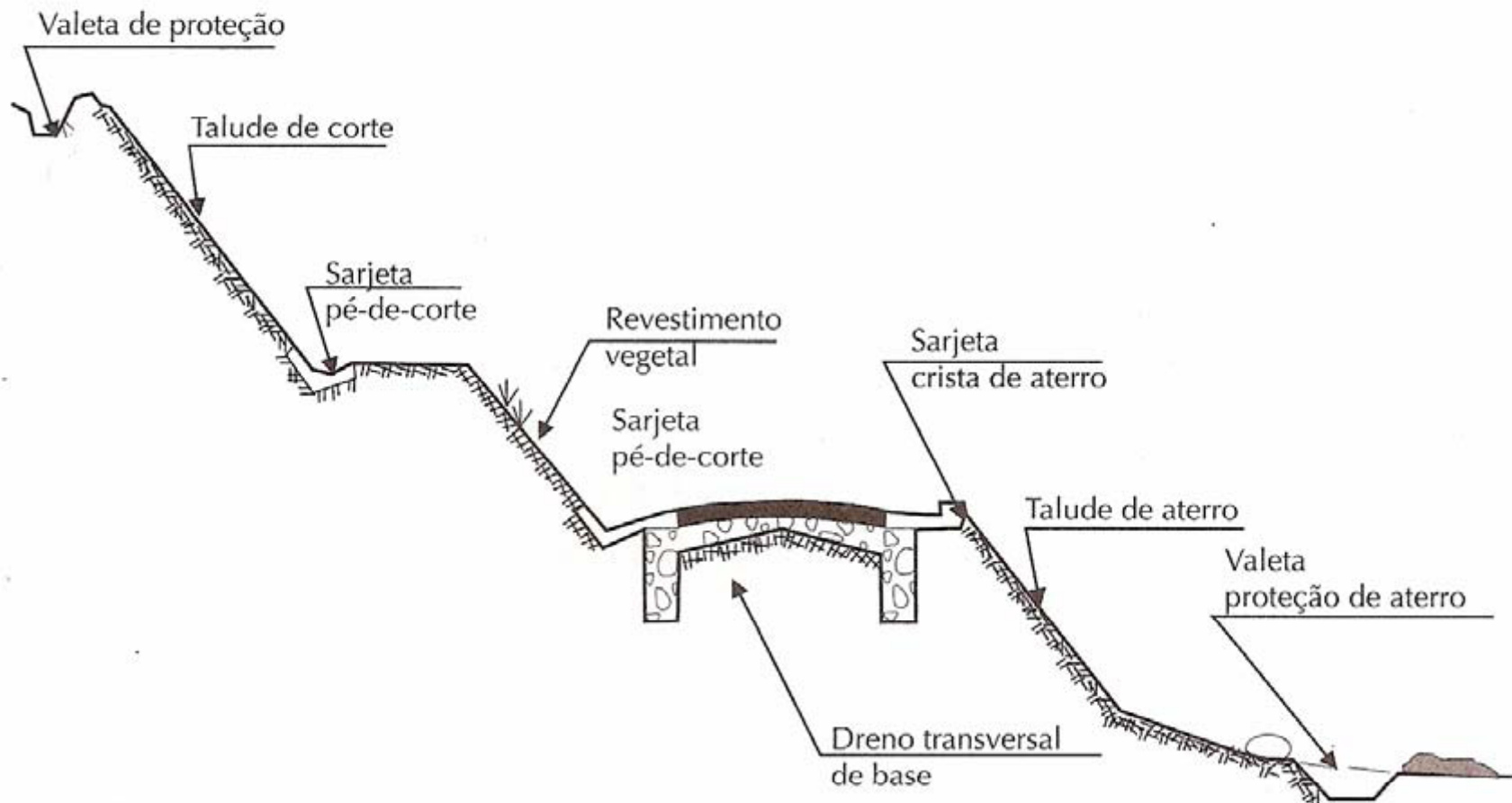


- ① Valeta de proteção de corte
- ② Escalonamento
- ③ Sarjeta de corte
- ④ Caixa do canteiro central
- ⑤ Talude de aterro
- ⑥ Descida d'água
- ⑦ Dissipador
- ⑧ Bueiro ou ponte

Drenagem Subsuperficial e Subterrânea



Dispositivos de drenagem



Áreas do conhecimentos

Hidrologia

- Climatologia de chuva da região
- Geração e propagação de vazões
- Água superficial, subsuperficial e subterrânea (escoamento)

Hidráulica

- Dimensionamentos de canais (galerias , bueiros e sarjetas)
- Dimensionamento de boca de lobo

Drenagem Superficial

Chuva de projeto

- Obtenção e processamento de dados de chuva;
- Período de retorno;
- Eq. De chuva intensa;
- Curva IDF

Vazão de Projeto

- Área de drenagem;
- Propagação de vazão;
- Método Racional;
- Método SCS;

Dimensionamento dos dispositivos de drenagem

- Dimensionamento de bueiros;
- Dimensionamento de galerias;
- Dimensionamento de sarjetas de corte e aterro;

Drenagem Subsuperficial e Profunda

Fluxo Subterrâneo

- Escoamento em meio poroso

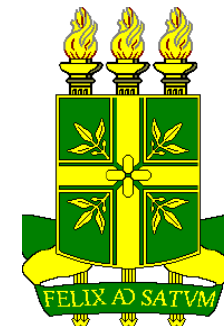
Vazão de projeto

- Lei de Darcy;
- Coeficiente de permeabilidade;

Dimensionamento de Drenos

- Drenos profundos horizontais;
- Camada drenante;

Universidade Regional do Cariri – URCA
Pró – Reitoria de Ensino de Graduação
Coordenação da Construção Civil



II Semana da Construção Civil. 26 a 30/11/2012

Drenagem de Rodovias

Chuva de Projeto

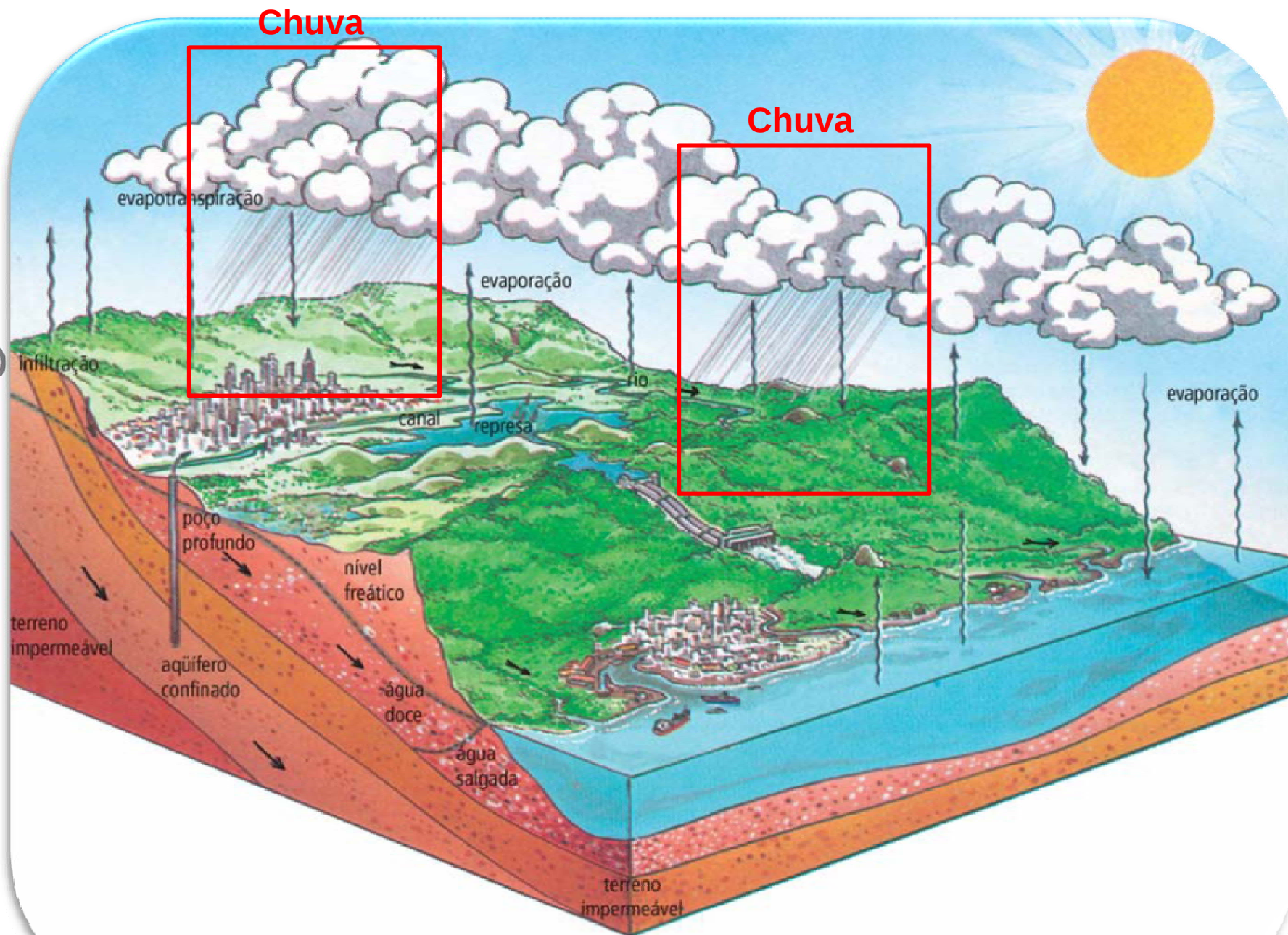
Prof. MSc. Renato de Oliveira Fernandes

Professor Assistente

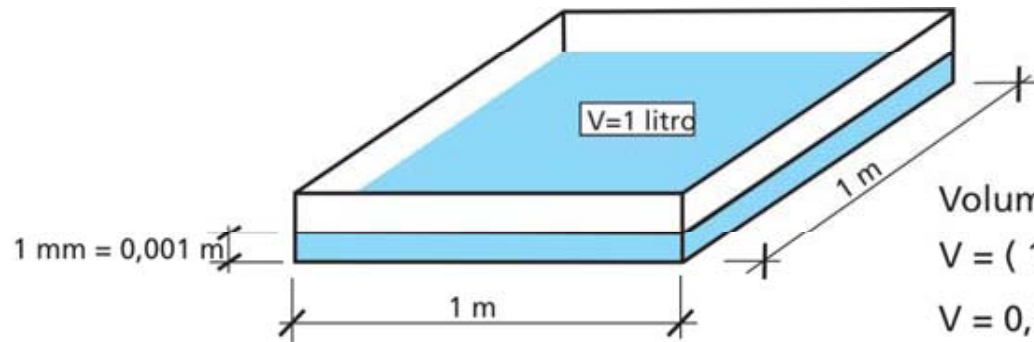
Dep. de Construção Civil/URCA

renatodeof@gmail.com

Ciclo Hidrológico



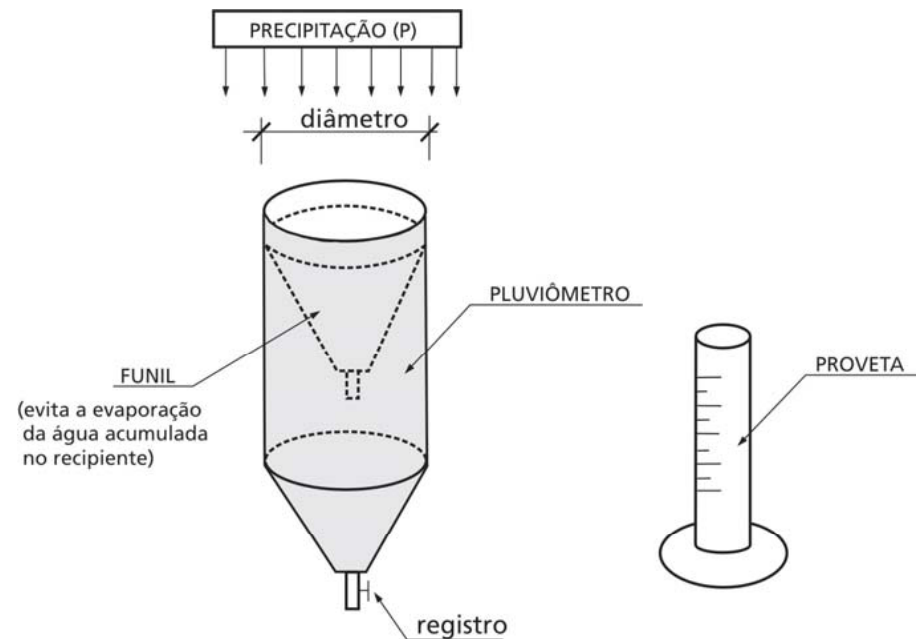
1 mm de chuva...



Volume (V) = Área (m²) x Altura da lâmina d'água (m)

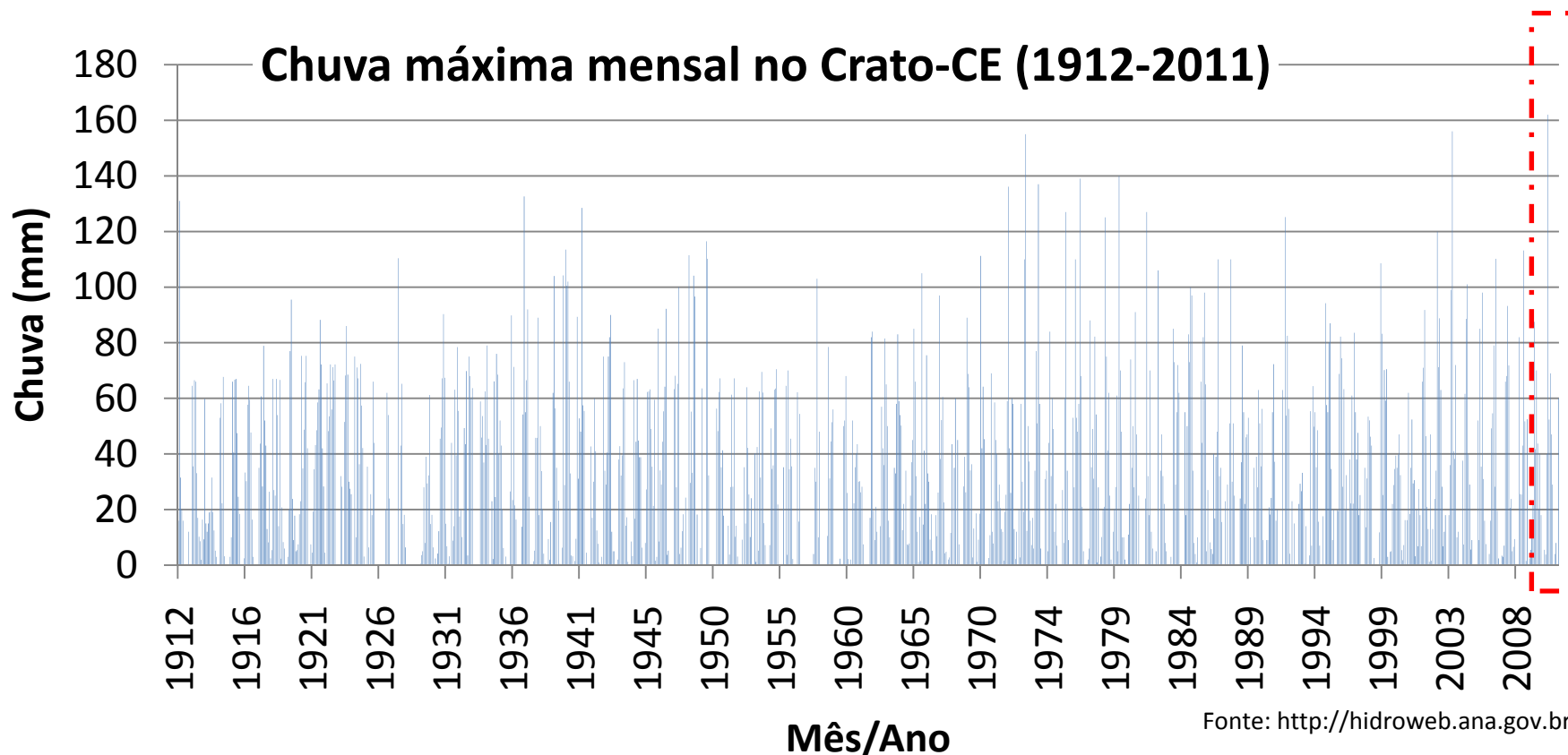
$$V = (1 \text{ m} \times 1 \text{ m}) \times 0,001 \text{ m}$$

$$V = 0,001 \text{ m}^3 = 1 \text{ litro}$$



Série Histórica de Precipitação

- Olhando para o passado para projetar as obras do futuro...



Obtenção e tratamento de dados de chuva



Fonte: <http://hidroweb.ana.gov.br/>

Chuva de Projeto

- A chuva de projeto (chuva máxima) está associado ao um período de retorno.
 - A escolha do período de retorno (T) serve para compatibilizar os fatores de segurança (risco de falha) com os fatores econômicos (períodos de retorno altos estão associados com chuva de projeto de grande intensidade e conseqüentemente obras superdimensionadas – onerosa financeiramente).

Período de Retorno da Chuva de Projeto (ou chuva máxima)

- Ao adotar um período de retorno (T) associado a uma chuva máxima, supõe-se que a vazão gerada por essa chuva tenha o mesmo período de retorno.

$$T = 1/P$$

Observe que na série histórica de chuva máxima do Crato-CE, a chuva de 162 mm ocorrido em 2011, teve uma probabilidade (P) de 1% (1/100 anos). Assim, T=100 anos.

Período de Retorno da Chuva de Projeto (ou chuva máxima)

- O período de retorno depende das características do projeto e dos potenciais prejuízos que traria uma eventual falha, em que a vazão superasse a vazão utilizada no dimensionamento.
- Caso os prejuízos potenciais sejam elevados, deve-se adotar um período de retorno alto, em caso contrário deve-se adotar um tempo de retorno baixo

Equação de chuva intensa no Brasil

- Equação geral (Otto Pfafstetter, 1982)

$$i_m = \frac{K.T^a}{(t+b)^c}$$

i – intensidade máxima da chuva (mm/h)

T - período de retorno (anos)

t – duração da chuva (min.)

a, b, K e c – são parâmetros locais

Parâmetros da equação de chuvas intensas com o uso do software Plúvio (DEA - UFRV)

$$i_m = \frac{K.T^a}{(t+b)^c}$$

LOCALIZAÇÃO:

Localidade: Quixeramobim

Latitude: 05°12'00"

Longitude: 39°18'00"

PARÂMETROS DA EQUAÇÃO:

K: 2847,22

a: 0,3

b: 43

c: 0,97

Plúvio 2.1 - Estado: Ceará

Mapa do Brasil Relatório Ajuda

Estados: Ceará

Estações:

- Fortaleza
- Quixeramobim

Quixeramobim

Latitude: 05°12'00"

Longitude: 39°18'00"

DENARDIN e FREITAS (1982)

Relatório Ajuda

Cancelar Fechar

Parâmetros da Equação IDF

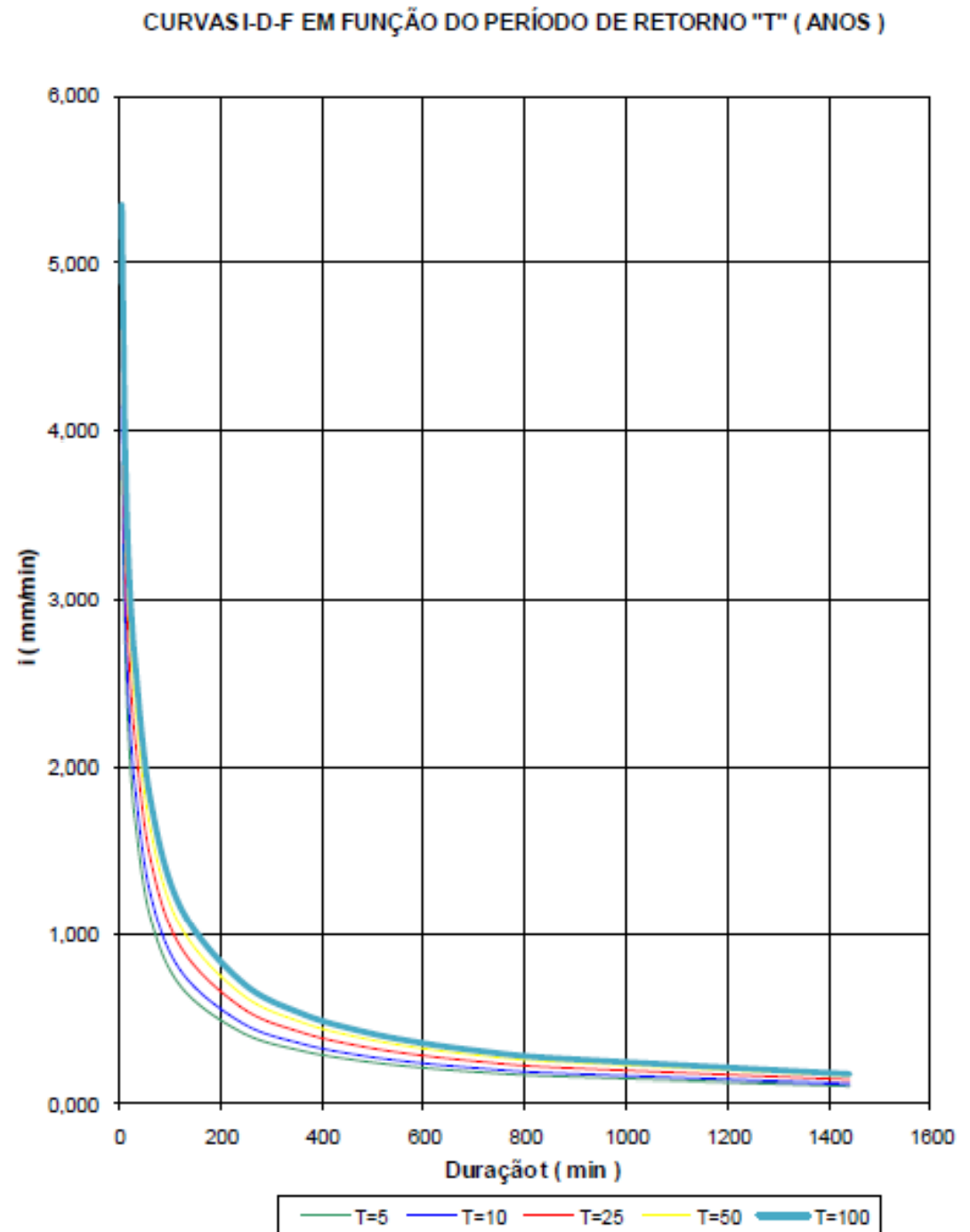
K: 2847,22 a: 0,3

b: 43 c: 0,97

Latitude: 00°00'00" Longitude: 00°00'00" Calcular

Curvas IDF

(Intensidade, Duração e Frequência)



Períodos de Retorno Usados

Estrutura	T (anos)
Bueiros de estradas pouco movimentadas	5 a 10
Bueiros de estradas muito movimentadas	50 a 100
Pontes	50 a 100
Diques de proteção de cidades	50 a 200
Drenagem pluvial	2 a 10
Grandes barragens (vertedor)	10000
Pequenas barragens	100
Micro-drenagem de área residencial	2
Micro-drenagem de área comercial	5

Universidade Regional do Cariri – URCA
Pró – Reitoria de Ensino de Graduação
Coordenação da Construção Civil



II Semana da Construção Civil. 26 a 30/11/2012

Drenagem de Rodovias

Vazão de Projeto

Prof. MSc. Renato de Oliveira Fernandes

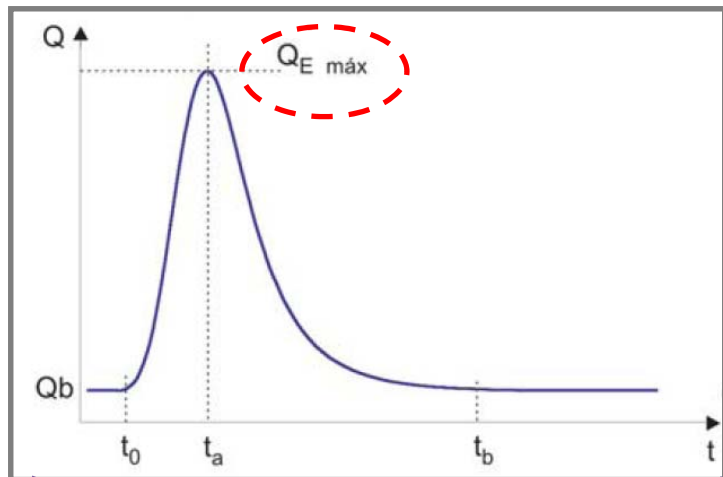
Professor Assistente

Dep. de Construção Civil/URCA

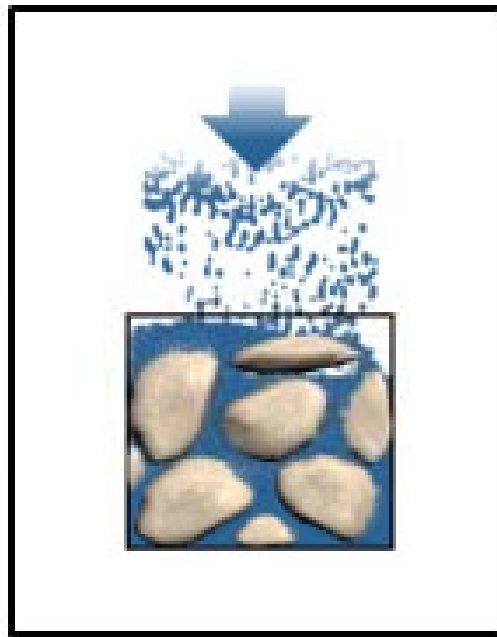
renatodeof@gmail.com

Área de Drenagem (Bacia Hidráulica)

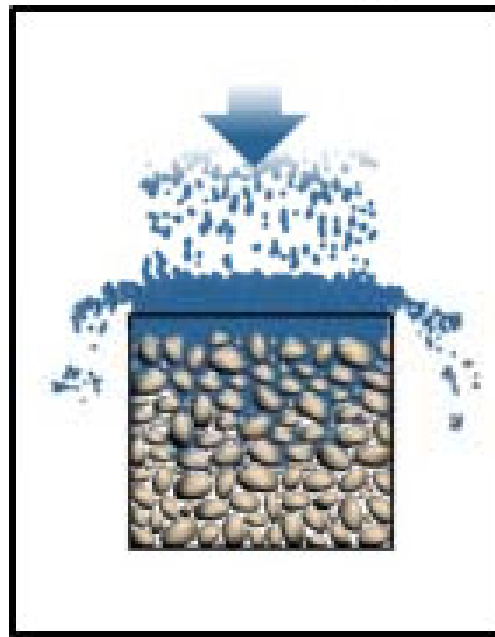
Gráfico da Vazão Gerada



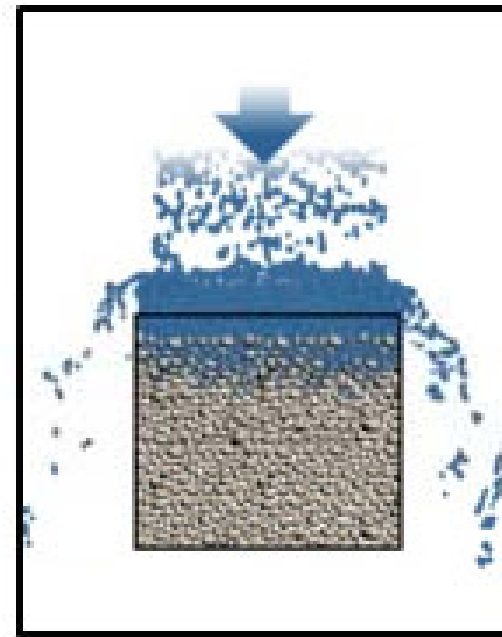
Geração de escoamento



Areia

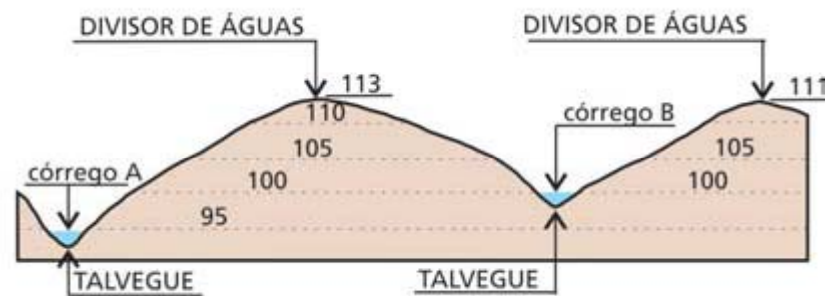
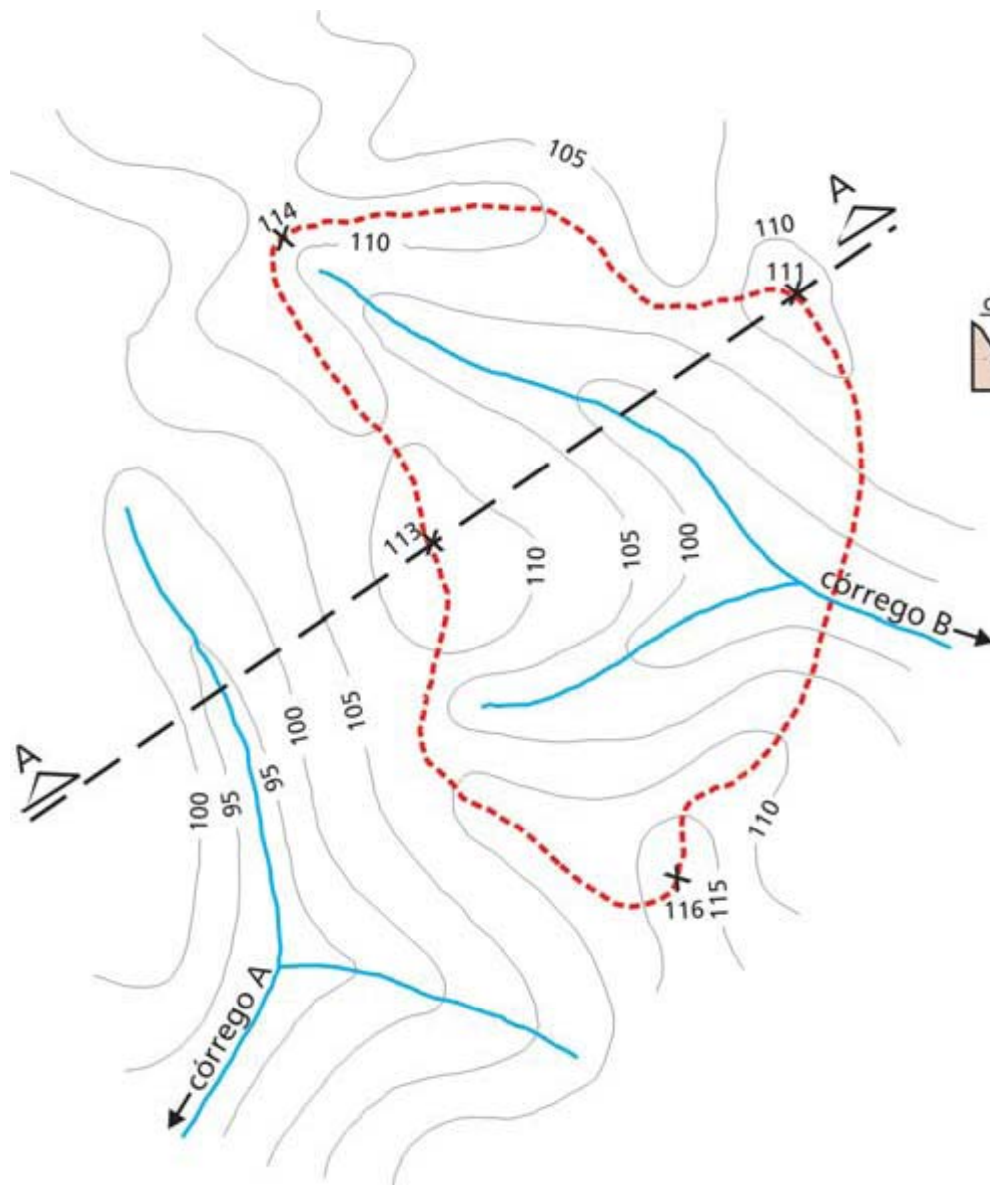


Silte



Argila

Divisor de Água



LEGENDA :

- curva de nível
- curso d'água
- - - divisor de águas

Planta s/ escala

Métodos mais usados para estimativa da vazão de projeto

Área (Km ²)	Método
≤ 10	Racional (simples e modificado)
> 10	Hidrograma Triangular Sintético – SCS

Método Racional

$$Q = \frac{C \cdot i \cdot A}{360}$$

Onde:

Q - vazão de cheia (m³/s);

C - coeficiente de escoamento superficial;

i - intensidade da chuva de projeto (mm/hora);

A - área da bacia hidrográfica de contribuição (ha).

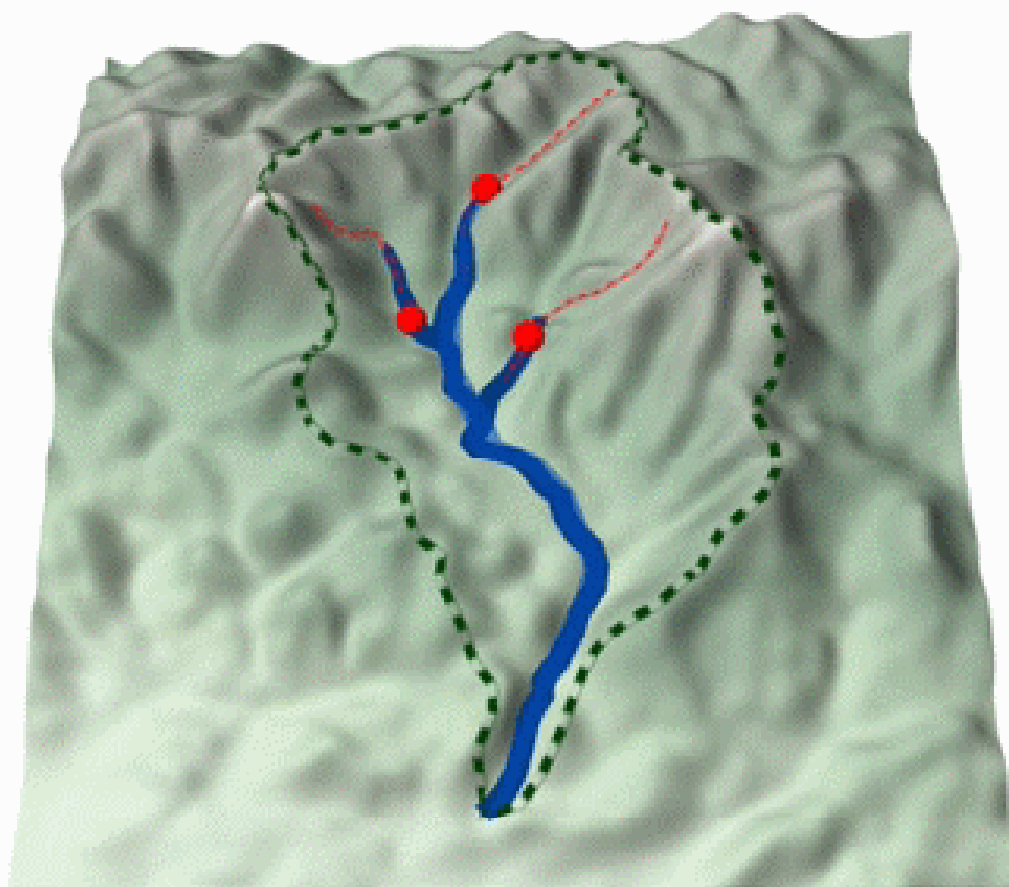
Valores de C de acordo com a ocupação

Zonas	C
Centro da cidade densamente construído	0,70 a 0,95
Partes adjacentes ao centro com menor densidade	0,60 a 0,70
Áreas residenciais com poucas superfícies livres	0,50 a 0,60
Áreas residenciais com muitas superfícies livres	0,25 a 0,50
Subúrbios com alguma edificação	0,10 a 0,25
Matas parques e campos de esportes	0,05 a 0,20

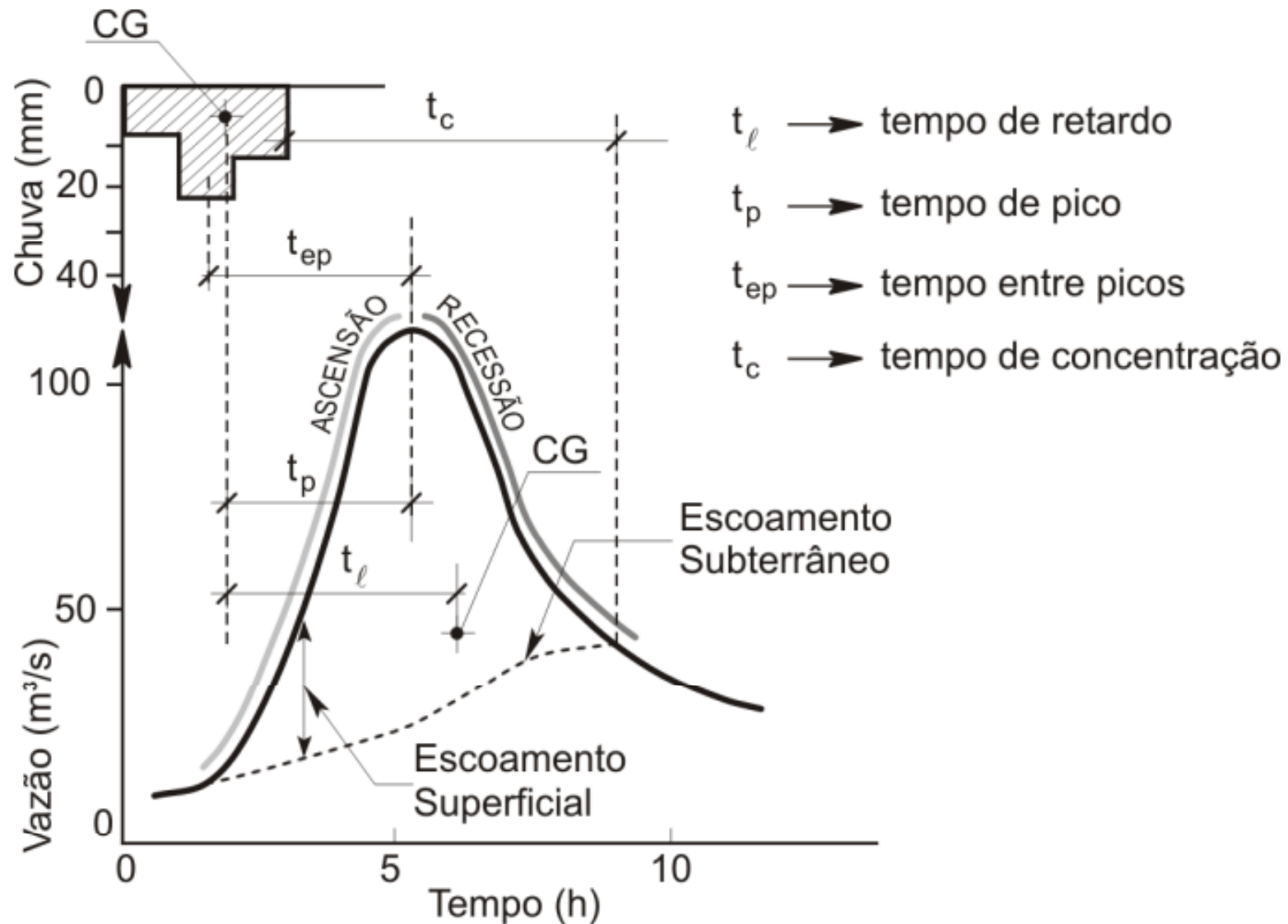
Valores de C para diferentes superfícies

Superfície	intervalo	valor esperado
Asfalto	0,70 a 0,95	0,83
Concreto	0,80 a 0,95	0,88
Calçadas	0,75 a 0,85	0,80
Telhado	0,75 a 0,95	0,85
grama solo arenoso plano	0,05 a 0,10	0,08
grama solo arenoso inclinado	0,15 a 0,20	0,18
grama solo argiloso plano	0,13 a 0,17	0,15
grama solo argiloso inclinado	0,25 a 0,35	0,30
áreas rurais	0,0 a 0,30	

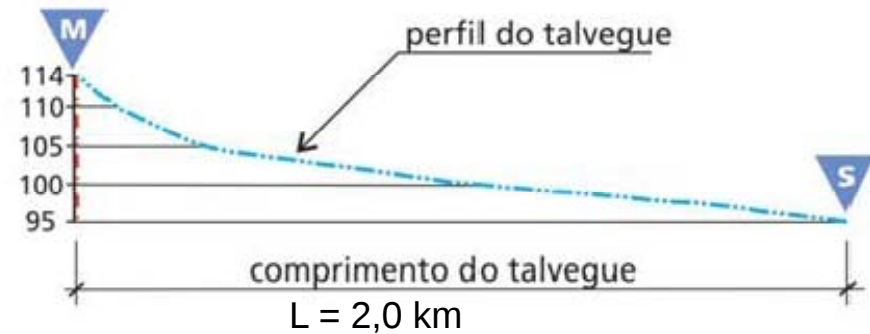
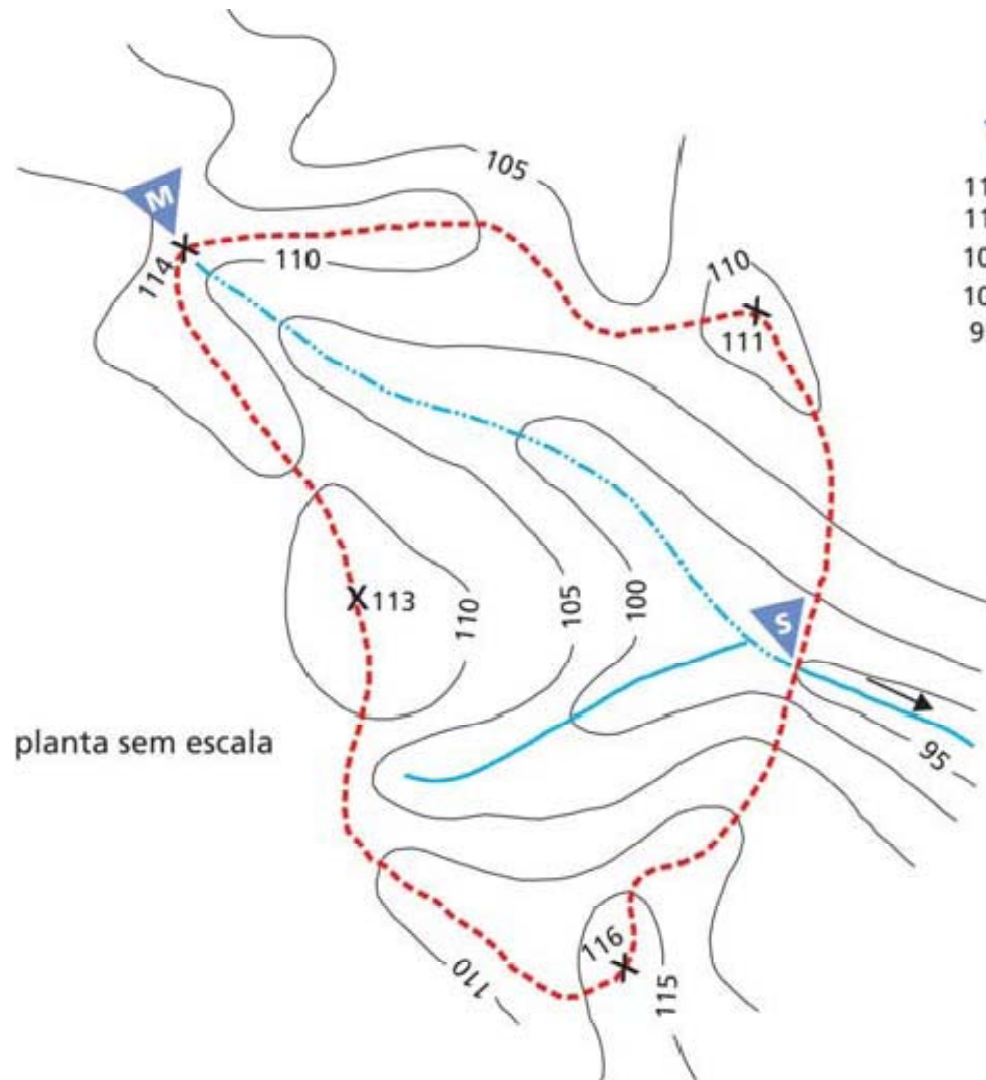
Propagação de vazão



Propagação de vazão



Propagação de Vazões



- curso d'água
- talvegue principal
- curva de nível
- divisor de águas
- ponto mais distante da bacia
- seção de estudo

Determinação do tempo de concentração

- Equação de Kirpich:
$$t_c = 3,98 \frac{L^{0,77}}{D^{0,385}}$$

t_c = tempo de concentração (min);

L = comprimento do rio principal (km);

D = declividade média do rio (adimensional):

L = comprimento total do rio (km)

L_i = comprimento de um trecho do rio (km);

D_i = declividade de um trecho do rio (adimensional)

k = número de trechos

$$D = \left[\frac{L}{\sum_{i=1}^k \frac{L_i}{\sqrt{D_i}}} \right]^2$$

Determinação do tempo de concentração

- Equação “California Culverts Practice”

$$t_c = 57 \left(\frac{L^3}{\Delta h} \right)^{0,385}$$

onde:

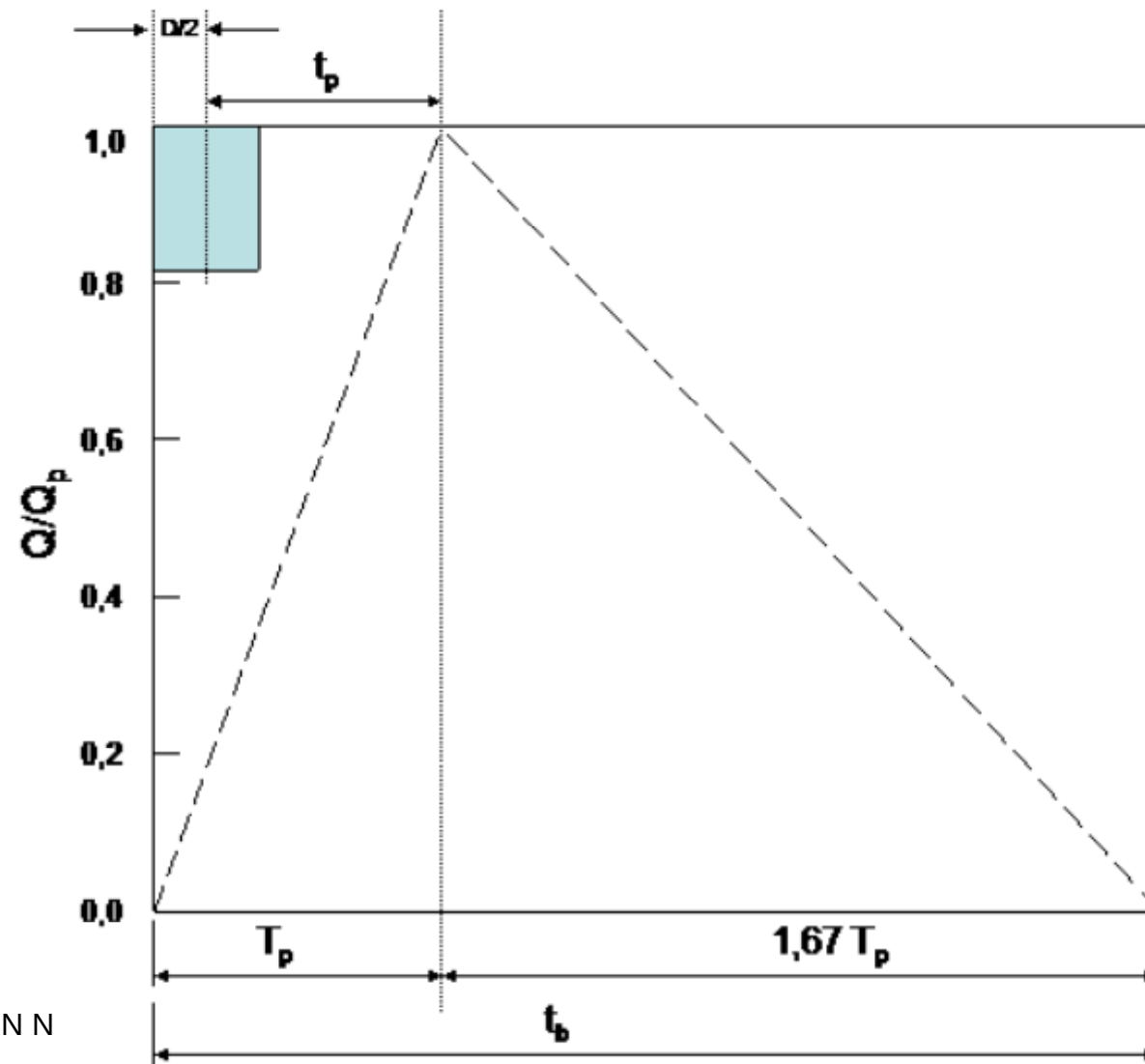
t_c = tempo de concentração (min)

L = comprimento do talvegue do curso d'água (km)

Δh = desnível do talvegue entre a seção e o ponto mais distante da bacia (m)

- Observação: caso $t_c < 10$ min, adotar 10 min

Hidrograma Triangular Sintético (USA SCS)



Fonte: W . COLLISCHONN

Tipos de Solos

Grupo de solo	<i>Características do solo</i>
A	solos arenosos com baixo teor de argila total, inferior a 8%, não havendo rocha nem camadas argilosas e nem mesmo densificadas até a profundidade de 1,5m. O teor de húmus é muito baixo, não atingindo 1% (Porto, 1979 e 1995). Solos que produzem baixo escoamento superficial e alta infiltração. Solos arenosos profundos com pouco silte e argila (Tucci et al, 1993).
B	solos arenosos menos profundos que os do Grupo A e com menor teor de argila total, porém ainda inferior a 15%. No caso de terras roxas, esse limite pode subir a 20% graças à maior porosidade. Os dois teores de húmus podem subir, respectivamente, a 1,2 e 1,5%. Não pode haver pedras e nem camadas argilosas até 1,5m, mas é, quase sempre, presente camada mais densificada que a camada superficial (Porto, 1979 e 1995) Solos menos permeáveis do que o anterior, solos arenosos menos profundo do que o tipo A e com permeabilidade superior à média (Tucci et al, 1993).
C	solos barrentos com teor total de argila de 20% a 30%, mas sem camadas argilosas impermeáveis ou contendo pedras até profundidade de 1,2m. No caso de terras roxas, esses dois limites máximos podem ser de 40% e 1,5m. Nota-se a cerca de 60cm de profundidade, camada mais densificada que no Grupo B, mas ainda longe das condições de impermeabilidade (Porto, 1979 e 1995). Solos que geram escoamento superficial acima da média e com capacidade de infiltração abaixo da média, contendo percentagem considerável de argila e pouco profundo (Tucci et al, 1993).
D	solos argilosos (30% a 40% de argila total) e ainda com camada densificada a uns 50cm de profundidade. Ou solos arenosos como do grupo B, mas com camada argilosa quase impermeável ou horizonte de seixos rolados (Porto, 1979 e 1995). Solos contendo argilas expansivas e pouco profundos com muito baixa capacidade de infiltração, gerando a maior proporção de escoamento superficial (Tucci et al, 1993).

Curva Número (CN)

Número de deflúvio “CN”

Utilização da terra	Condições de superfície	Tipos de solos de área			
		A	B	C	D
Terrenos cultivados	Com suícos retilíneos	77	86	91	94
	Em fileiras retas	70	80	87	90
Plantações regulares	Em curvas de nível	67	77	83	87
	Terraceado em nível	64	73	79	82
	Em fileiras retas	64	76	84	88
Plantações de cereais	Em curvas de nível	62	74	82	85
	Terraceado em nível	60	71	79	82
	Em fileiras retas	62	75	83	87
Plantações de legumes ou campos cultivados	Em curvas de nível	60	72	81	84
	Terraceado em nível	57	70	78	89
	Pobres	68	79	86	89
	Normais	49	69	79	94
	Boas	39	61	74	80
Pastagens	Pobres, em curvas de nível	47	67	81	88
	Normais, em curvas de nível	25	59	75	83
	Boas, em curvas de nível	6	35	70	79
Campos permanentes	Normais	30	58	71	78
	Esparsas, de baixa transpiração	45	66	77	83
	Normais	36	60	73	79
	Densas, de alta transpiração	25	55	70	77
Chácaras Estradas de terra	Normais	59	74	82	86
	Más	72	82	87	89
	De superfície dura	74	84	90	92
Florestas	Muito esparsas, baixa transpiração	56	75	86	91
	Esparsas	46	68	78	84
	Densas, alta transpiração	26	52	62	69
	Normais	36	60	70	76
Superfícies impermeáveis	Áreas urbanizadas	100	100	100	100

(Fonte: WILKEN, 1978)

Hidrograma Triangular Sintético (USA SCS)

- Estimativa da vazão de projeto (vazão de pico)

$$Q_p = \frac{0,20836 \cdot A \cdot q_m}{T_p}$$

Em que:

Q_p – vazão de projeto (m^3/s);

A - área de drenagem (km^2);

T_p - tempo de pico do hidrograma ($T_p = t_c^{0,5} + 0,6t_c$) em que t_c é o tempo de concentração de Kirpich (horas);

Hidrograma Triangular Sintético (USA SCS)

$$q_m = \frac{(P - 5,08 \times S)^2}{(P + 20,32 \times S)}$$

$$S = \frac{1000 - 10}{CN}$$

P – precipitação acumulada (mm)

CN – valor na curva número (ver tabelas “Tipos de Solos” e “Curva Número”)

Exemplos

1. Determinar a vazão de projeto para o dimensionamento de um bueiro que será construído em uma cidade próxima a Quixeramobim-CE em uma bacia de drenagem com 11 km^2 localizada em uma área de floresta normal com solo do tipo D. O comprimento do rio principal é de 7 km e sua declividade é de 1,7%.
2. Determinar o valor da vazão de projeto do exemplo 1 considerando a área da bacia como sendo 8 km^2 .