

## 14 – Método Racional

- Estimar vazão máxima de projeto pelo método racional

# Estimativa de vazões de cheias

Determinar a vazão de pico de cheias.

## Métodos para estimativa de vazões de cheias:

- Fórmulas empíricas
- Métodos hidrometeorológicos → **Método racional**  
Hidrograma Unitário  
Modelos: IPH-2; HEC-RAS;  
SSARR; Topmodel  
Outros
- Métodos estatísticos → Distribuição Normal  
Distribuição de Gumbel  
Distribuição exponencial de dois parâmetros  
Método de Foster  
Método de Füller
- Regionalização hidrológica

# Fórmulas empíricas

Fórmulas estabelecidas:

**VAZÃO** em função de características físicas da bacia, fatores climáticos, etc.

a) Em função da área:

$$Q = KA^n$$

Creager:  $Q = 1,30K' \left( \frac{A}{2,59} \right)^{0,936A^{-0,048}}$

Ryves Cooley:  $n=2/3$

Gray:  $n=3/4$

Fanning:  $n=5/6$

Tidewater Railway:  $n=0,7$

$$Q = \frac{a}{b + \sqrt{A}}$$

$$Q = \left( a + \frac{b}{c + A} \right) A$$

Q: vazão em m<sup>3</sup>/s

K: coeficiente que depende das características fisiográficas da bacia

A: Área de drenagem da bacia (km<sup>2</sup>)

a, b, c : coeficientes determinados para cada caso

### b) Considerando a precipitação:

$$Q = \frac{KmhA}{1000}$$

Q: vazão em m<sup>3</sup>/s  
 A: Área de drenagem da bacia (km<sup>2</sup>)  
 h: precipitação média anual em mm  
 K: coeficiente que depende da morfologia da bacia (tabela. Entre 0,017-0,800)  
 m: coeficiente que depende da área da bacia (tabela)

$$Q = Kh \frac{A^n}{L^m}$$

Pettis:  $Q = Kh \frac{A^{1,25}}{L^{1,25}}$

Q: vazão com mesmo T<sub>r</sub>  
 h: precipitação de 1d com T<sub>r</sub>=100 anos em polegadas  
 K: varia de 310 (áreas úmidas) a 40 (em desérticas)

### c) Baseadas no método racional: $Q = ciA$

$$Q = \frac{c\phi Ai_m}{3,60}$$

Q: vazão em m<sup>3</sup>/s  
 i<sub>m</sub>: intensidade da chuva em mm/h  
 A: Área de drenagem da bacia (km<sup>2</sup>)  
 c: coeficiente de escoamento superficial (tabelado, varia entre 0,05 e 0,90)  
 φ: coeficiente de retardo (menor que um)

#### d) Considerando $T_r$ :

Fuller:

$$Q = 0,013KA^{0,8}(1 + a \log T_r)(1 + 2,66A^{-0,3})$$

Q: vazão em m<sup>3</sup>/s

A: Área de drenagem da bacia (km<sup>2</sup>)

$T_r$ : Tempo de recorrência (anos)

K: coeficiente que depende das características da bacia

a: coeficiente (Fuller: 0,8 para rios do leste dos EUA e Lane: 0,69 para rios de New England)

Horton:

$$Q = Q_{\max}(1 - e^{-aT_r^b})$$

Q: Vazão com tempo de recorrência  $T_r$

$Q_{\max}$ : máximo valor possível da vazão (deve ser assumido)

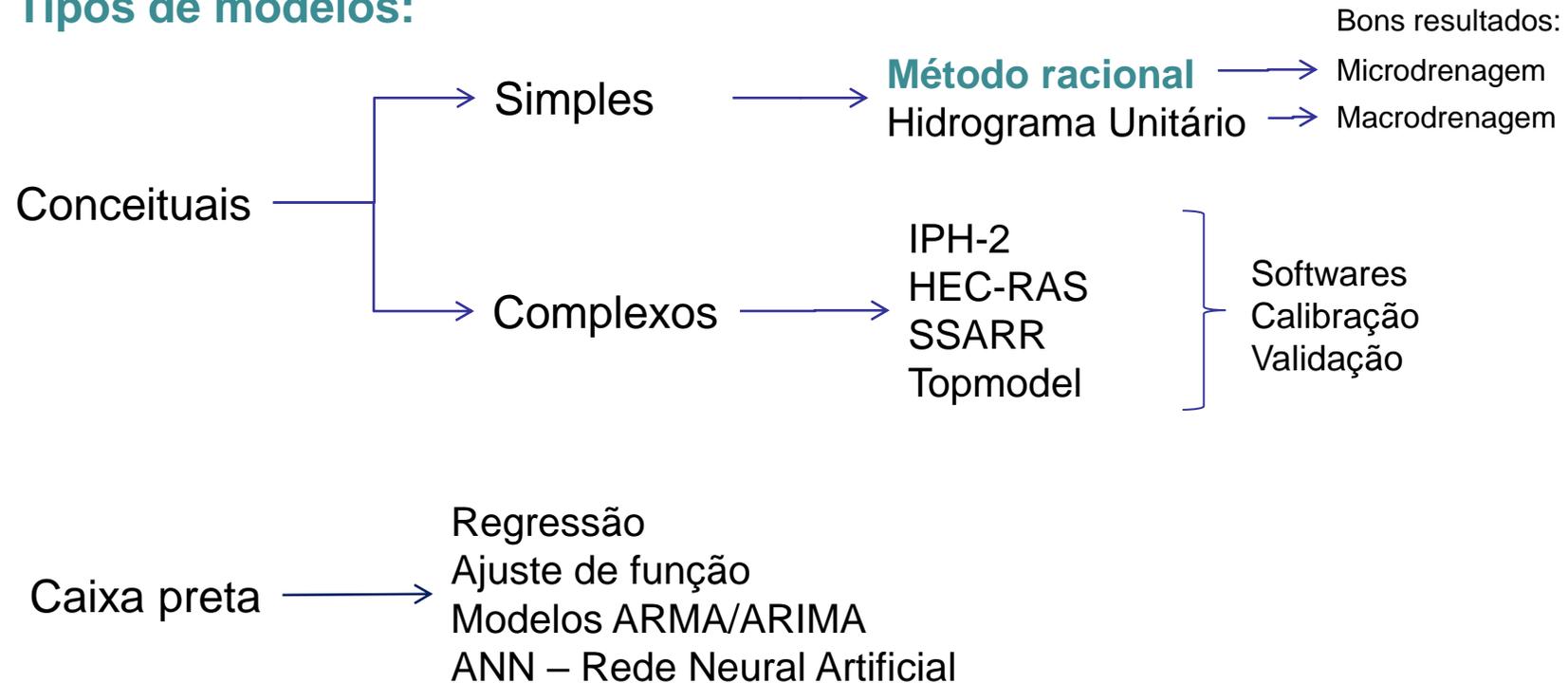
$T_r$ : Tempo de recorrência (anos)

a, b: coeficientes que dependem da localidade e devem ser determinados a partir de dados observados

# Método hidrometeorológico

Maior facilidade de obter dados de Precipitação → Métodos que correlacionam Vazão com precipitação (conhecidos modelos chuva-vazão, modelos P-Q)

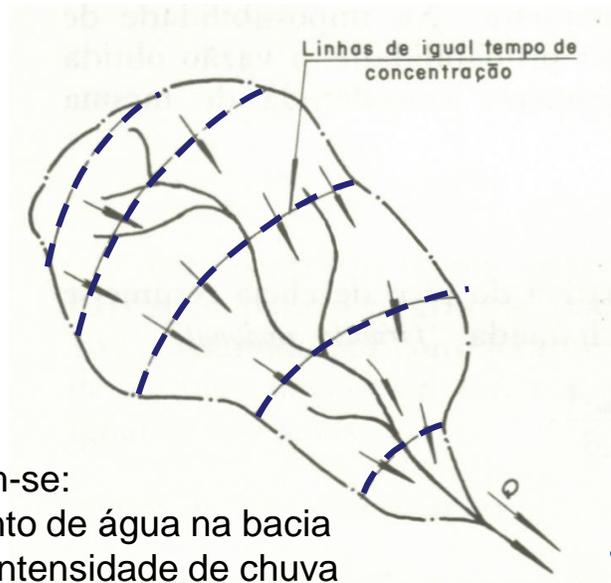
## Tipos de modelos:



# Método Racional

$$Q = ciA$$

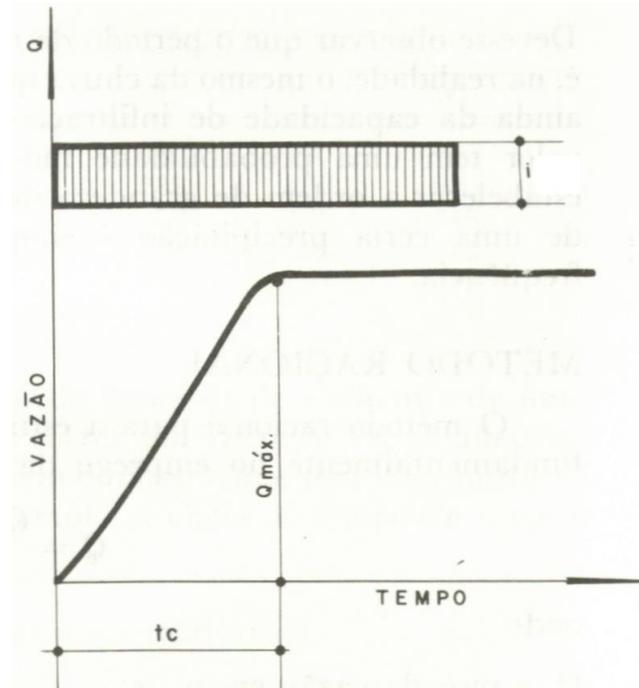
Q: vazão de pico  
 c: coeficiente de deflúvio  
 i : intensidade média da precipitação sobre toda a bacia, de duração igual ao  $t_c$   
 A: área da bacia



Desconsideram-se:

- Armazenamento de água na bacia
- Variações da intensidade de chuva
- Variações do coeficiente c

Máxima vazão provocada por uma chuva de intensidade uniforme.  
 Ocorre quando toda a bacia passa a contribuir para a seção em estudo.  
 Tempo necessário para que isso ocorra:  $t_c$



- Uso com cautela, pois envolve várias simplificações
- Quanto maior a área → mais impreciso o método

Aplicação para bacias:

**$A \leq 5 \text{ km}^2$**  (Linsley & Francini)

# Intensidade média da precipitação ( $i$ )

$$Q = c i A$$

Neste método considera-se: valor médio no tempo e no espaço.

É relacionada com a **duração da chuva crítica** e o período de retorno  $T_r$

Normalmente tempo de  
concentração da bacia

Admite-se que o  $T_r$  da precipitação seja o mesmo da cheia que ela provoca.

Não é exatamente verdadeiro.

Para um pluviógrafo isolado, pode-se determinar a equação da chuva:

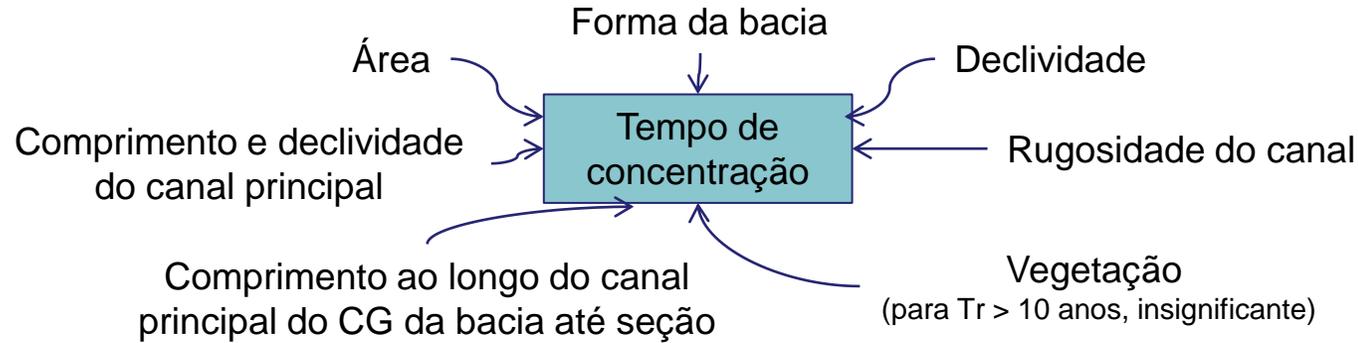
$$i = \frac{K.T_r^m}{(t + t_0)^n}$$

$i$  - intensidade máxima média para duração  $t$ ;  
 $t_0$ ,  $m$  e  $n$  são parâmetros a determinar  
 $K$  - fator de frequência

(ver slides de Precipitação)

# Tempo de concentração ( $t_c$ )

14



Várias fórmulas empíricas, ábacos:

Kirpich

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

$t_c$ : Tempo de concentração (min)  
L: Extensão do talvegue (km)  
H: Diferença de nível entre o ponto mais afastado e o exutório (m)

(Indicado para estudos de PCHs pela Eletrobras)

Doodge

$$t_c = 1,75 \frac{A^{0,41}}{S^{0,17}}$$

$t_c$ : Tempo de concentração (h)  
A: Área da bacia (km<sup>2</sup>)  
S: Declividade (m/10km)

$$S = \frac{H}{L}$$

Ven Te Chow

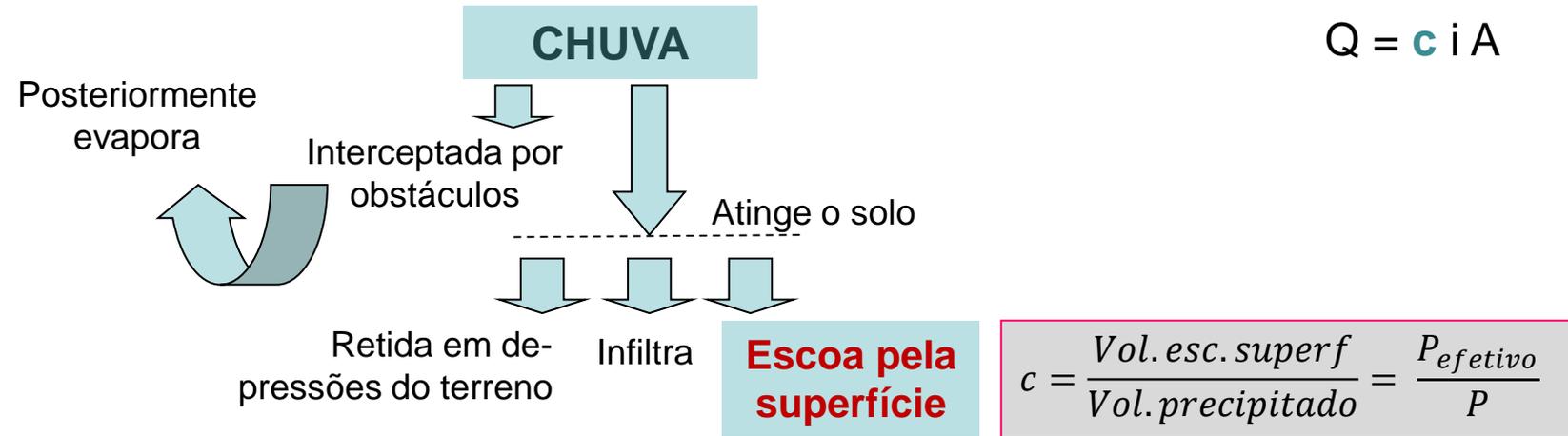
$$t_c = 25,20 \frac{L}{I}$$

I: Declividade média do talvegue

# Coeficiente de deflúvio (c)

Coeficiente de escoamento superficial

$$Q = c i A$$



As perdas podem variar de uma chuva para outra → c varia



## Fórmulas:

Gregory:  $c = 0,175t^{1/3}$

t: Duração da chuva (min)

Horner:  $c = 0,364 \log t + 0,0042r - 0,145$

r: percentagem impermeabilizada da área  
t: Duração da chuva (min)

Filho & Tucci (2012), (atualizado de Schueler, 1987; Campana & Tucci, 1994; Tucci, 2000; SUDERHSA, 2002)

$$c = 0,8 * IA + 0,15$$

IA: área impermeável (%)  
D<sub>d</sub>: densidade populacional (hab/ha)

$$IA = 0,57 * D_d + 13$$

D<sub>d</sub> < 100 hab/ha

## Tabelas:

Valores do coeficiente C (ASCE,1969)

| Superfície                   | C           |                |
|------------------------------|-------------|----------------|
|                              | intervalo   | valor esperado |
| pavimento                    |             |                |
| asfalto                      | 0,70 - 0,95 | 0,83           |
| concreto                     | 0,80 - 0,95 | 0,88           |
| calçadas                     | 0,75 - 0,85 | 0,80           |
| telhado                      | 0,75 - 0,95 | 0,85           |
| cobertura:grama solo arenoso |             |                |
| plano (2%)                   | 0,05 - 0,10 | 0,08           |
| médio (2 a 7%)               | 0,10 - 0,15 | 0,13           |
| alta (7%)                    | 0,15 - 0,20 | 0,18           |
| grama, solo pesado           |             |                |
| plano (2%)                   | 0,13 - 0,17 | 0,15           |
| médio (2 a 7%)               | 0,18 - 0,22 | 0,20           |
| declividade alta (7%)        | 0,25 - 0,35 | 0,30           |

Valor de C' para áreas rurais (Williams, 1949)

| Tipo de área                               | C'   |
|--|------|
| <b>1 Topografia</b>                        |      |
| terreno plano, declividade de 0,2-0,6 m/km | 0,30 |
| terreno, declividade de 3 - 4 m/km         | 0,20 |
| morros, declividade de 30 -50 m/km         | 0,10 |
| <b>2 Solo</b>                              |      |
| argila impermeável                         | 0,10 |
| permeabilidade média                       | 0,20 |
| arenoso                                    | 0,40 |
| <b>3 Cobertura</b>                         |      |
| áreas cultivadas                           | 0,10 |
| árvores                                    | 0,20 |

Coeficiente de deflúvio:  $c = 1 - (c_1' + c_2' + c_3')$

Valores de C adotadas pela Prefeitura São Paulo (Wilken,1978)

| Zonas  | C           |
|--|-------------|
| <b>Edificação muito densa:</b><br>Partes centrais, densamente construídas de uma cidade com ruas e calçadas pavimentadas                                     | 0,70 - 0,95 |
| <b>Edificação não muito densa:</b><br>Partes adjacente ao centro, de menos densidade de habitações, mas com ruas e calçadas pavimentadas                     | 0,60 - 0,70 |
| <b>Edificações com poucas superfícies livres:</b><br>Partes residenciais com construções cerradas, ruas pavimentadas   | 0,50 - 0,60 |
| <b>Edificações com muitas superfícies livres:</b><br>Partes residenciais com ruas macadamizadas ou pavimentadas  | 0,25 - 0,50 |
| <b>Subúrbios com alguma edificação:</b><br>Partes de arrabaldes e subúrbios com pequena densidade de construção  | 0,10 - 0,25 |
| <b>Matas, parques e campos de esportes:</b><br>Partes rurais, áreas verdes, superfícies arborizadas, parques ajardinados, campos de esporte sem pavimentação | 0,05 - 0,20 |

Fator de correção de c  
(Wright-MacLaughin, 1969)

| Tempo de retorno (anos) | Cf   |
|-------------------------|------|
| 2 a 10                  | 1,00 |
| 25                      | 1,10 |
| 50                      | 1,20 |
| 100                     | 1,25 |

# Exercício 1

14

Determine a vazão máxima de período de retorno de 50 anos para uma bacia hidrográfica de 2 km<sup>2</sup> de área de drenagem, desnível de 24 m, comprimento de talvegue de 3 km e declividade média de 8m/km.

O solo da bacia tem permeabilidade média.

As condições de uso do solo são as seguintes:

- 30% área cultivada
- 60% cobertura natural com árvores
- 10% superfícies impermeáveis

Equação de chuvas intensas para a bacia em questão:

$$i = \frac{1265,7 \cdot T_r^{0,052}}{(t + 12)^{0,77}}$$

*i* - intensidade máxima média (mm/h) para duração *t*;

*T<sub>r</sub>* - tempo de retorno (anos)

*t* - duração da chuva (min)

## Exercício 2

14

Considere que esta bacia sofrerá nos próximos anos um crescimento urbano que elevará a taxa de impermeabilização para 50%, diminuindo a área cultivada para 20% e desmatando 50% da área coberta por árvores.

Nestas novas condições, determine a taxa de ampliação da cheia máxima de 50 anos devido urbanização. Comente o resultado.