

PHA3307
Hidrologia Aplicada

Universidade de São Paulo

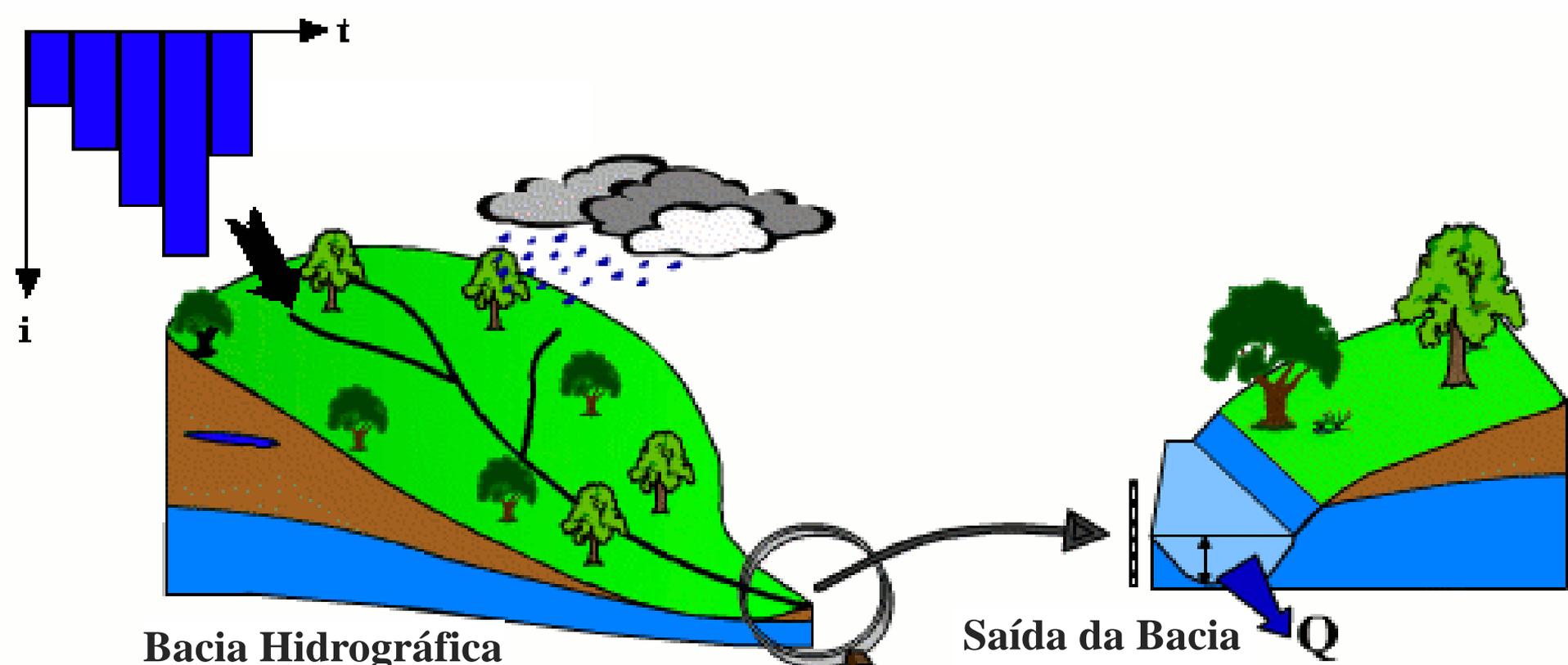


Escola Politécnica
Departamento de Eng. Hidráulica e
Ambiental

Escoamento Superficial e Análise do Hidrograma

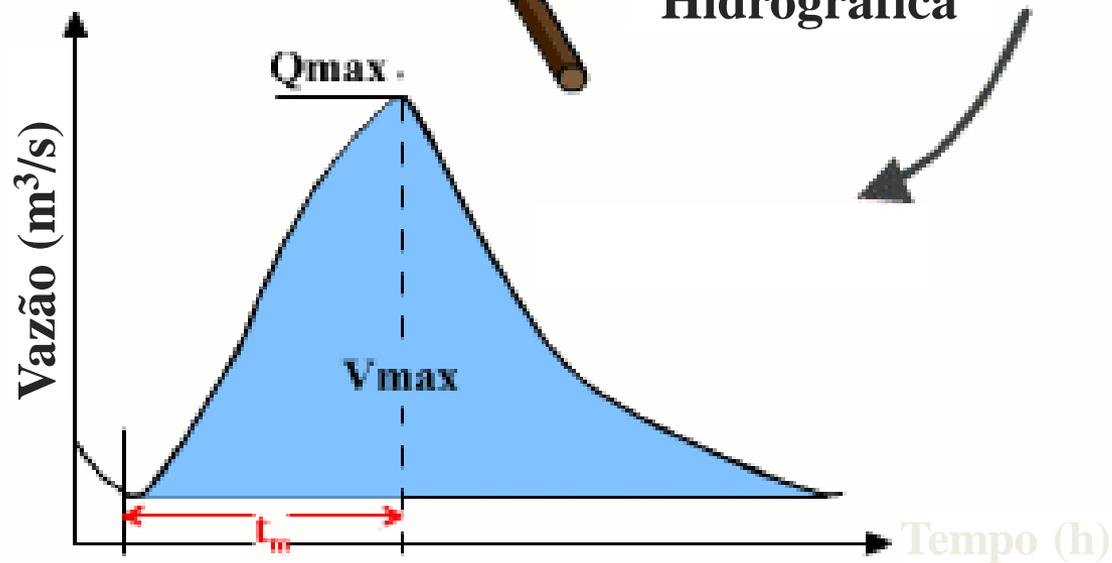
Aula 20

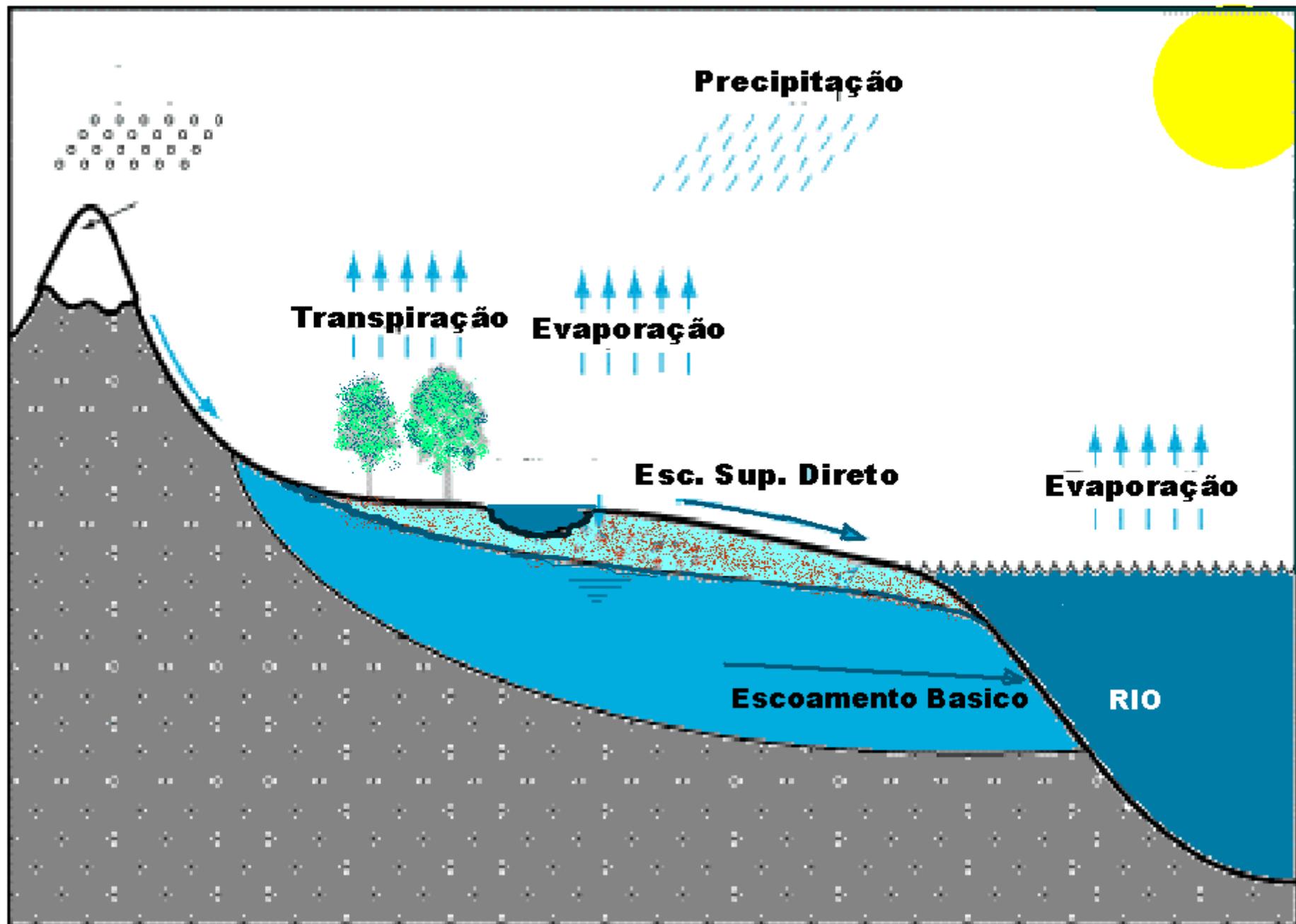
Prof. Dr. Arisvaldo V. Mélo Jr
Prof. dr. Joaquin Bonnacarrere

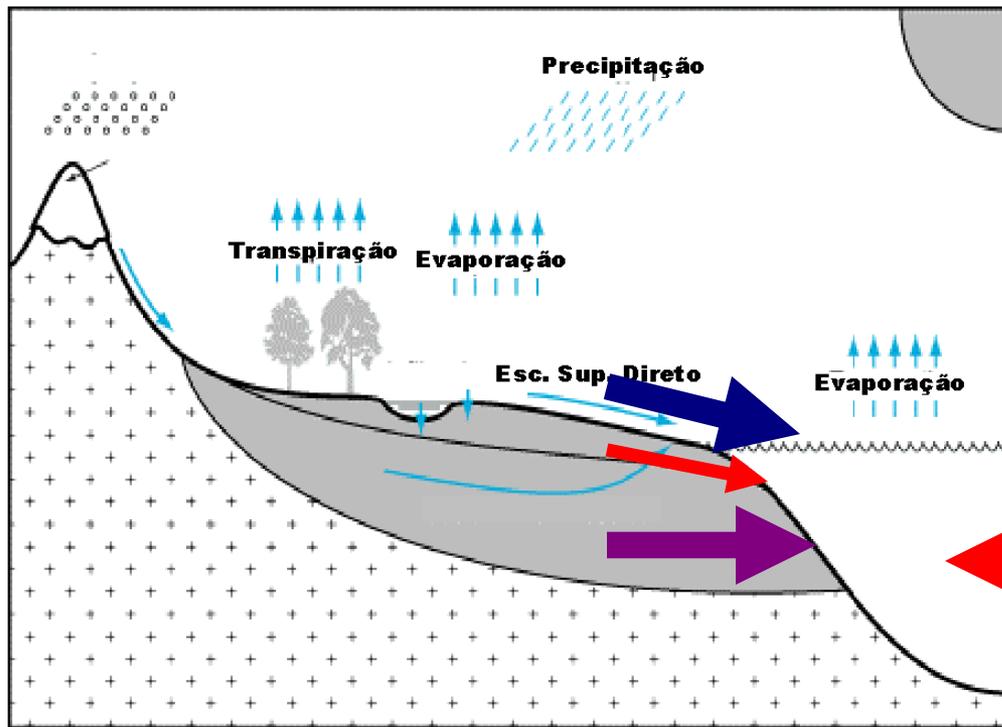


Bacia Hidrográfica

Saída da Bacia Hidrográfica Q







Todo o escoamento que aparece no curso d'água é chamado de *Escoamento Superficial*

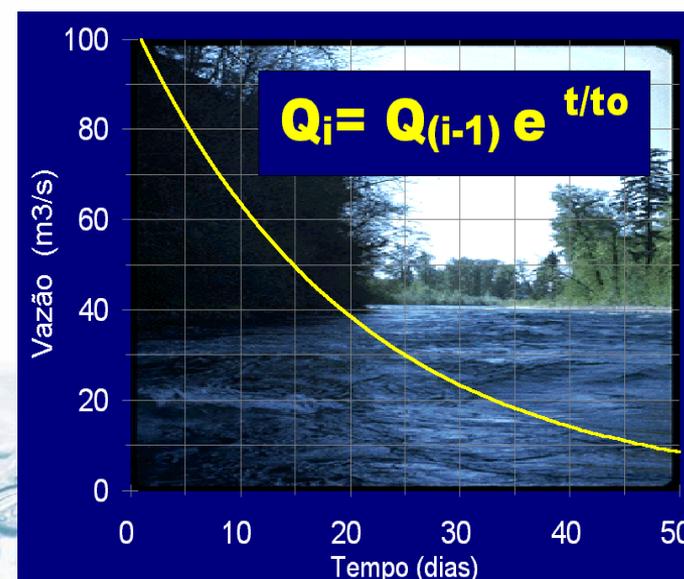
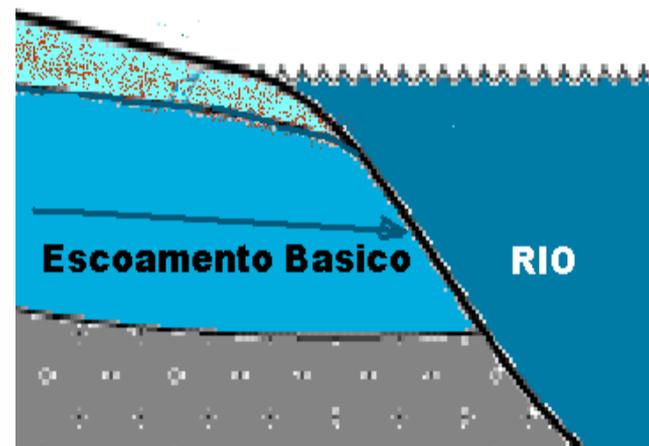
As origens do Escoamento Superficial podem ser:

- Escoamento Superficial Direto
- Escoamento Sub-superficial (ou hipodérmico)
- Escoamento Básico



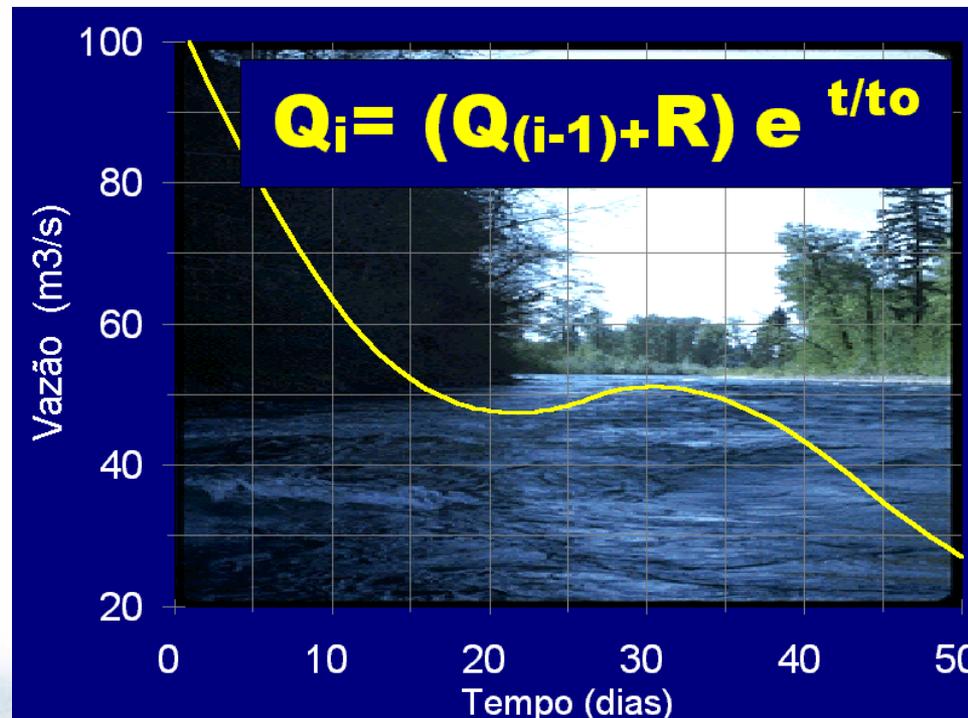
Características do Escoamento Básico

1. Oriundo do armazenamento abaixo do lençol freático
2. Escoamento laminar (lento e uniforme)
3. Decai lentamente ao longo do tempo quando não há recarga



Características do Escoamento Básico

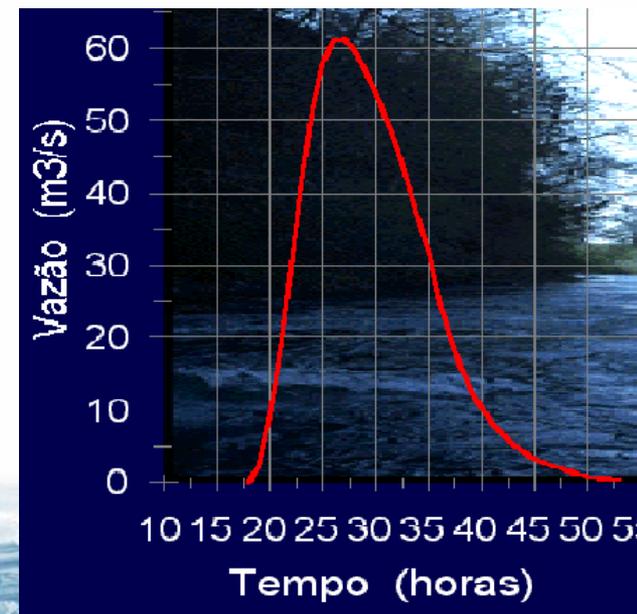
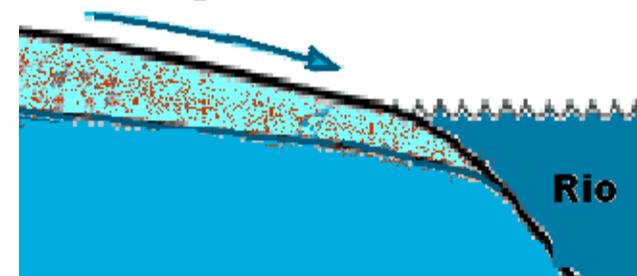
4. Quando há recarga a vazão básica sobe lentamente para depois decair novamente quando a recarga cessa.



Características do Escoamento Superficial Direto

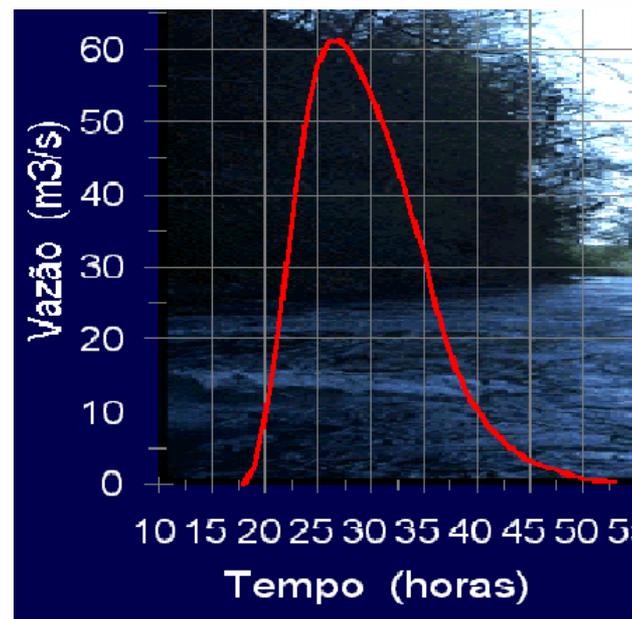
1. Oriundo da superfície da bacia
2. Escoamento turbulento da chuva excedente
3. A vazão cresce rapidamente conforme a intensidade da chuva e as características da bacia

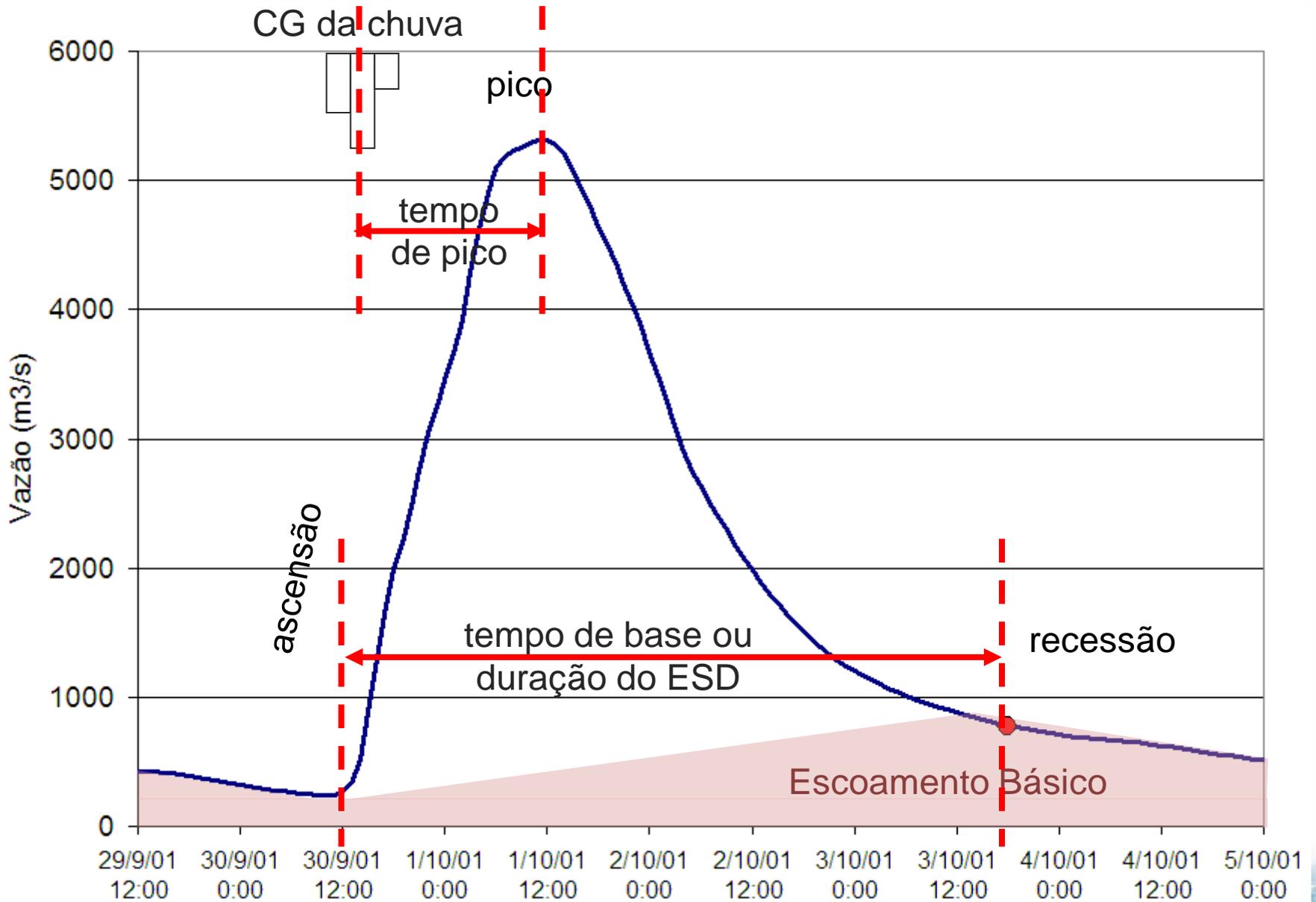
Esc. Sup. Direto



Trechos do Hidrograma

1. **Ascensão:** com grande gradiente e correlacionada com a intensidade da precipitação
2. **Região do pico:** o hidrograma muda de inflexão, resultado do fim da chuva e amortecimento na bacia
3. **Recessão:** cessa o escoamento superficial direto, após o ponto de inflexão apenas contribui o escoamento básico





Características do Hidrograma

- **TEMPO DE CONCENTRAÇÃO:** tempo de deslocamento da água do ponto mais distante da bacia até a seção principal (tempo em que toda a área da bacia estará contribuindo com o escoamento). Definido também como o intervalo entre o fim da precipitação e o ponto de inflexão do hidrograma
- **Tempo de retardamento:** intervalo de tempo entre os centros de massa do hietograma e do hidrograma



Características do Hidrograma

- **Tempo de pico:** intervalo de tempo entre o centro de massa da chuva e a vazão de pico
- **Tempo de ascensão :** Intervalo entre o início da chuva e o pico do hidrograma
- **Tempo de base:** duração do escoamento superficial direto
- **Tempo de recessão:** intervalo entre a vazão de pico e o término do escoamento superficial direto.



Forma do Hidrograma

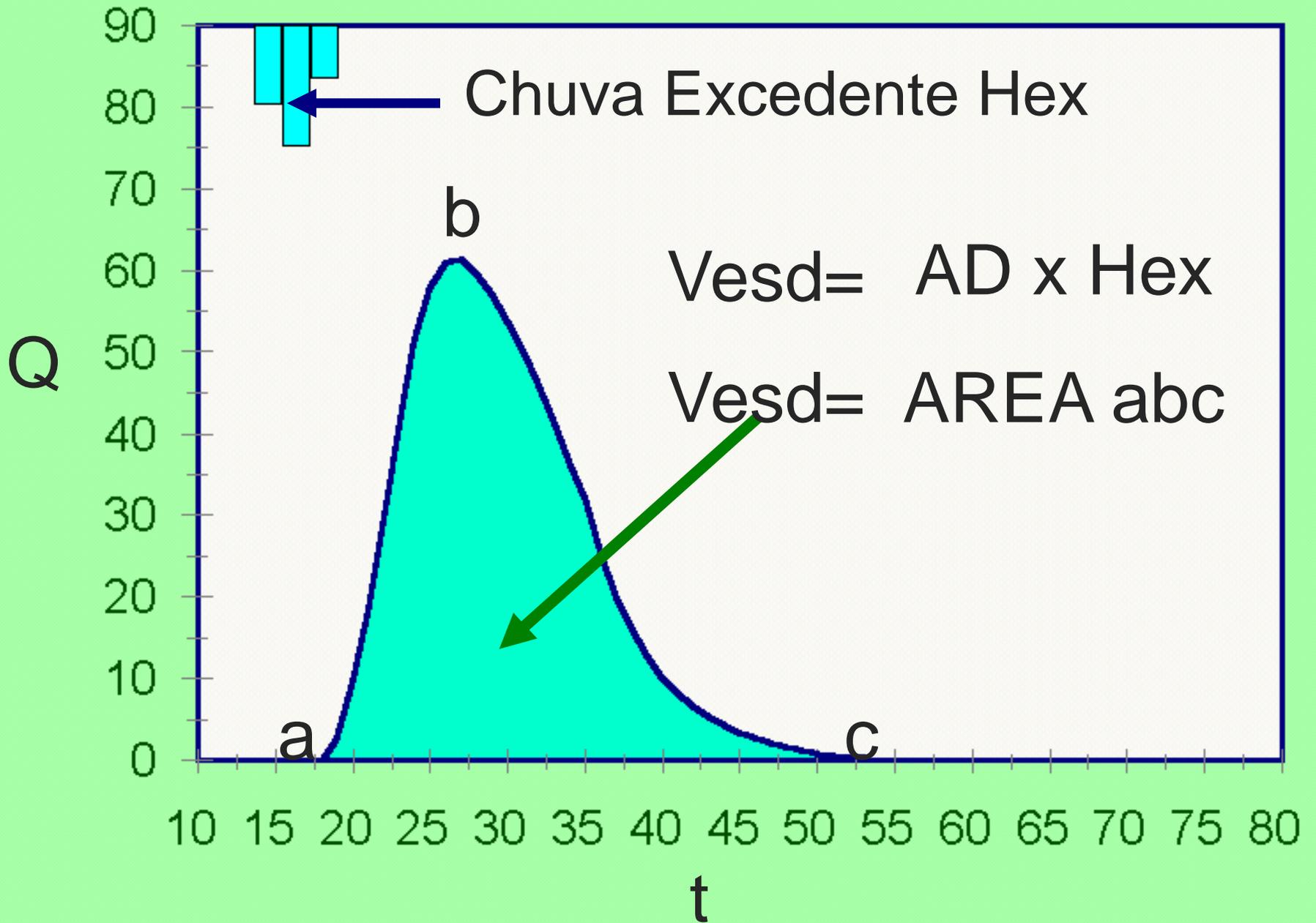
- **Fatores que influenciam na forma do hidrograma**
 - **Relevo**: densidade de drenagem, declividade do rio e da bacia, capacidade de armazenamento e forma
 - bacias íngremes e com boa drenagem têm hidrogramas íngremes com pouco escoamento de base
 - bacias com grandes áreas de extravasamento tendem a regularizar o escoamento e reduzir o pico
 - bacias mais circulares têm picos mais cedo e maiores do que bacias alongadas.



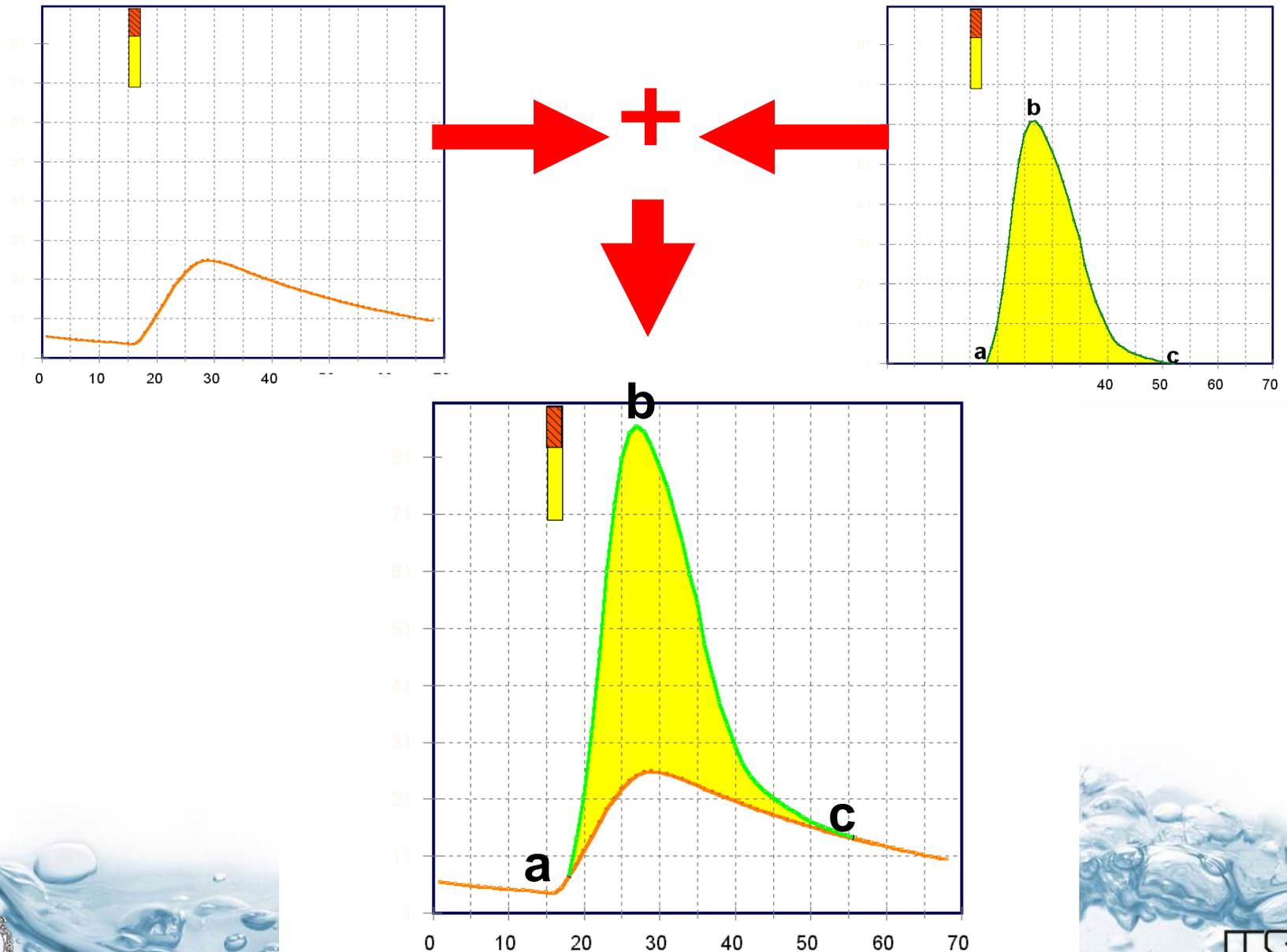
Forma do Hidrograma

- **Fatores que influenciam na forma do hidrograma**
 - **Uso do solo:** cobertura vegetal tende a retardar o escoamento e aumentar as perdas por evaporação
 - **Tipo de solo:** interfere na quantidade de chuva transformada em chuva efetiva (infiltração)
 - **Modificações artificiais no rio:** reservatórios de regularização reduzem os picos, enquanto canalizações podem aumentar os picos
 - **Distribuição, duração e intensidade da precipitação:** chuvas deslocando-se de jusante para montante geram hidrogramas com picos menores (eventualmente dois picos)
 - **As chuvas convectivas de grande intensidade e distribuídas numa pequena área podem provocar as grandes enchentes em pequenas bacias**
 - **Para bacias grandes, as chuvas frontais são mais importantes**



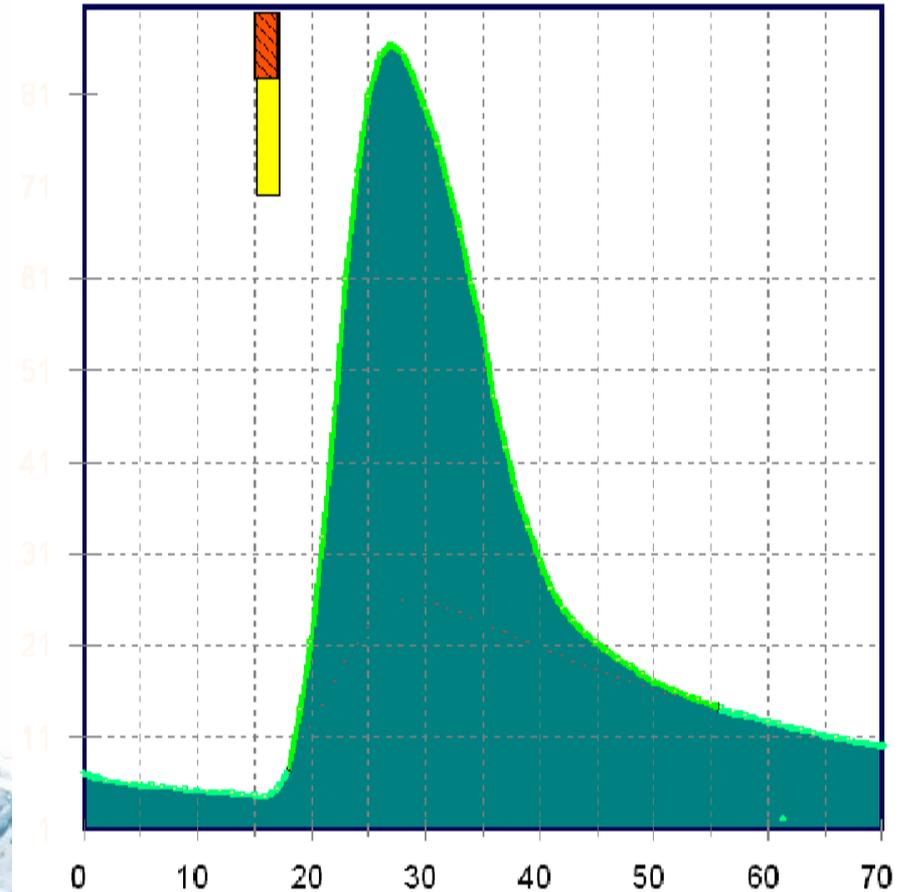


Síntese do Hidrograma

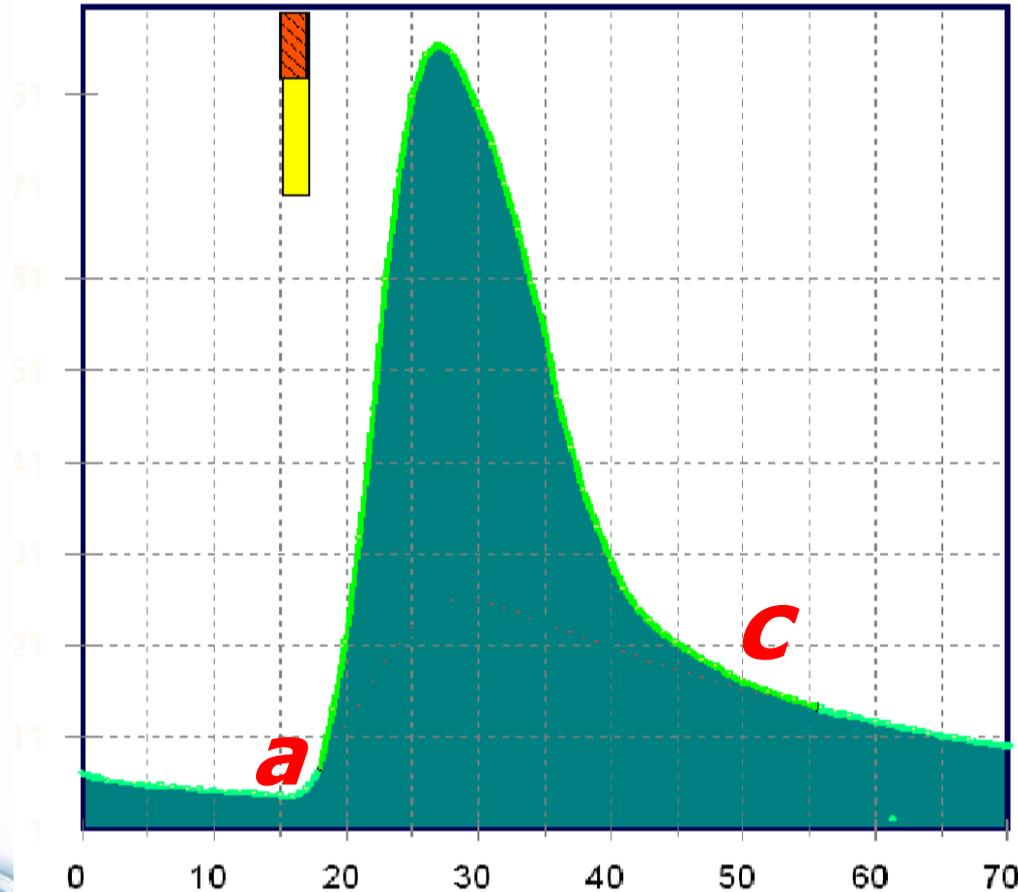


Análise do Hidrograma

- **Significado:**
separação do hidrograma de Escoamento Superficial Direto do hidrograma total
- **Importância:** Estudo de cheias, Determinação do hidrograma de cheias



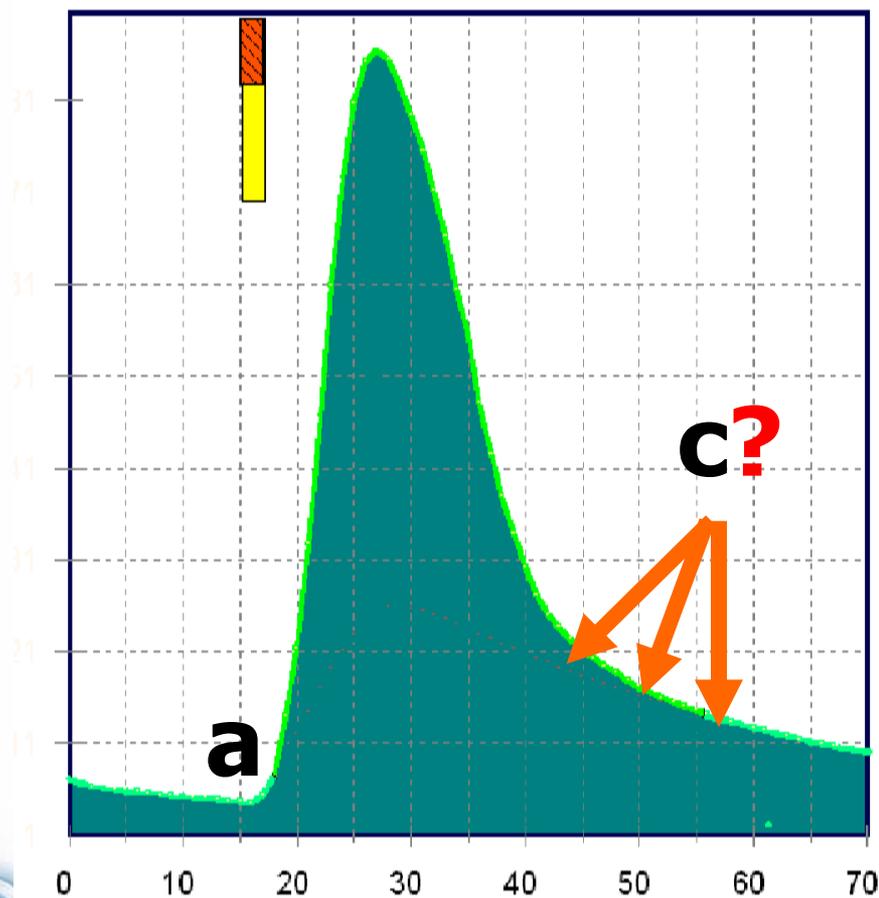
Análise do Hidrograma



Como fazer:
determinam-se
os pontos **a** e **c**



Análise do Hidrograma



■ Ponto a

- Início do ESD
- Inflexão abrupta

■ Ponto c

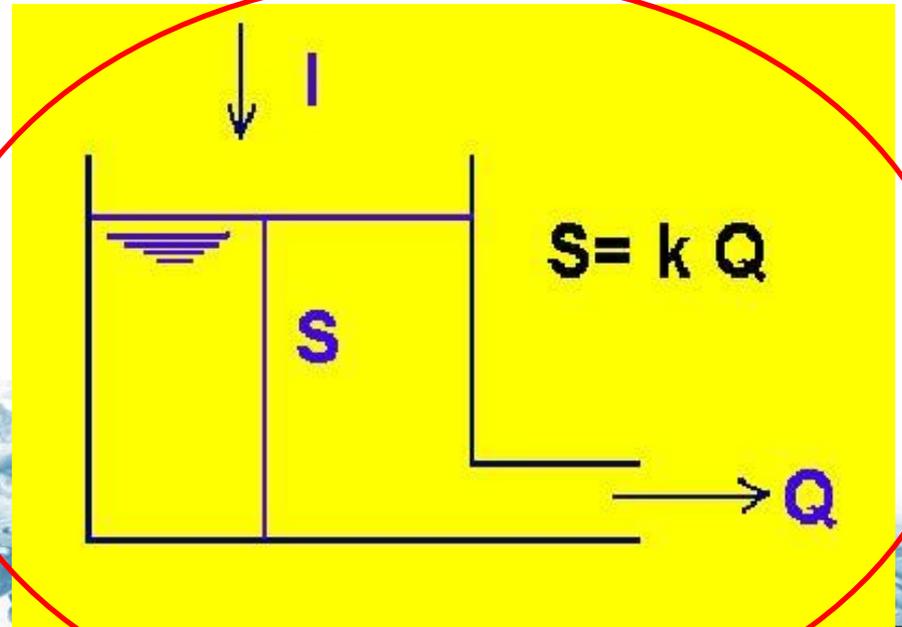
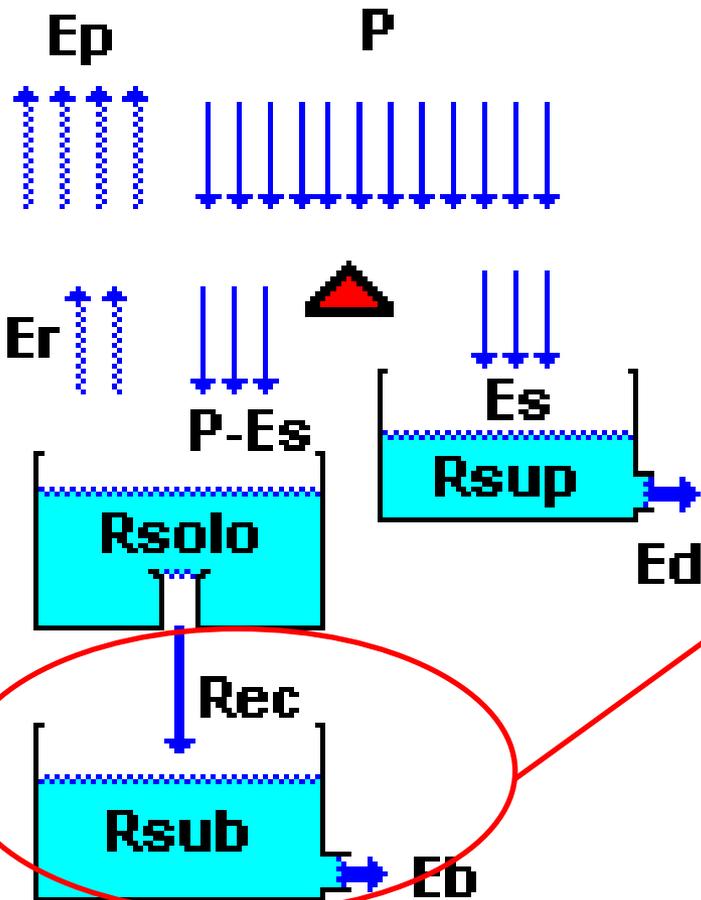
- Fim do ESD
- Determinação difícil



Análise do Hidrograma

Utiliza-se a equação da curva de decaimento do Escoamento Básico baseada no modelo de Reservatório Linear:

$$Q = Q_0 \cdot e^{-t/K}$$



Dedução da Expressão do Reservatório Linear

- Aplicando-se a equação da continuidade ao reservatório que representa o escoamento básico, admitindo-se que não haja mais precipitação ($I=0$)

$$0 - Q = \frac{dS}{dt}$$

- Aplicando-se a hipótese de reservatório linear:

$$S = K * Q$$



Dedução da Expressão do Reservatório Linear

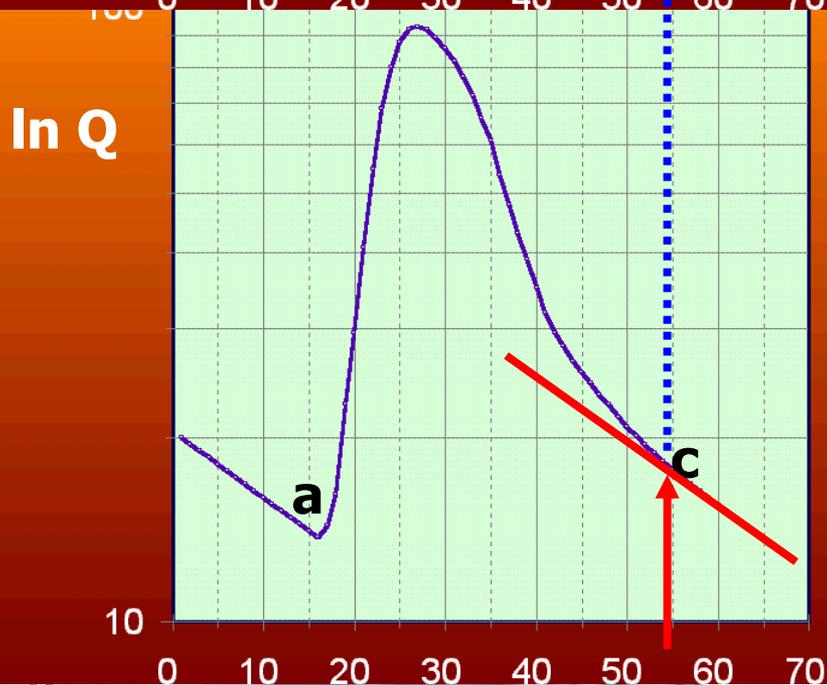
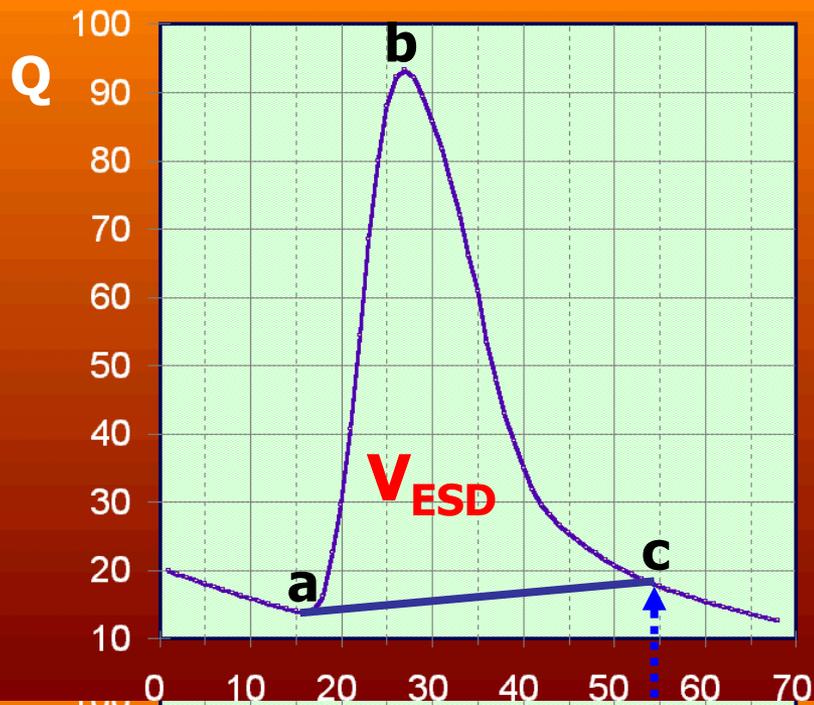
- pode-se substituir na expressão anterior e integrar entre dois instantes situados à direita do ponto C.

$$\int \frac{dQ}{Q} = -\frac{1}{k} \cdot \int dt \quad \longrightarrow \quad \ln Q \Big|_{Q_0} = -\frac{1}{k} \cdot t \Big|_{t_0}$$

$$\ln \frac{Q}{Q_0} = -\frac{1}{k} \cdot (t - t_0)$$

$$Q = Q_0 \cdot e^{-\frac{1}{k} \cdot (t - t_0)}$$





$$Q = Q_0 \cdot e^{-t/K}$$

Reta no papel mono-log

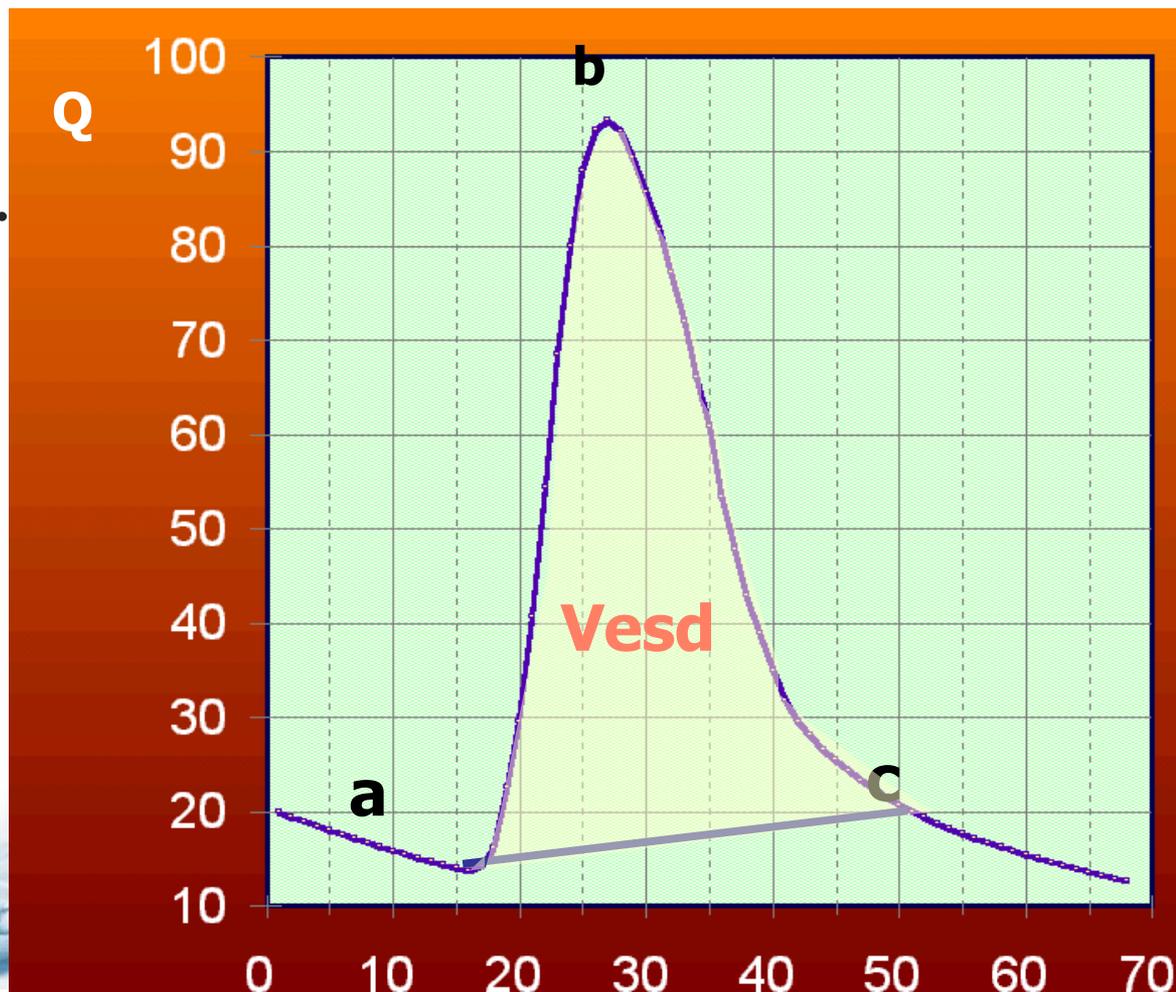
$$\ln(Q) = \ln(Q_0) - \frac{1}{k} t$$

Coeficiente angular da reta

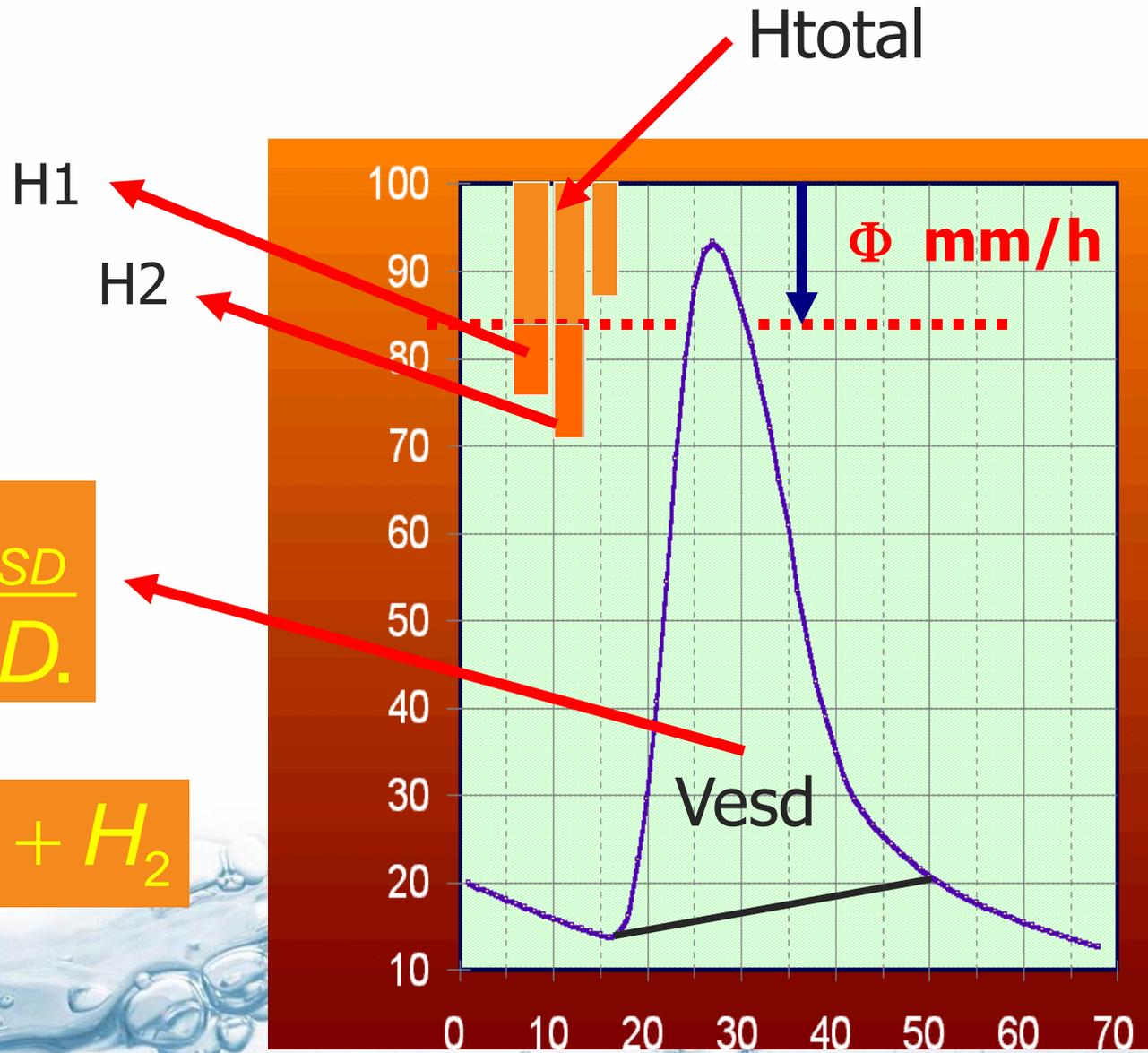
Formas de Separação

- 1º método: basta ligar os pontos a (início da ascensão do hidrograma) e c (final do ESD) por uma reta

- Existem outros...



Índice ϕ



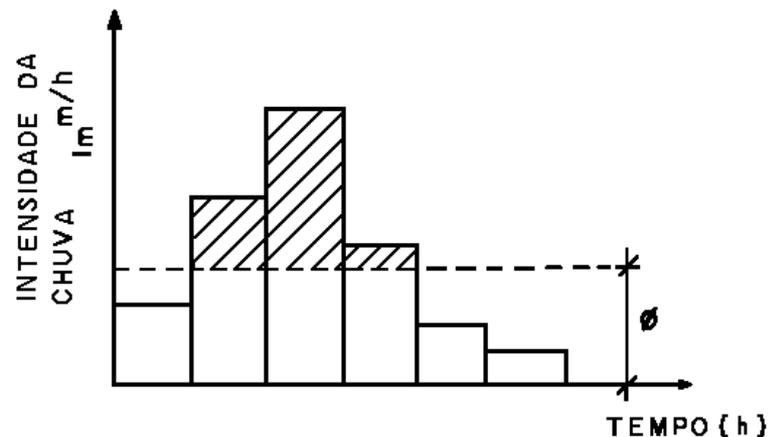
$$H_{exc} = \frac{V_{ESD}}{A.D.}$$

$$H_{exc} = H_1 + H_2$$



Índice Φ

- É a taxa de infiltração “ f ” suposta constante ao longo do tempo
- É uma aproximação do modelo de Horton para o caso em que f_0 aproxima-se de f_c
- Pode ser determinado quando se dispõe de registros simultâneos de chuva e vazão



Índice Φ

$$L_{ESD} = \sum_{m=1}^M (R_m - \phi \Delta t)$$

L_{ESD} – Lâmina do escoamento Superficial direto

M – nº de intervalos de chuva que contribui para o escoamento

R_m – chuva observada no intervalo de tempo m (cm)

ϕ - índice F_i (cm/h)

Δt – intervalo de tempo



Determine a precipitação efetiva do seguinte evento de chuva para $L_{ESD} = 2 \text{ cm}$

Tempo (h)	Intensidade (cm/h)
1	0,5
2	1,5
3	1,2
4	0,3
5	1,0
6	0,5

Total = 5 cm

Lâmina escoada = 2 cm

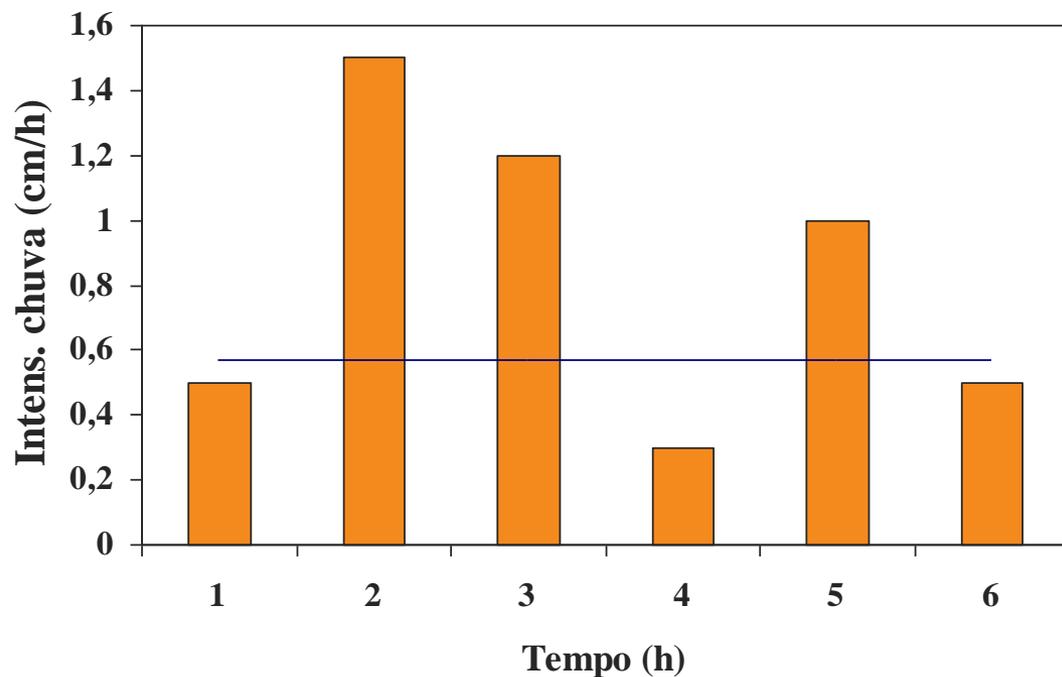
Lâmina infiltrada = $5 - 2 = 3 \text{ cm}$

Supor índice ϕ é $>0,5$ e $\leq 1 \text{ cm/h}$

$$2 = (1.5 - \phi \times 1) + (1.2 - \phi \times 1) + (1 - \phi \times 1)$$

$$2 = 3.7 - 3 \phi$$

$$\phi = 0.567 \text{ cm/h}$$



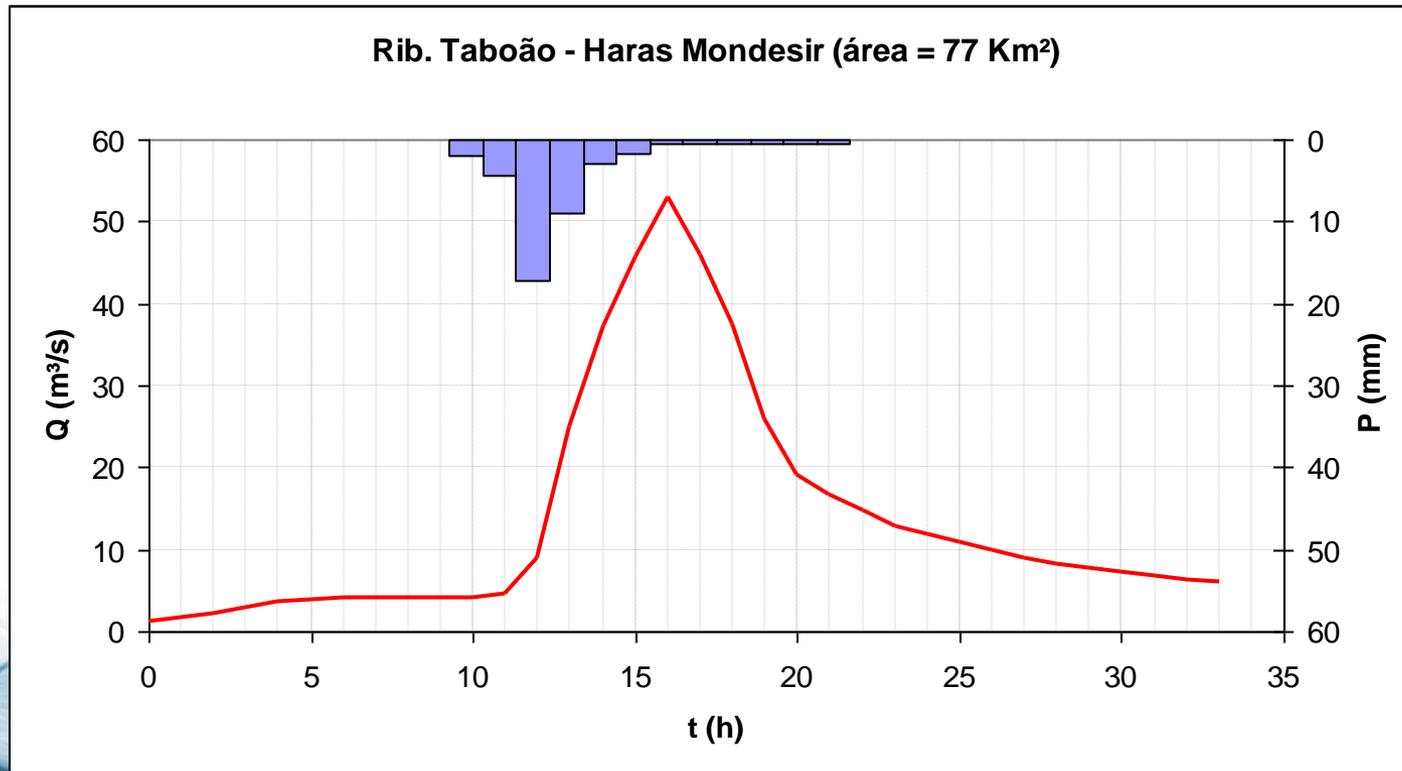
Exercício

Com os dados de chuva e vazões fornecidos, determine:

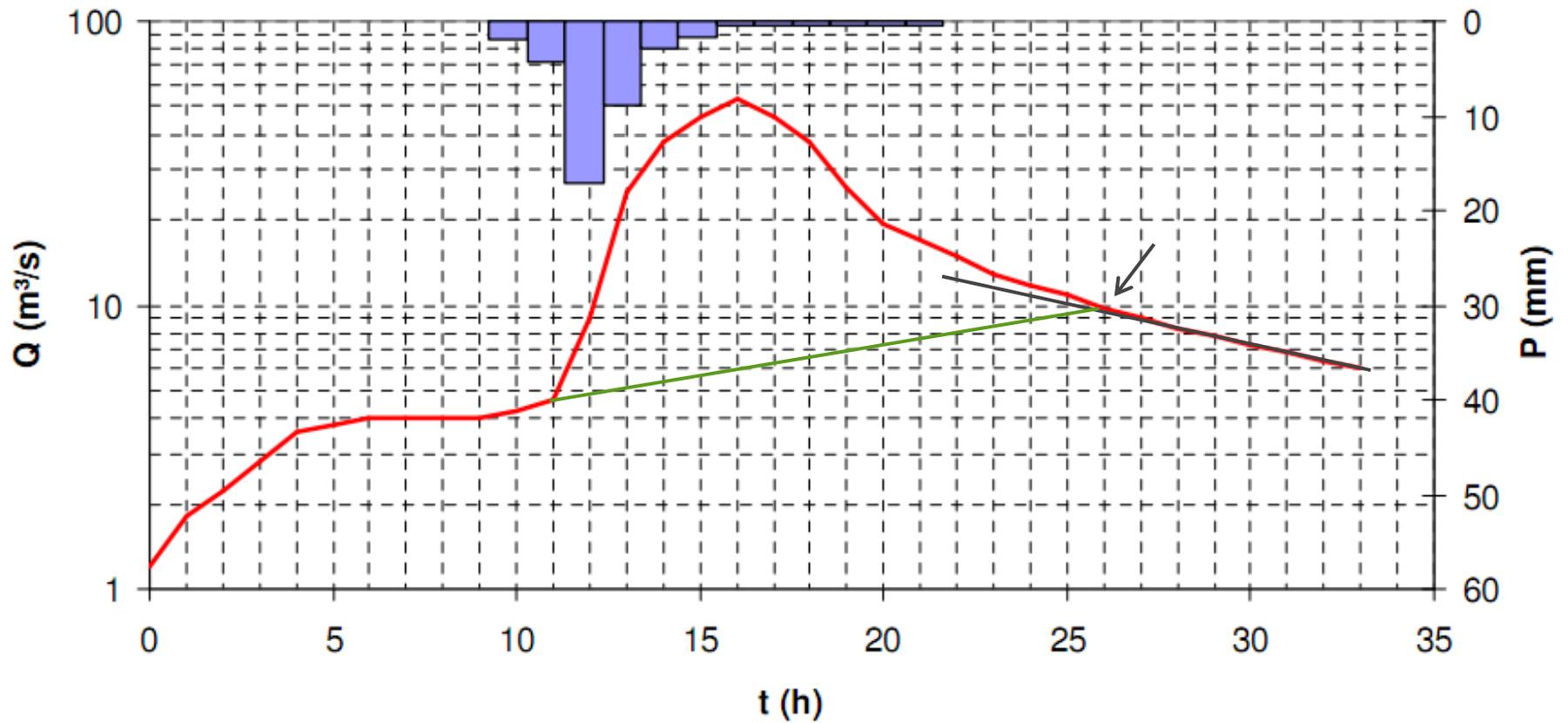
1. o início e o final do escoamento superficial direto.
2. o volume e a altura correspondente do escoamento superficial direto.
3. a altura correspondente a infiltração.
4. o coeficiente de depleção do escoamento básico (K)

direto.

$$Q(t) = Q(t_0) * e^{-\frac{1}{K} * (t-t_0)}$$



Rib. Taboão - Haras Mondesir (área = 77 Km²)



T	Prec	Q	Qbas	Qesd
(h)	(mm)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)
0	0	1.2		
1	0	1.8		
2	0	2.2		
3	0	2.8		
4	0	3.6		
5	0	3.8		
6	0	4		
7	0	4		
8	0	4		
9	2	4		
10	4.4	4.22		
11	17.2	4.67		
12	9	9		
13	3	25		
14	1.6	37.2		
15	0.6	45.8		
16	0.6	53.1		
17	0.6	46		
18	0.6	37.4		
19	0.6	26		
20	0.6	19.2		
21	0	16.8		
22	0	14.8		
23	0	12.8		
24	0	11.8		
25	0	10.8		
26	0	9.8		
27	0	9		
28	0	8.2		
29	0	7.8		
30	0	7.2		
31	0	6.8		
32	0	6.4		
33	0	6		



Fim



USP