



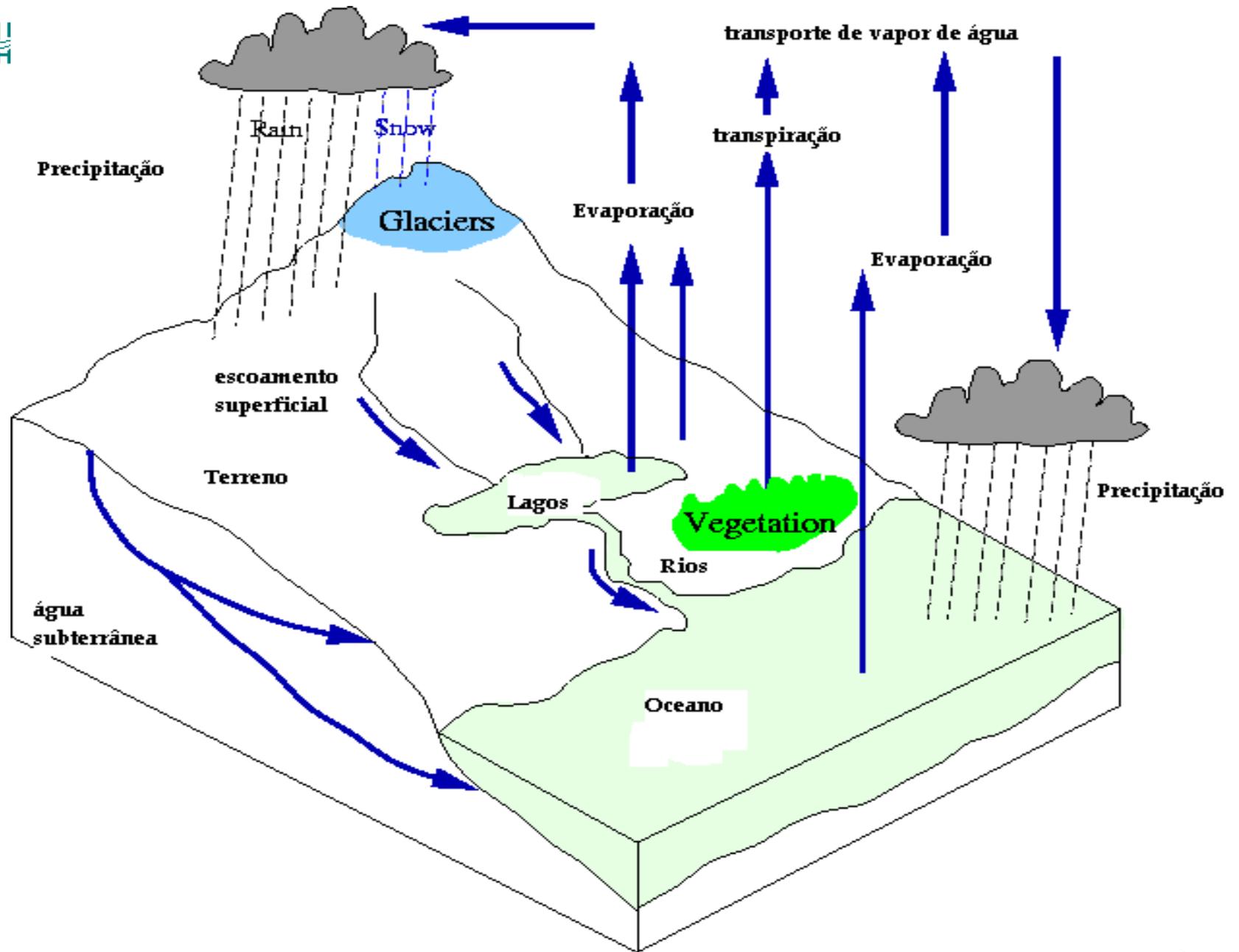
Ciclo Hidrológico e Bacia Hidrográfica

Prof. D.Sc Enoque Pereira da Silva



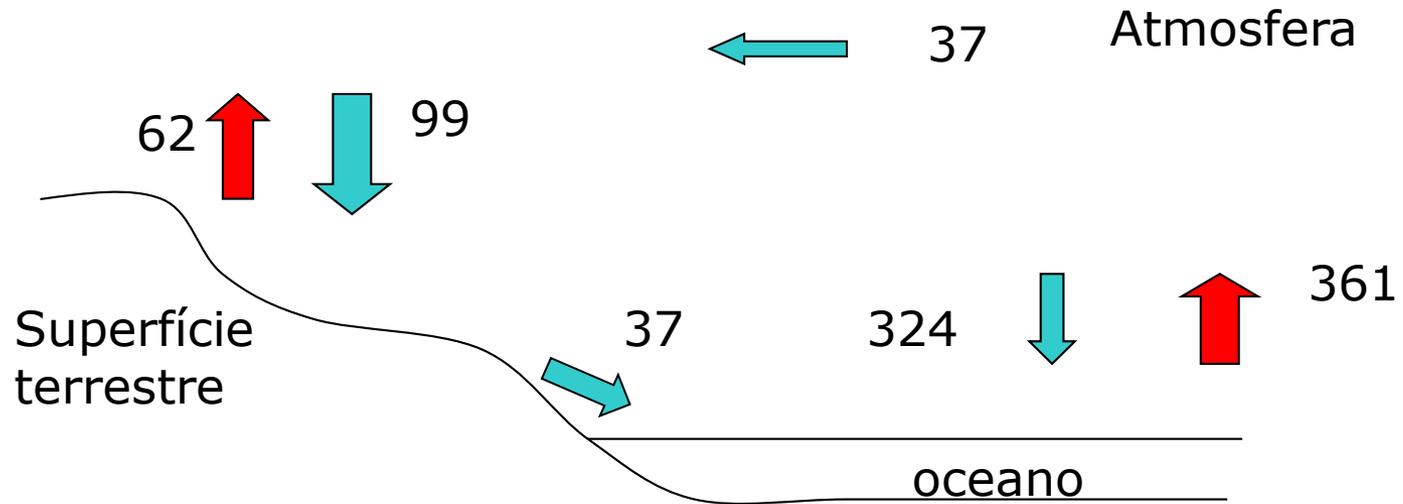
Ciclo hidrológico global

- Energia do sol que atua sobre o sistema terrestre: 36% de toda a energia que chega a terra é utilizada para a evaporação da terra e do mar;
- A água evaporada para a atmosfera fica em média dez dias na atmosfera;
- O fluxo sobre a superfície terrestre é positivo, ou seja a precipitação é maior que a evapotranspiração, resultando nas vazões dos rios;
- Nos oceanos o fluxo é negativo, já que ocorre maior evaporação sobre superfícies líquidas do que precipitação





Fluxos



Unidades : $10^{12} \text{ m}^3/\text{ano}$

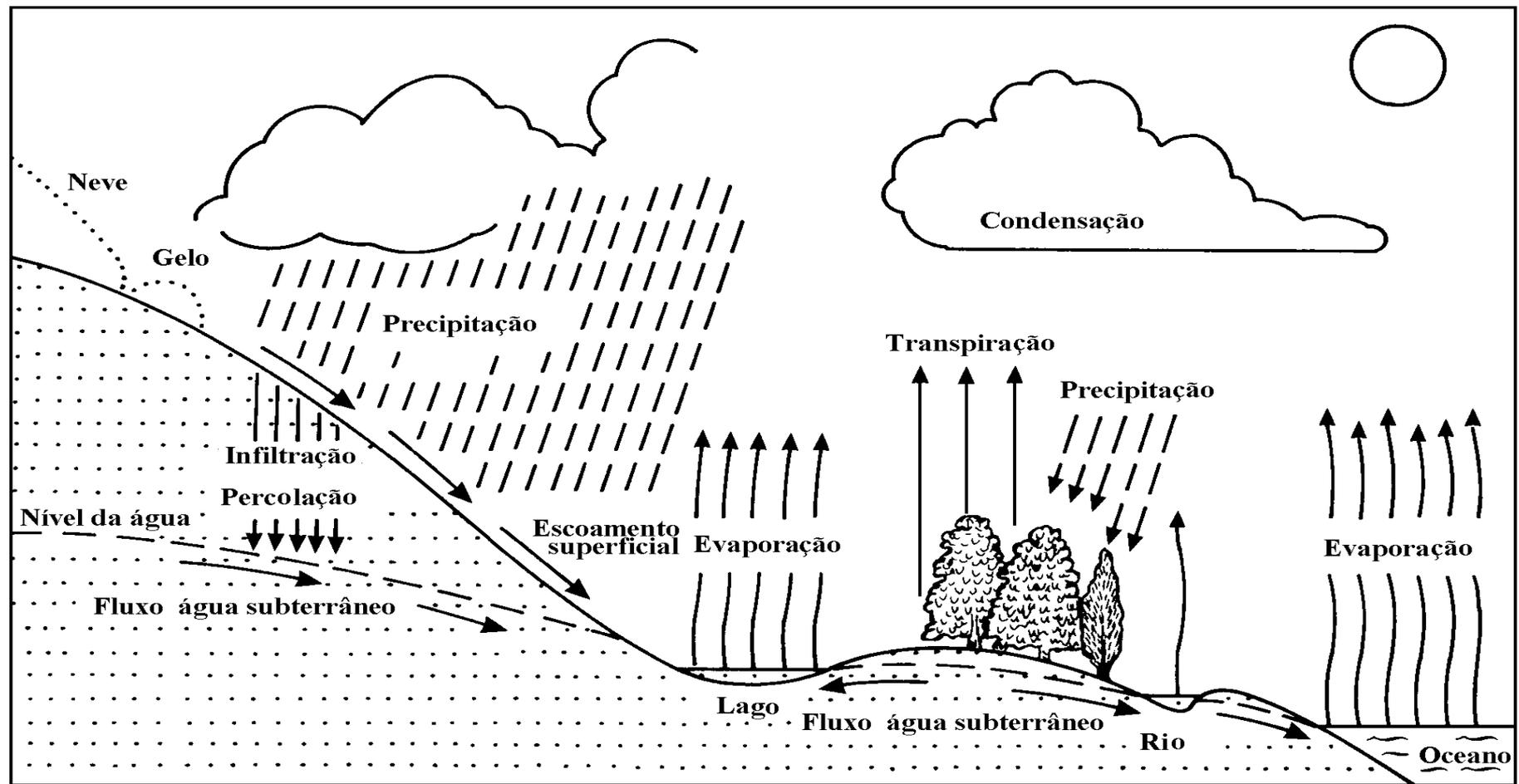


Reservatórios

- Oceanos $1.350 \times 10^{15} \text{ m}^3$
- Geleiras $25 \times 10^{15} \text{ m}^3$
- Águas subterrâneas $8,4 \times 10^{15} \text{ m}^3$
- Rios e Lagos $0,2 \times 10^{15} \text{ m}^3$
- Biosfera $0,0006 \times 10^{15} \text{ m}^3$
- Atmosfera $0,0130 \times 10^{15} \text{ m}^3$



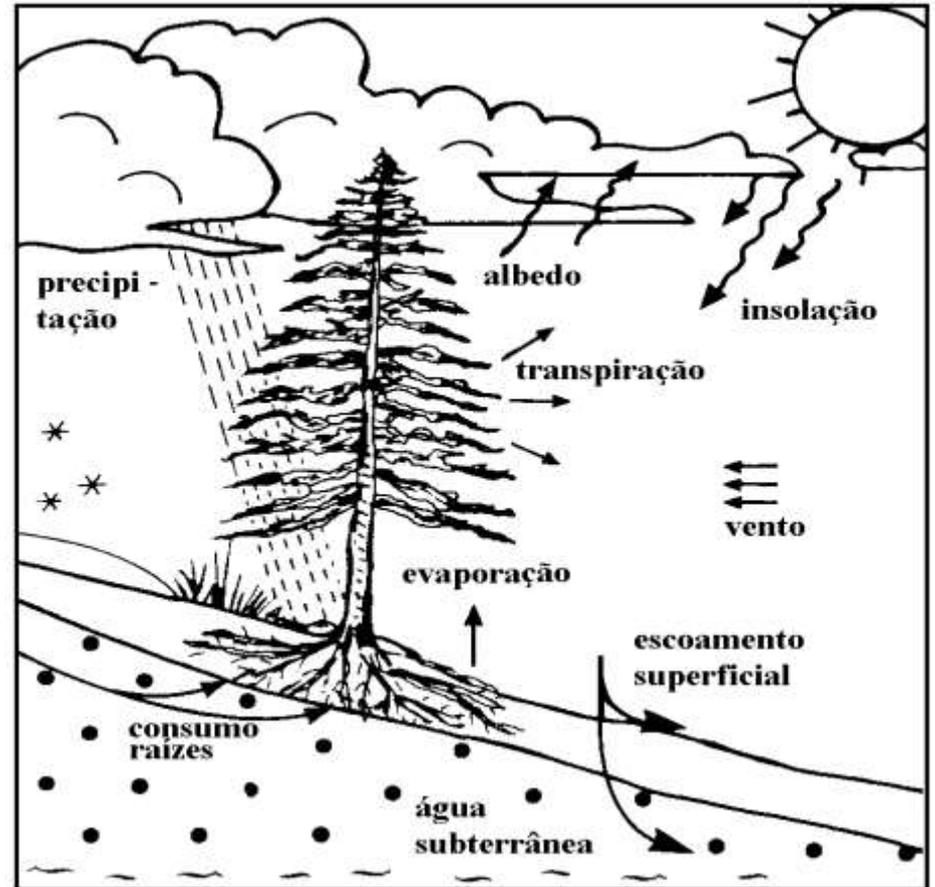
Processos hidrológicos terrestre





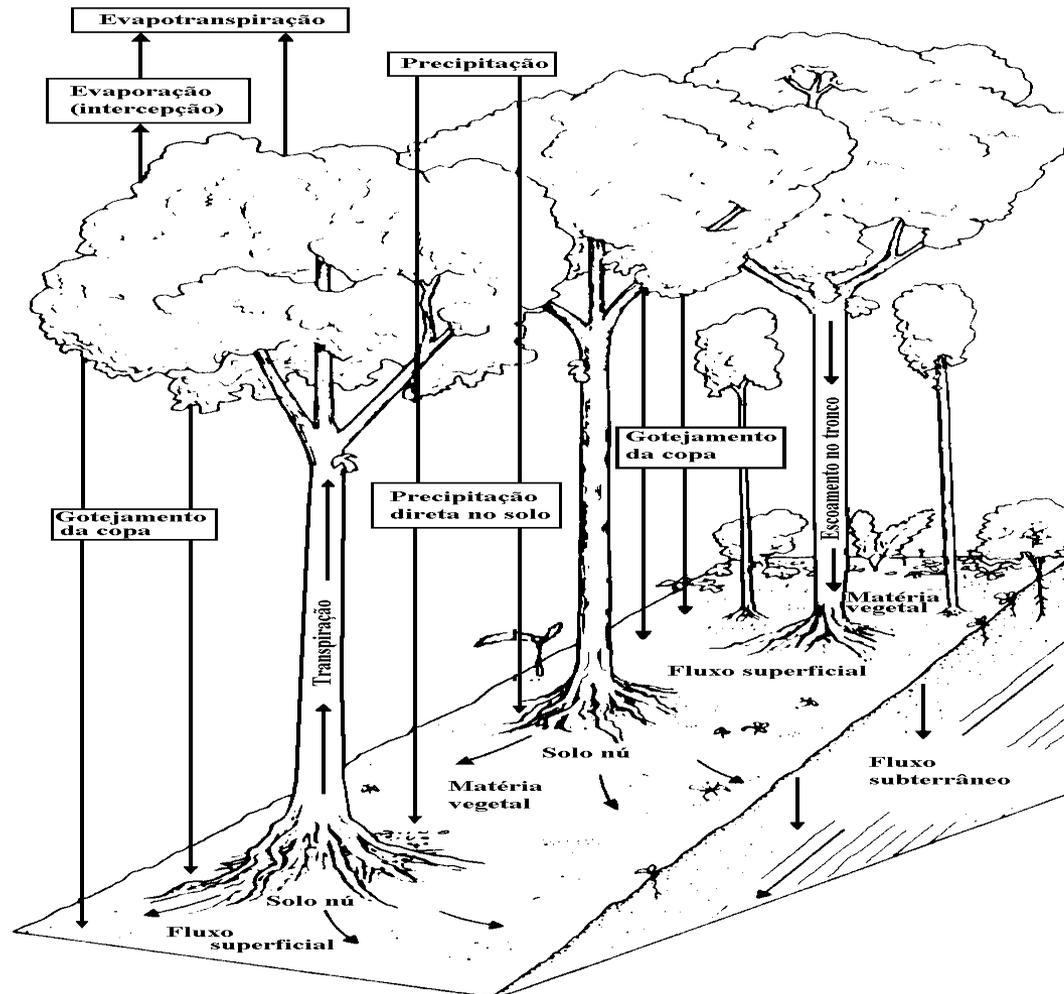
Processos Verticais

- Precipitação
- Interceptação
- Evapotranspiração
- evaporação
- Infiltração
- Percolação





Interceptação

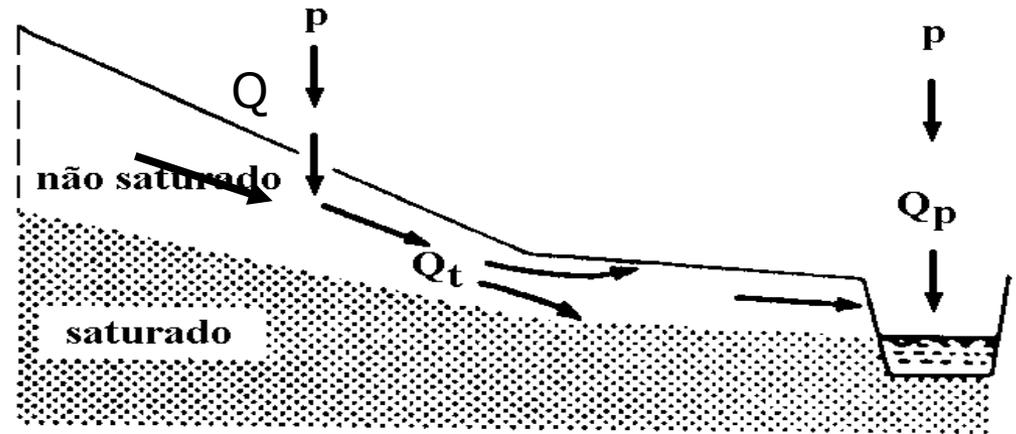




Escoamentos na bacia

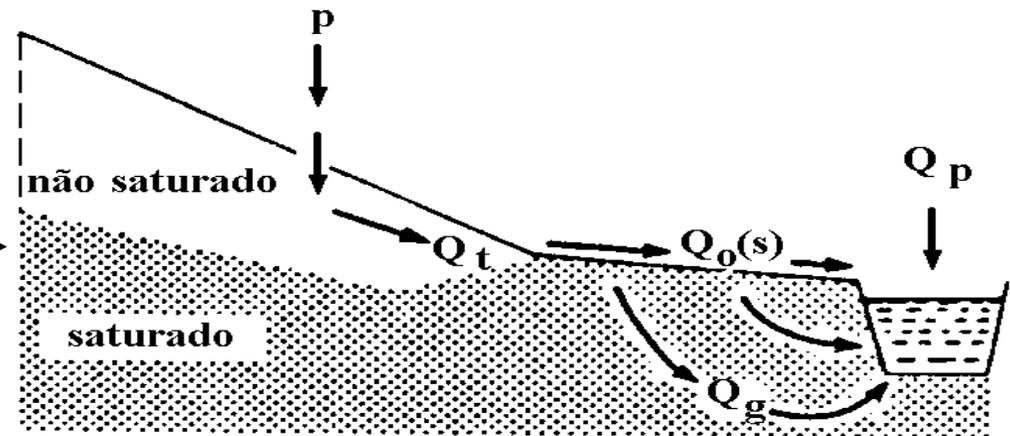
Hortoniano

Parte da chuva infiltra e não retorna a superfície



Áreas de saturação:

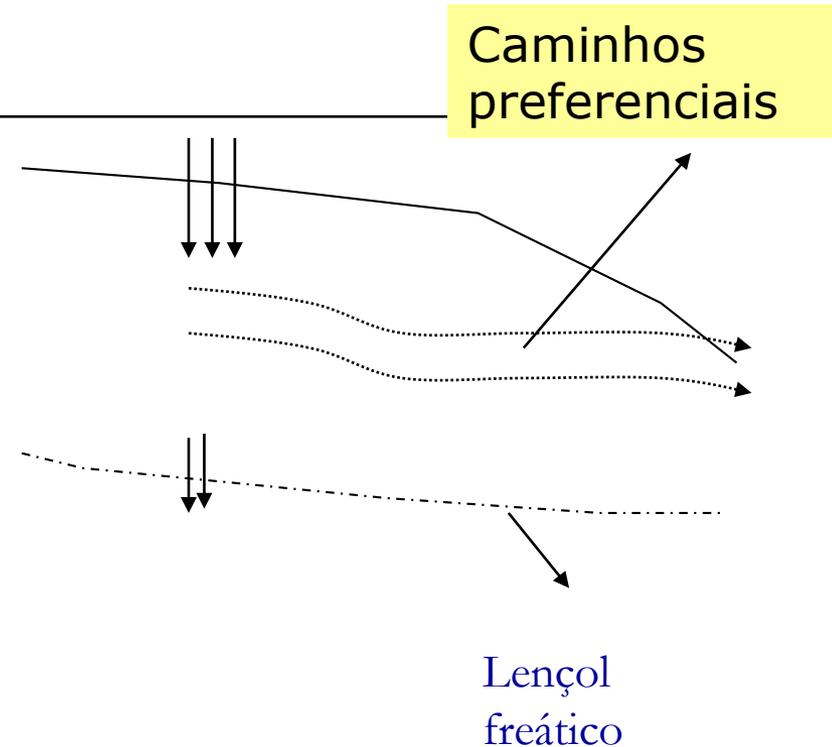
Existem áreas de recarga onde a precipitação infiltra e a jusante áreas em que parte deste volume retorna a superfície.





Processos

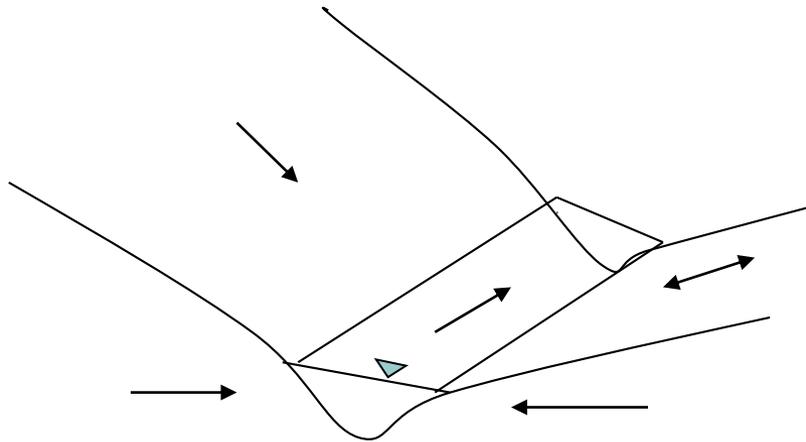
- Em bacias menores a água ao infiltrar percola para o subterrâneo, mas parte do volume cria caminhos preferenciais que podem gerar fluxos superficiais a jusante;
- O fluxo hortoniano é adotado para balanços de bacias maiores ($> 10-15 \text{ km}^2$) onde o efeito do escoamento sub-superficial fica integrado ao escoamento superficial.





Escoamento em rios e reservatórios

- Escoamento dentro de um sistema definido, depende do deslocamento da água ao longo de um leito definido. Dois efeitos principais : armazenamento e gravidade/rugosidade (dinâmica do fluxo).





Efeitos Antrópicos

- Alterações produzidas pelo homem sobre o ecossistema pode alterar parte do ciclo hidrológico quanto a quantidade e qualidade da água.
- *A nível global:* Emissões de gases para a atmosfera produz aumento no efeito estufa, alterando as condições das emissões da radiação térmica, poluição aérea, etc;
- *A nível local:* obras hidráulicas atua sobre o rios, lagos e oceanos; desmatamento atua sobre o comportamento da bacia hidrográfica; a urbanização também produz alterações localizadas nos processos do ciclo hidrológico terrestre, contaminação das águas, etc.



Modificação climática

- Tópico será abordado em capítulos posteriores
- O impacto da emissão de gases pode ser de alteração, além da variabilidade natural das condições de precipitação, evapotranspiração, radiação solar, etc em diferentes partes do globo;
- Existem a variabilidade natural e a modificação climática, a primeira se refere aos condicionantes sem efeitos antrópicos e o segundo devido aos efeitos antrópicos

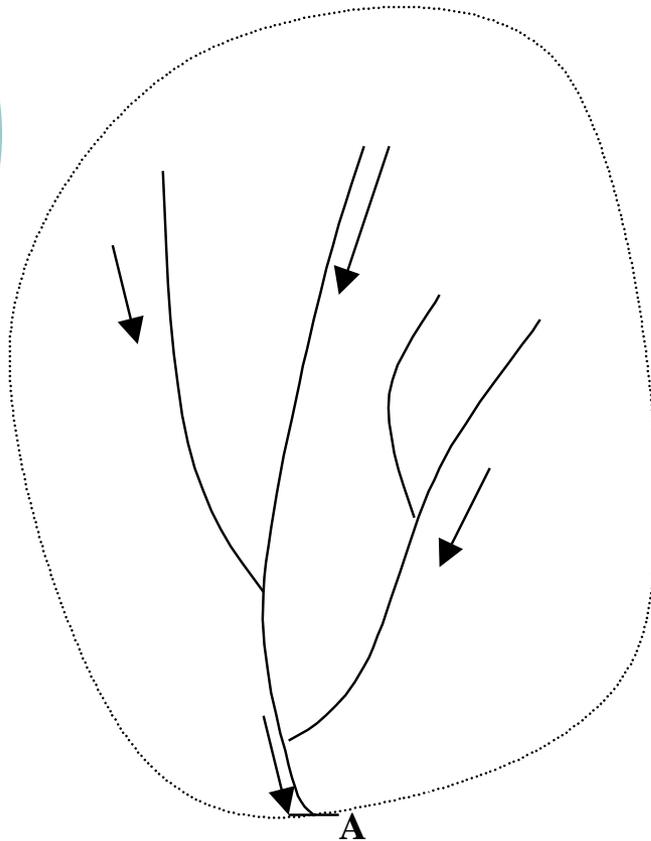


Bacia hidrográfica

- Definida por uma seção de rio
- Representa toda a área de contribuição superficial que a água escoar por gravidade até a seção do rio;
- A bacia hidrográfica do escoamento subterrâneo pode ser diferente. O erro pode diminuir com o aumento da bacia ou a escala da informação;
- Delimitação gráfica ou através de geoprocessamento;



Bacia hidrográfica



A - seção principal

..... Delimitação da
bacia

— Sistema
fluvial

- A bacia hidrográfica é definida por uma seção transversal;
- Drena toda a água que escoia superficialmente por gravidade para a seção principal;
- O divisor de água subterrâneo pode ser diferente do superficial. Efeito maior para bacias pequenas



Principais Variáveis

- **Área de drenagem** – A vazão de um rio depende da área da bacia -
 $Q = q \cdot A$ –
 q é a vazão específica (em mm ou l/s/km² e A ; em km²
Ex. Q médio de 30 m³/s numa bacia de 2000 km², a vazão específica é q
 $= Q/A = 15$ l/s/km²
- **Comprimento do rio principal:** é um indicador da característica da bacia e indiretamente da área
- **Declividade média do rio principal** – influencia as vazões máxima e mínimas. (Ex maior declividade maior pico e menor vazão de estiagem)
- **Densidade de drenagem** – maior densidade, maior escoamento e volume de escoamento.
- **Desnível.**



Caracterização

- **Área de drenagem de uma bacia (A)** : pode ser determinada por planímetro ou por técnicas de geoprocessamento;
- **Comprimento do rio principal (L)**: para cada bacia existe um rio principal. Define-se o rio principal de uma bacia hidrográfica como aquele que drena a maior área no interior da bacia. A medição do comprimento do rio pode ser realizada por curvímetro ou por geoprocessamento;

- **Declividade média do rio (S_m)** :

$$S_m = \frac{H(0,85L) - H(0,10L)}{0,75L}$$

$$S_m = \frac{\sum_{i=1}^N l_i S_i}{L}$$

$$D = \frac{\sum_{i=1}^N L_i}{A}$$



Densidade de drenagem

- D – densidade de drenagem; A a área de drenagem

$$D = \frac{\sum_{i=1}^N L_i}{A}$$

Frequência de drenagem

$$F = \frac{\sum_{i=1}^k N_i}{A_k}$$

$$\frac{F}{D^2} \approx 0,694$$



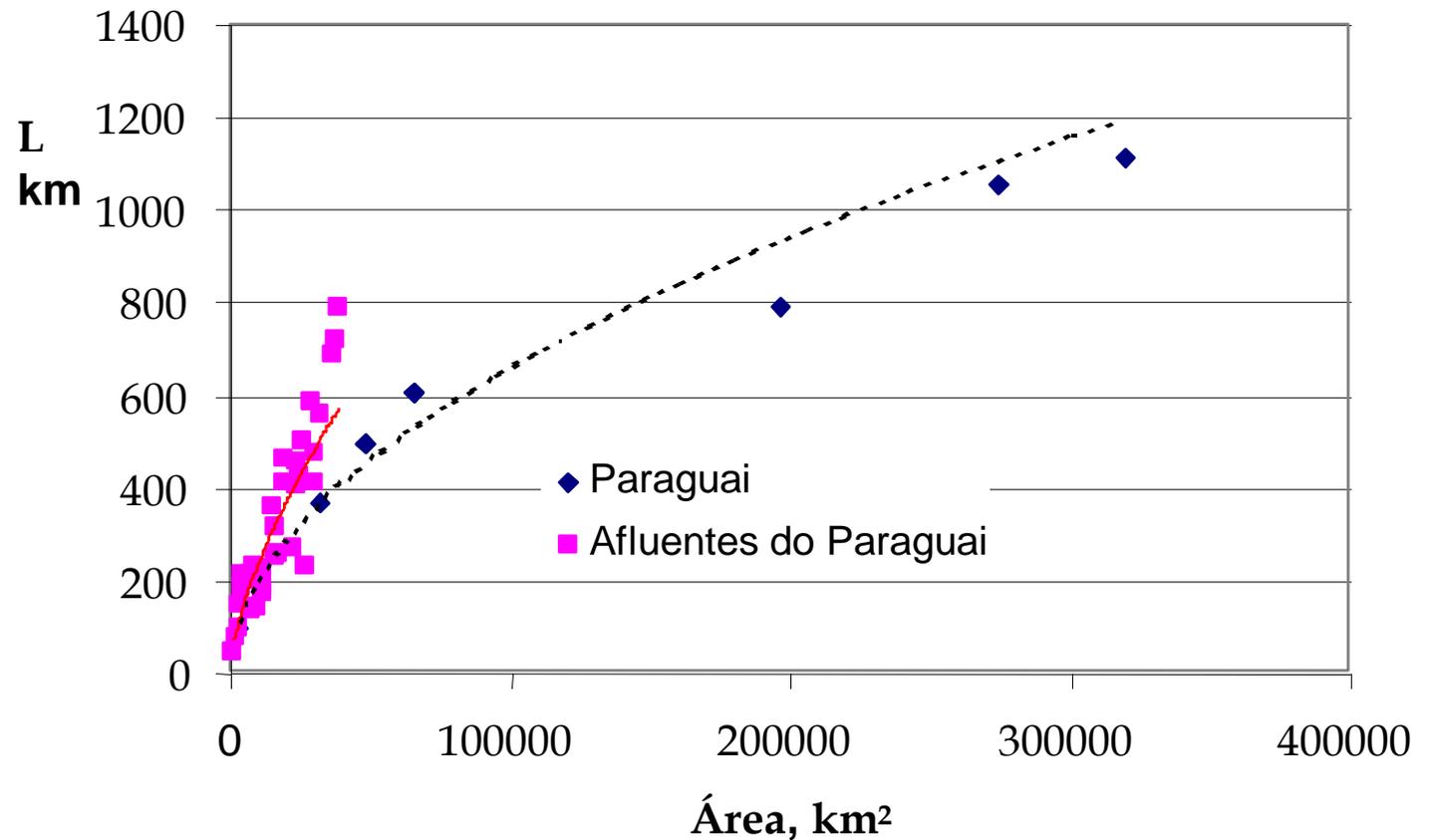
Relações entre variáveis

- **Área e comprimento**
- $L = a A^b$

Bacia	a	b	R ²
Brasil	1,64	0,538	-
Rio Uruguai	1,61	0,574	0,86
Afluentes do rio Paraguai	0,49	0,668	0,82
Rio Paraguai	1,76	0,514	0,98

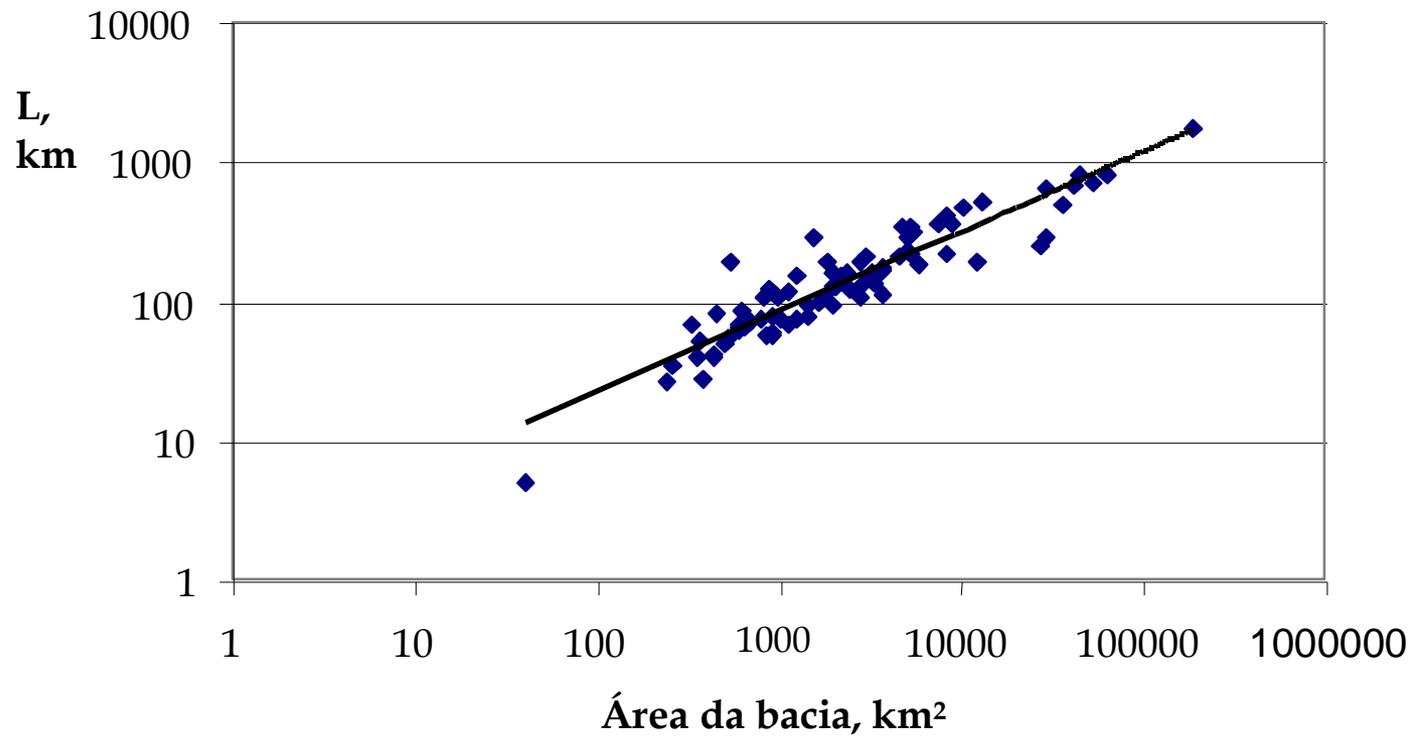


Rio Paraguai



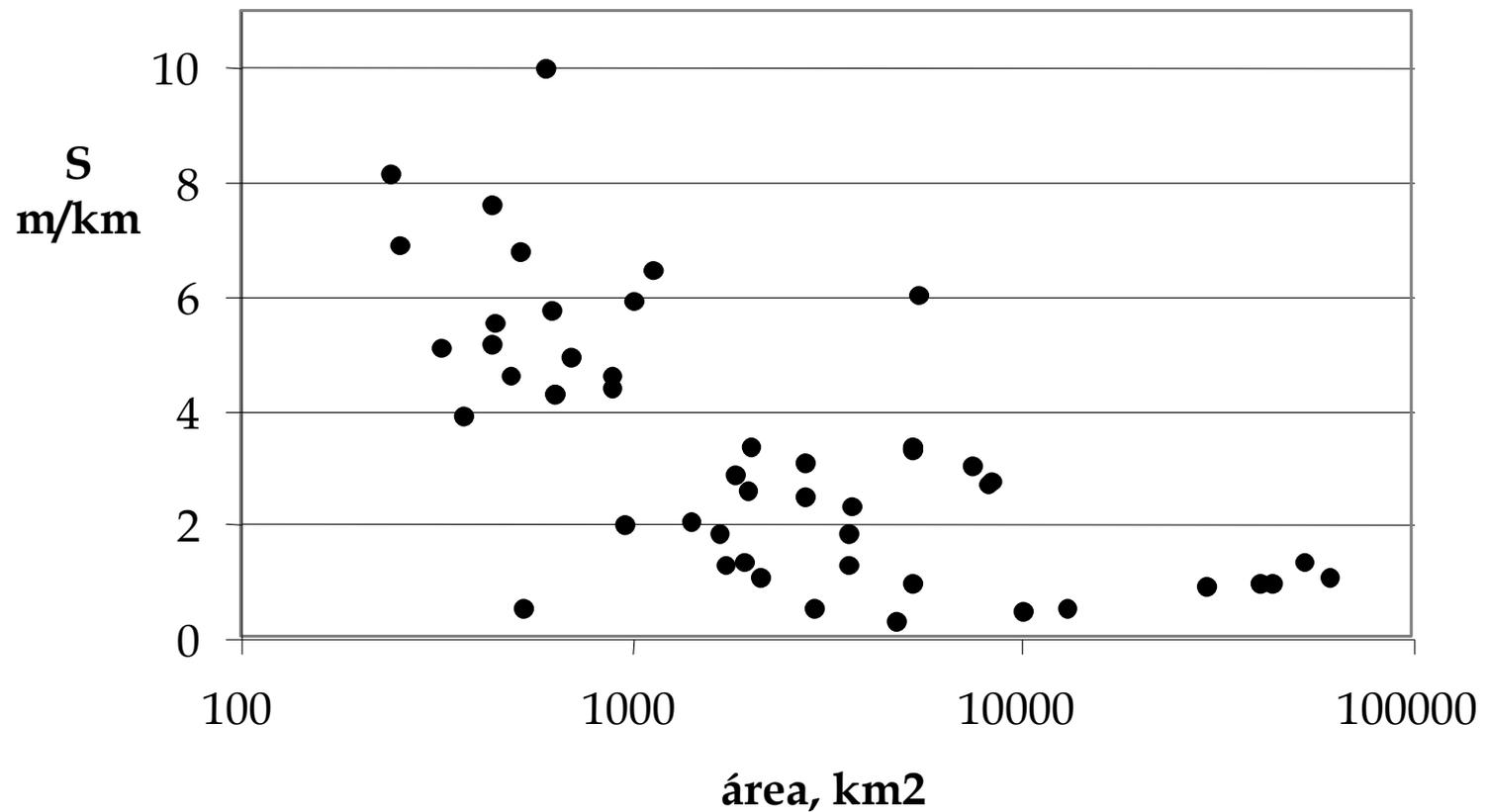


Rio Uruguai



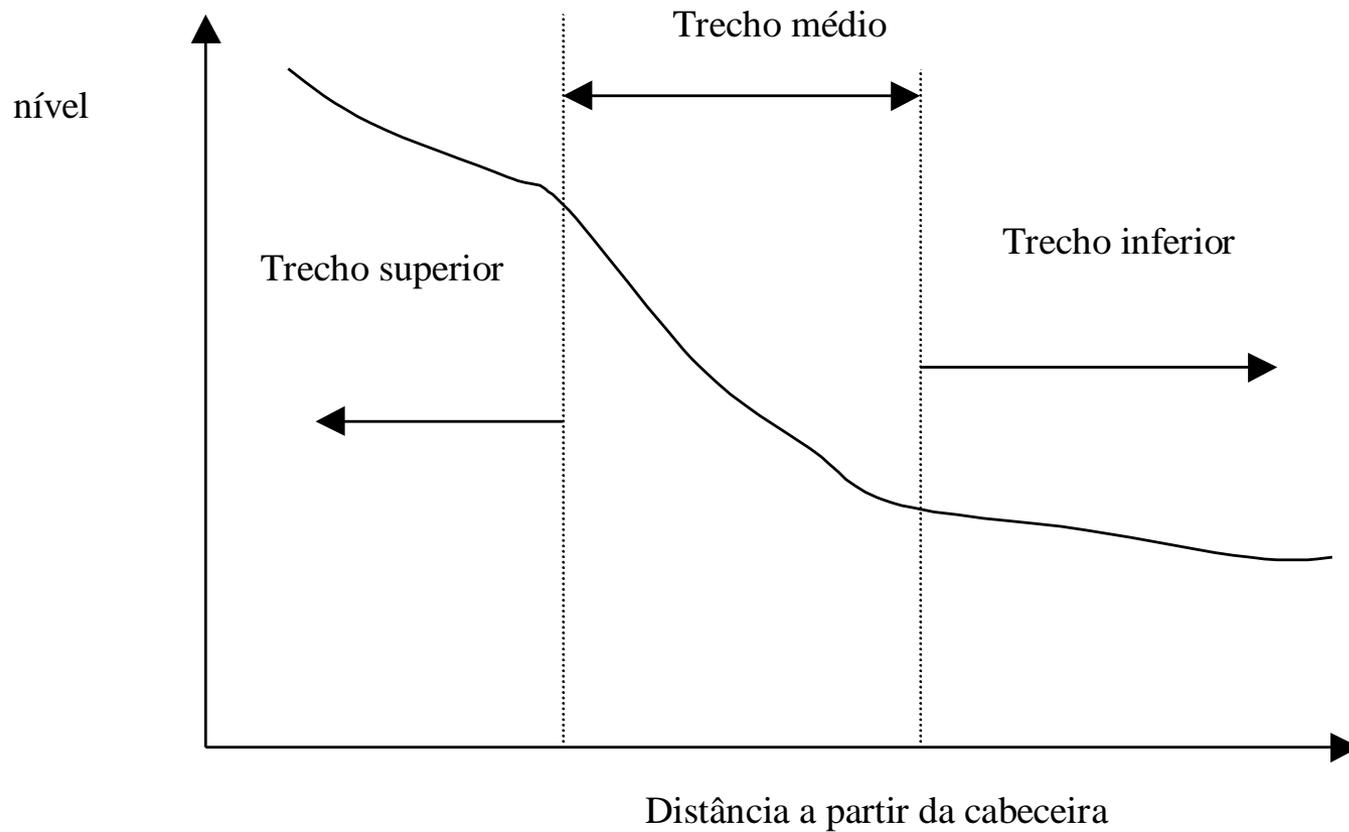


Área e declividade





Características da declividade dos rios





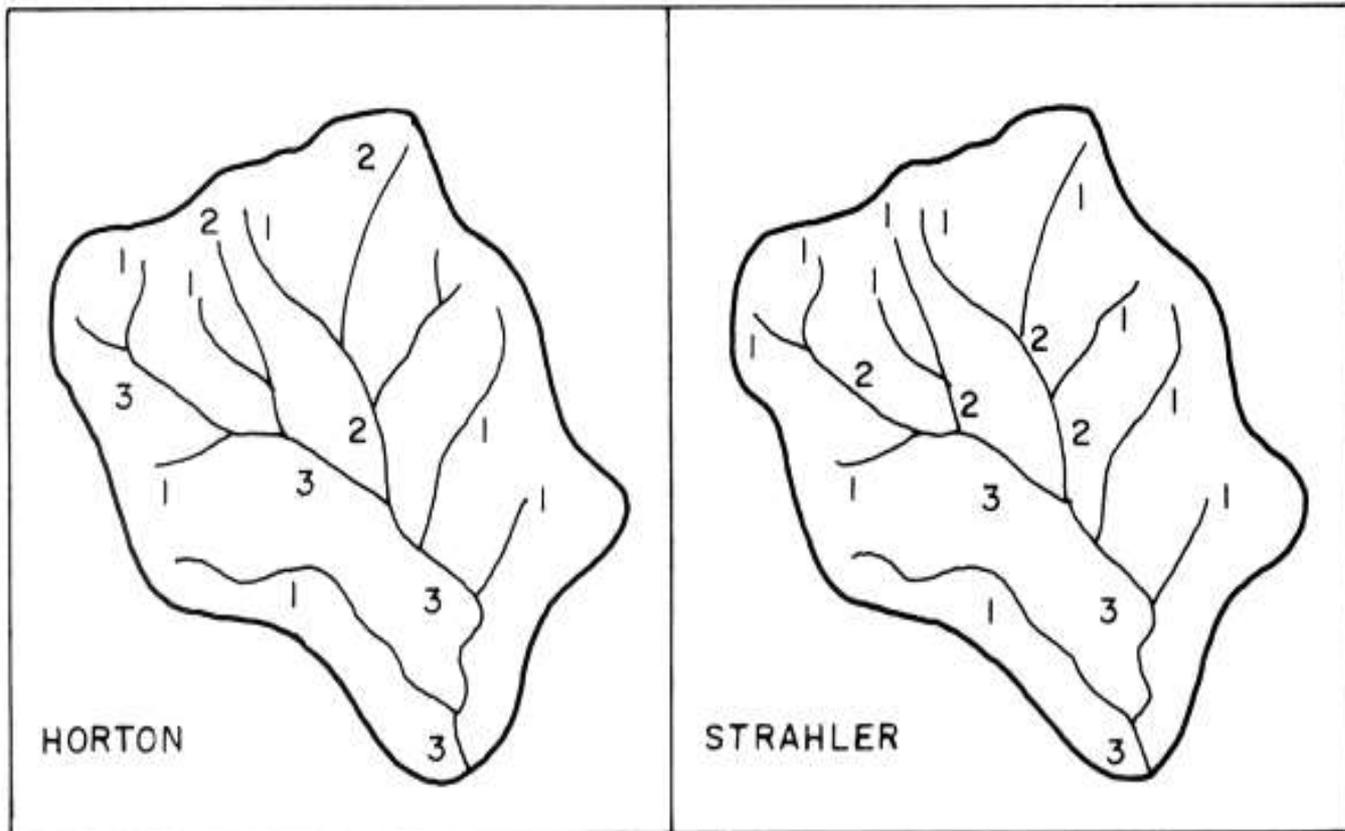
Ordem

- Horton: os canais de primeira ordem são aqueles que não possuem tributários; os canais de segunda ordem têm apenas afluentes de primeira ordem; os canais de terceira ordem recebem afluência de canais de segunda ordem, podendo também receber diretamente canais de primeira ordem; sucessivamente, um canal de ordem u pode ter tributários de ordem $u-1$ até 1.
- Strahler: todos os canais sem tributários são de primeira ordem, mesmo que sejam nascentes dos rios principais e afluentes; os canais de segunda ordem são os que se originam da confluência de dois canais de primeira ordem, podendo ter afluentes também de primeira ordem; os canais de terceira ordem originam-se da confluência de dois canais de segunda ordem

Depende da escala analisada



Ordem





Caracterizações utilizadas na gestão

- **Ottobacia** – inicia pela seção principal da bacia, discretiza até 10 sub-bacias em distribuídas e pontuais, dando números ímpares para as pontuais e par para as distribuídas. Com esta codificação existirão até seis níveis de caracterização.
- Na gestão de recursos hídricos são definidas dentro a seqüência de até três níveis das bacias nacionais para serem elaborados Planos de bacia e instalação de comitê (???)verificar)



Hidrograma

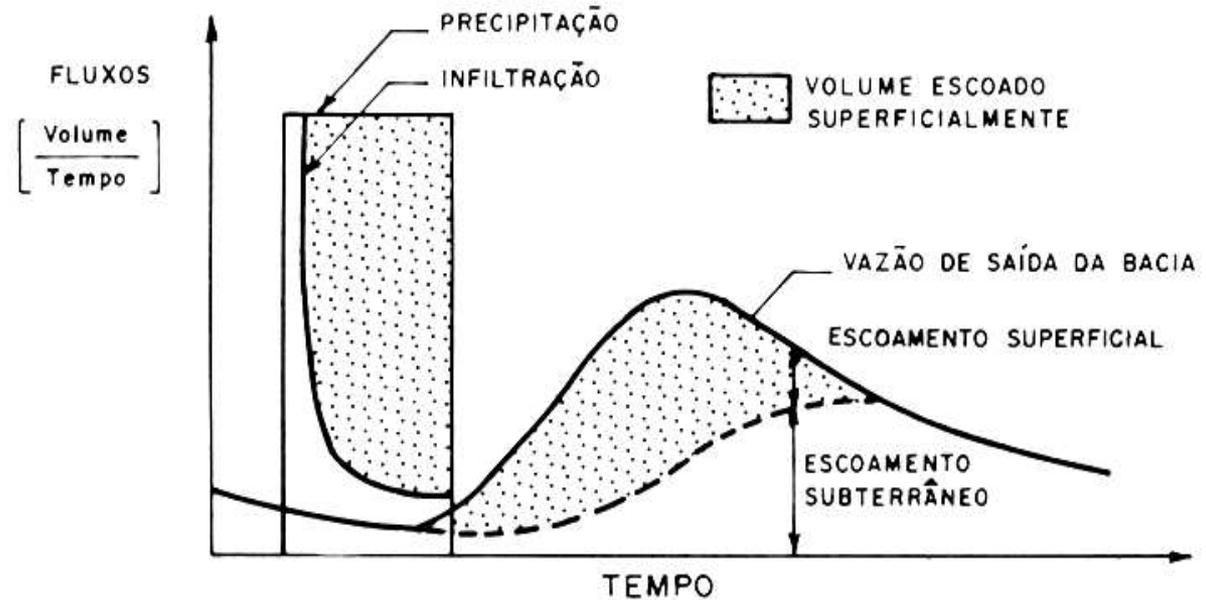
- As funções de entrada na bacia são $P(t)$ e $E(t)$

$P(t)$ = hietograma

- A saída é $Q(t)$

$Q(t)$ = hidrograma que integra no espaço o efeito da precipitação e de todas as variáveis e processos no espaço da bacia

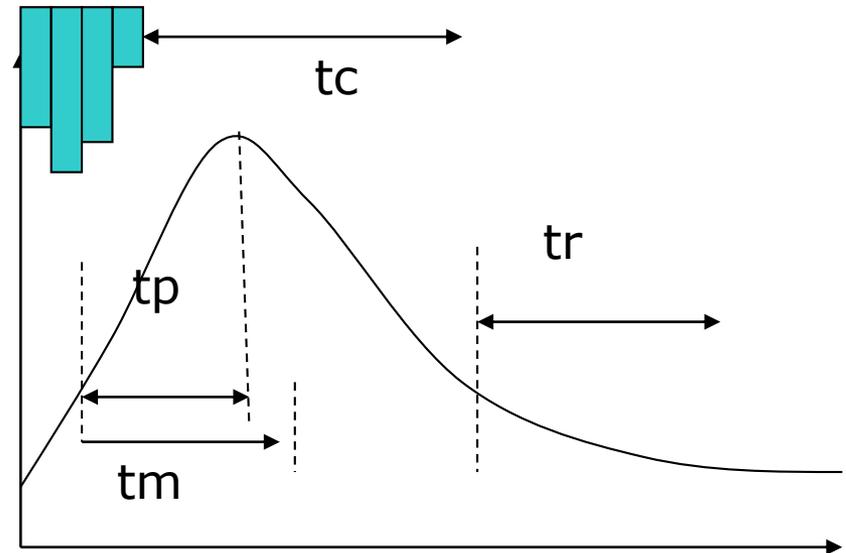
A vazão integra o escoamento superficial, sub-superficial e subterrâneo





Características do hidrograma

- Tempo de concentração: é o tempo que a água superficial leva para escoar do ponto mais distante até a seção principal;
- Tempo de pico: é o tempo entre o centro de gravidade da precipitação e o pico do hidrograma;
- Tempo médio de deslocamento da vazão: é o tempo entre o centro de gravidade do hietograma e o do hidrograma.
- Período de recessão: quando termina o escoamento superficial





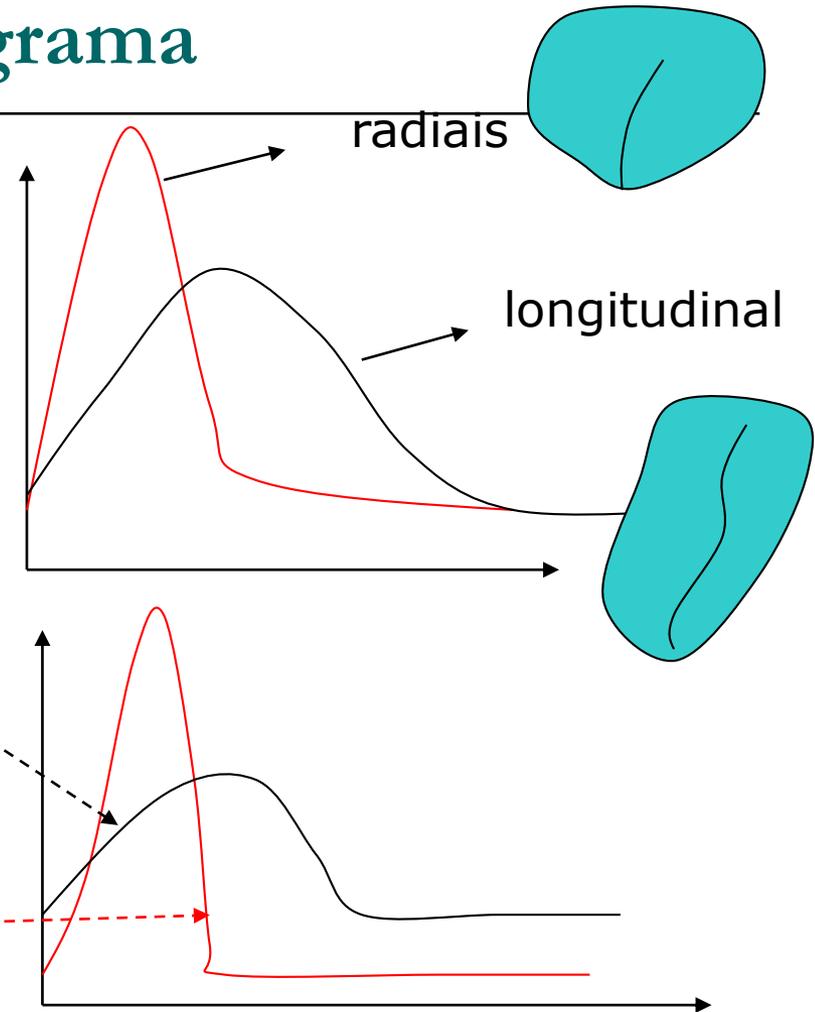
Variáveis que influenciam o hidrograma

- Precipitação: distribuição temporal e espacial
- Evapotranspiração e interceptação;
- Cobertura do solo;
- Tipo e espessura do solo;
- Relevo e forma: declividade o rio e da bacia, comprimento, área, densidade de drenagem, etc.
- Tipo de aquífero e formação rochosa.



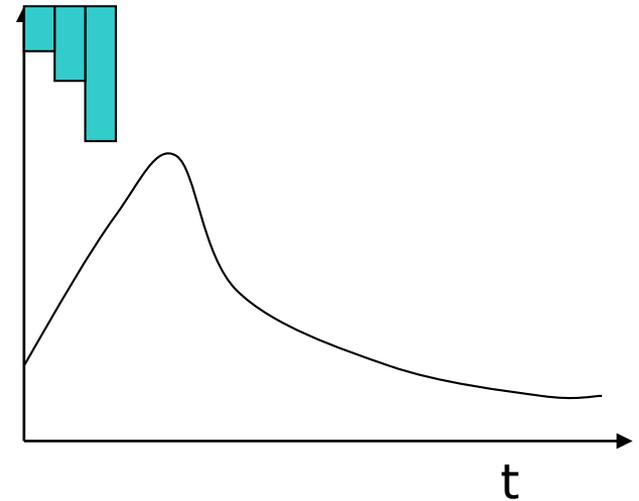
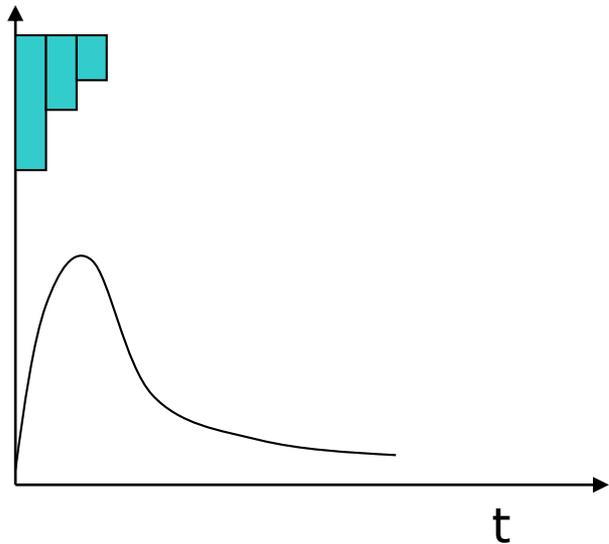
Efeito das características físicas no hidrograma

- *Bacias radiais* com declividade alta possuem tempo de concentração e hidrograma com maiores picos que as bacias *longitudinais*
- Bacias com aquífero com volume maior (p.ex. sedimentar) regulariza a vazão de estiagem, enquanto que uma bacia com pequena profundidade do solo e rocha tende a apresentar pequena regularização anual





Efeito da precipitação: distribuição temporal e espacial



- Efeito temporal da chuva
- Efeito espacial: chuva de montante para jusante pode sincronizar o pico