



# TH027 – Hidráulica e Hidrologia Experimental

## Parte: Hidrologia

### **Professores:**

Alexandre Guetter

Cristovao V. S. Fernandes

Marcelo Bessa

Regina Tiemy Kishi

<http://people.ufpr.br/~rtkishi.dhs/TH027>

## Bibliografia recomendada

---

- SANTOS, I. dos et al. Hidrometria Aplicada, Curitiba, LACTEC, 2001.
- PINTO, N. L. S., HOLTZ, A. C. T., MARTINS, J. A., GOMIDE, F. L. S Hidrologia Básica, São Paulo, Edgard Blücher, Rio de Janeiro, Fundação Nacional de Material Escolar, 1976.
- TUCCI, C. E. M. (org.), Hidrologia: Ciência e Aplicação, Porto Alegre: Ed. da Universidade : ABRH : EDUSP, 1993, (Coleção ABRH de Recursos Hídricos; v.4)
- LINSLEY, R.K.; FRANZINI, J.B. Engenharia de Recursos Hídricos. São Paulo: USP. MacGraw Hill. 798p.
- VILLELA, S. M.; MATTOS, A. Hidrologia Aplicada, São Paulo, McGraw-Hill do Brasil, 1975.

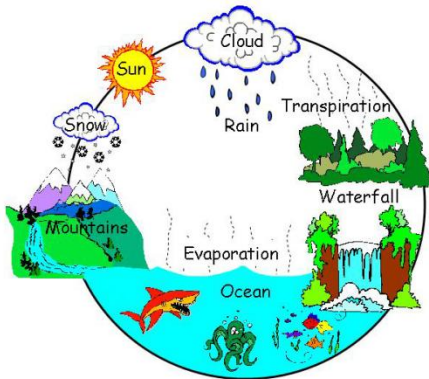
### **IMPORTANTE:**

- **Imprescindível estudo em literatura recomendada e/ou outros livros.**
- **Slides não são material de estudo!**

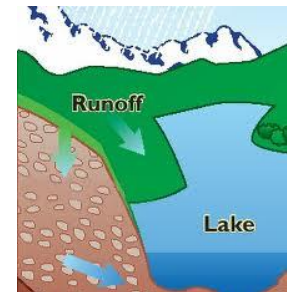
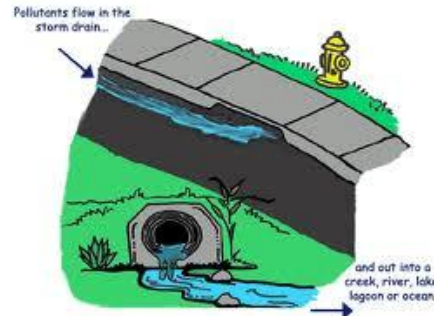
# HIDROLOGIA

**Hidrologia** é a ciência que trata da **água na Terra**, sua ocorrência, circulação e distribuição, suas propriedades físicas e químicas, e sua reação com o meio ambiente, incluindo sua relação com as formas vivas (U.S. Federal Council for Science and Technology, citado por Chow, 1959).

Fonte: Tucci

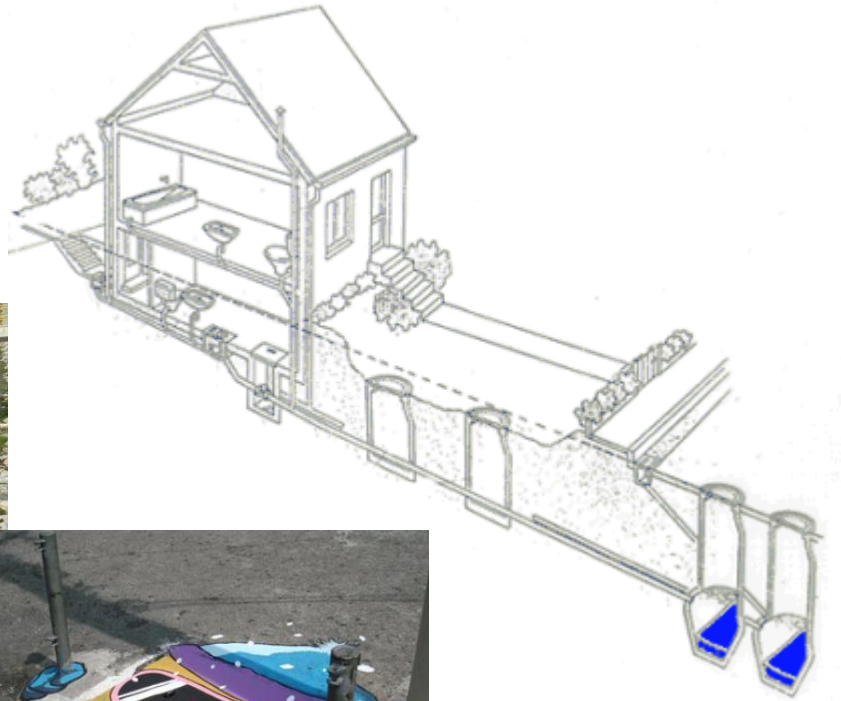


<http://water.tamu.edu/rivers.html>



# Aplicações

- **Projeto e construção de obras hidráulicas:** dimensionamento e estabelecimento de método de construção.



<http://www.beg-logistics.de/entwaesserung/rueckstausicherheit.php>

---

- **Planejamento e gerenciamento da bacia hidrográfica:**

Disponibilidade



demandas



Proteção e conservação dos recursos hídricos



Fonte: Walm

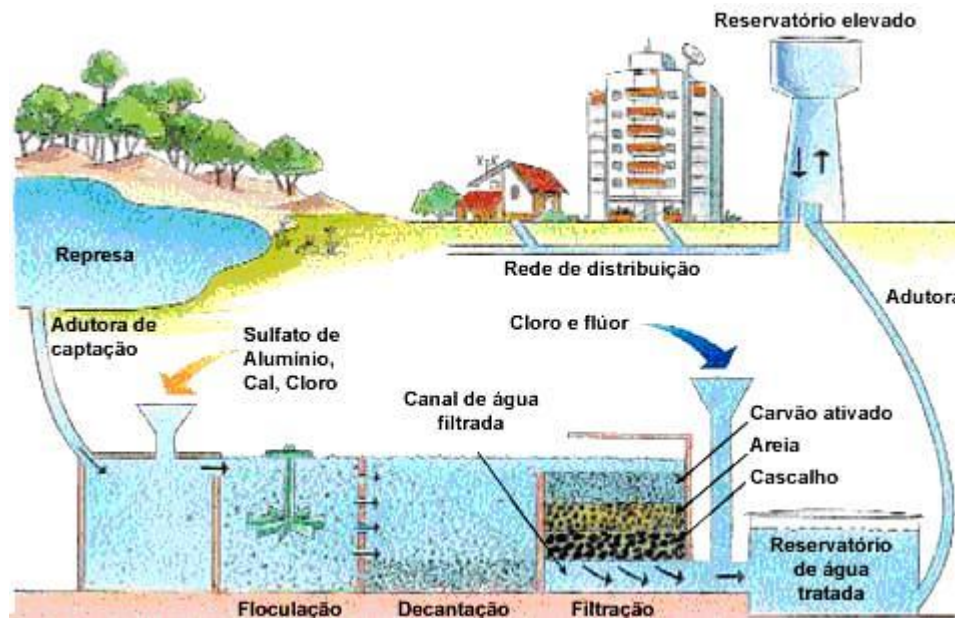


- **Abastecimento de água potável:**

Escolha de fontes de abastecimento de água

Disponibilidade de água

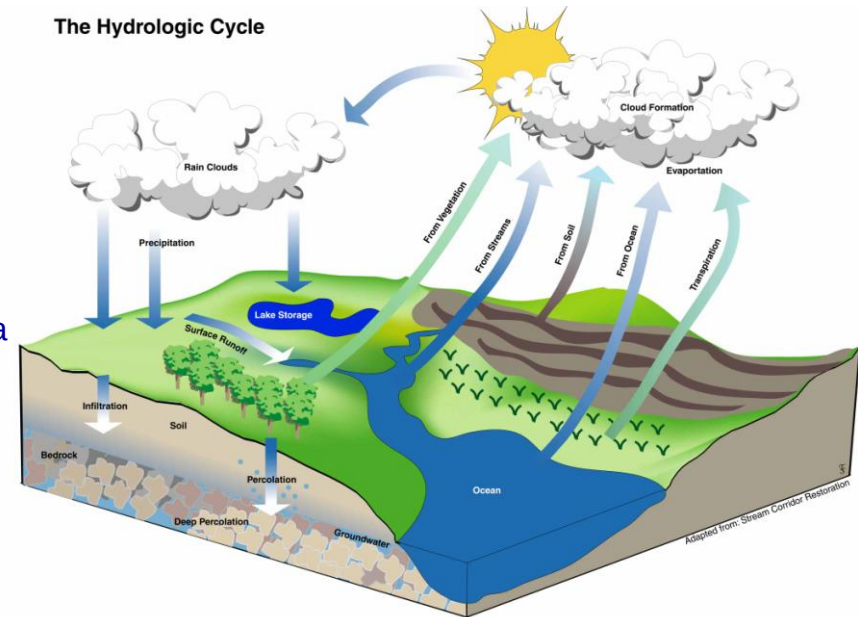
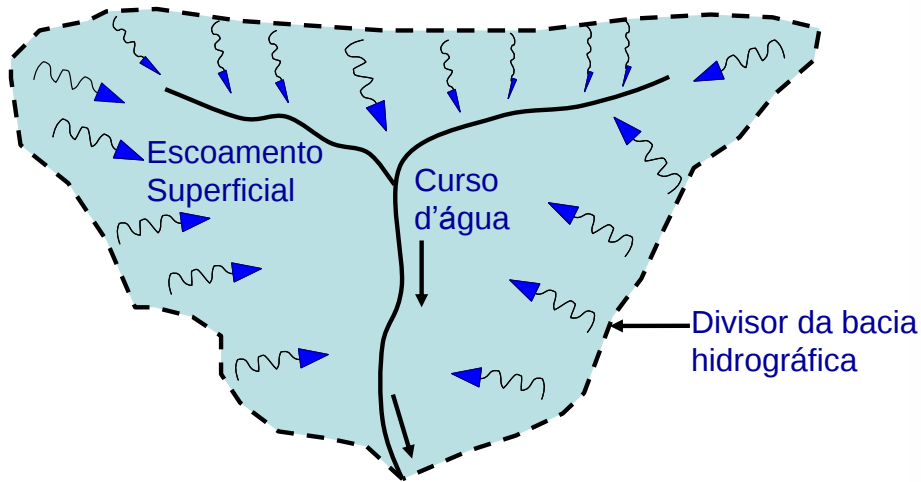
Qualidade da água adequada



- **Controle de eventos críticos: inundações e secas**



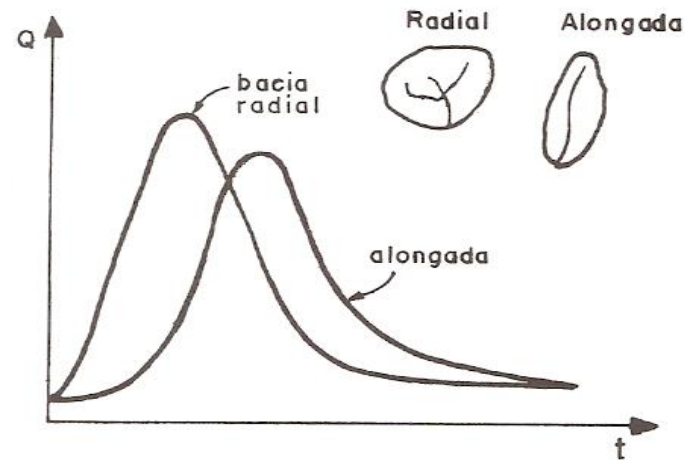
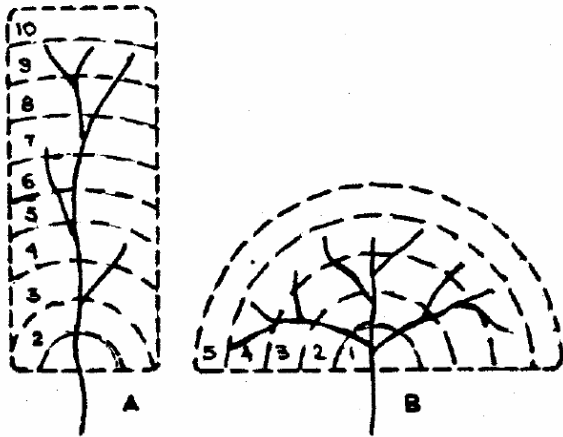
# 1 – Bacia hidrográfica



## Definição de bacia hidrográfica

- área de captação natural da água da precipitação que faz convergir os escoamentos para um único ponto de saída, seu **exutório** (Tucci, 1997)

## Forma x $t_c$



d - efeito da forma

● Coeficiente de compacidade ou Índice de Gravelius ( $K_c$ )

$$K_c = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

P : Perímetro da BH (km)  
A – Área da BH (km<sup>2</sup>)

$K_c = 1 \rightarrow$  bacia radial

■ Fator de forma ( $K_f$ )

$$K_f = \frac{A}{L^2}$$

$K_f$  baixo  $\rightarrow$  Bacia estreita e longa

Densidade de drenagem:

$$D_d = \frac{L^*}{A}$$

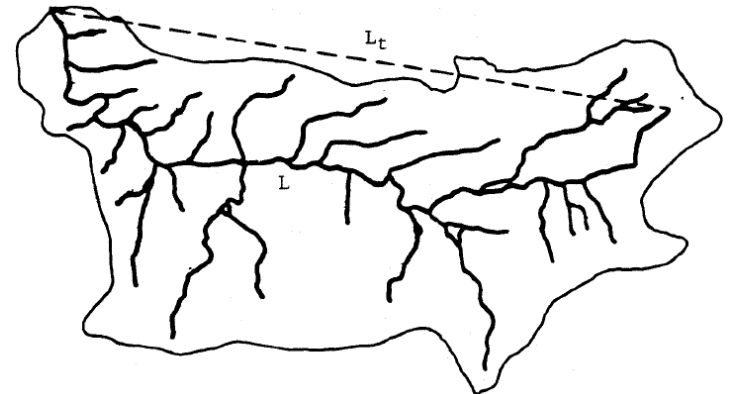
$L^*$  - Comprimento de todos os cursos de água  
 $A$  - Área



Sinuosidade do curso de água  $Sin = \frac{L}{L_t}$

$Sin \cong 1 \rightarrow$  Canal tende a ser retilíneo

$Sin > 2 \rightarrow$  Sugerem canais tortuosos



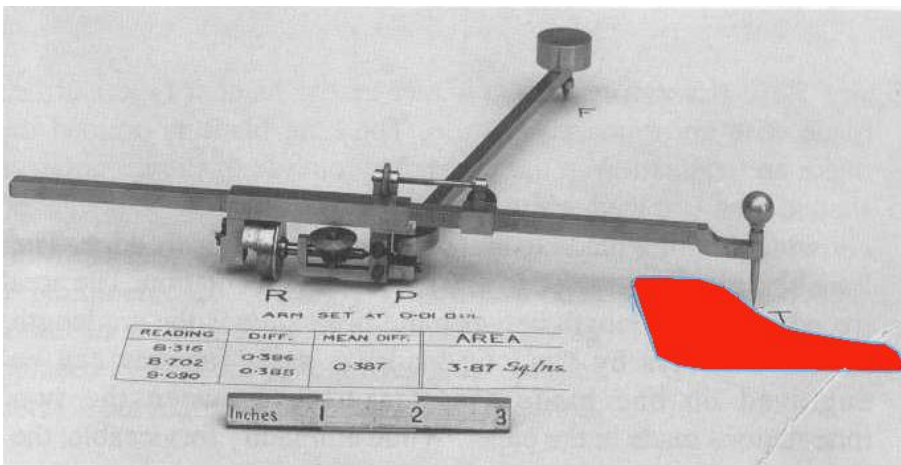
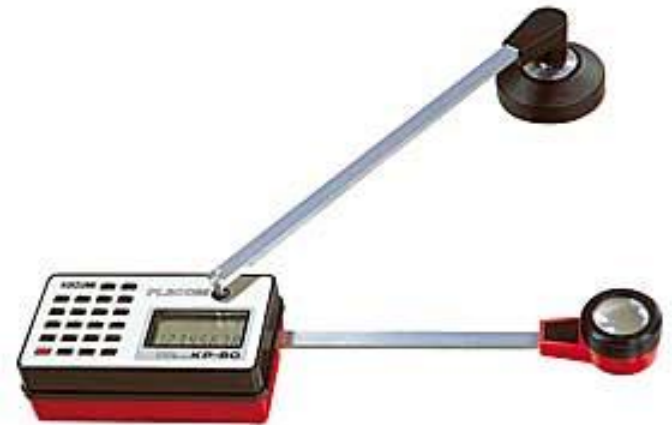
# a) Área de drenagem

Área plana (projeção horizontal) inclusa entre seus divisores topográficos.

## Determinação:

### a.1 - Planimetria

- Mapas em papel, escala razoavelmente grandes (1:50.000)



## b) Comprimento do 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 por:

- curvímeter ou
- por geoprocessamento;

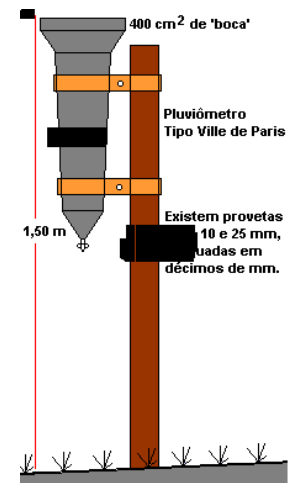
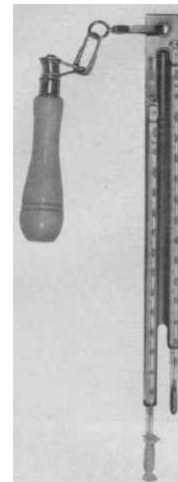
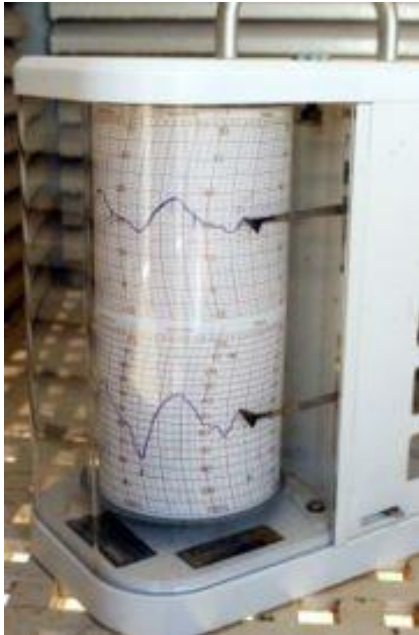


**Curvímeter:** Mede o comprimento de linhas retas e curvas.

## 2 – Estação meteorológica

---





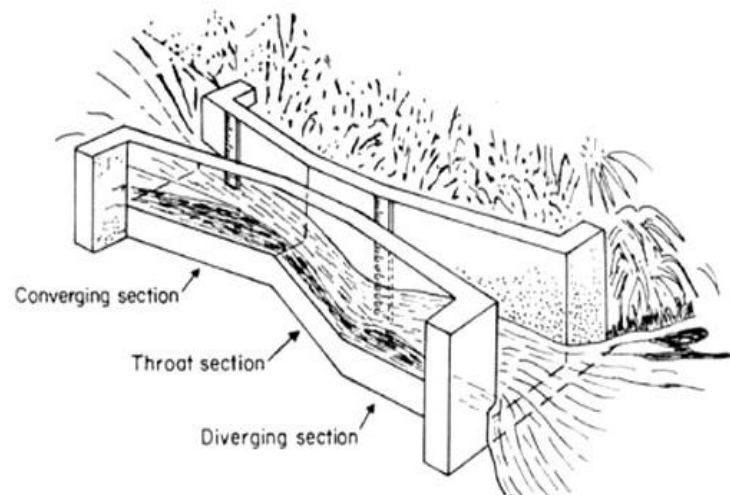
# 3 - Medição de Vazão

Diversos métodos e formas:

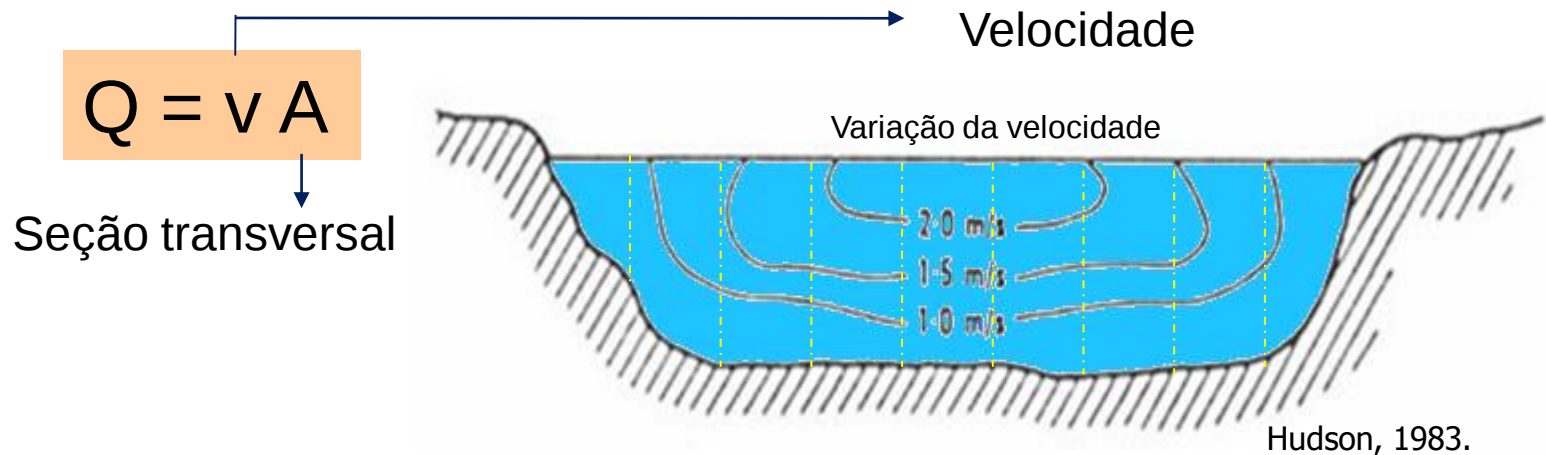
- Método volumétrico
- Vertedores
- Calha Parshall
- Método da área e velocidade
  - Molinete
  - Futuadores
- Método químico
- ADCP



A Parshall flume (redrawn from Scott and Houston 1959)



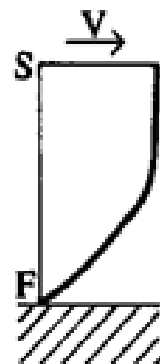
# a) Método da área e velocidade



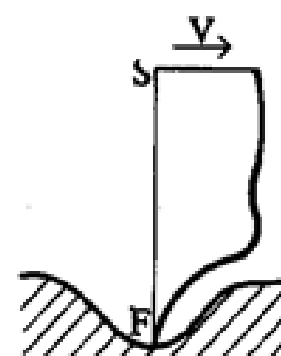
Fundo liso  
(areia)



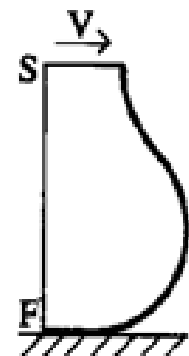
Fundo rugoso  
(rochoso)



Fundo muito rugoso  
Vegetação aquática



A jusante de uma rocha

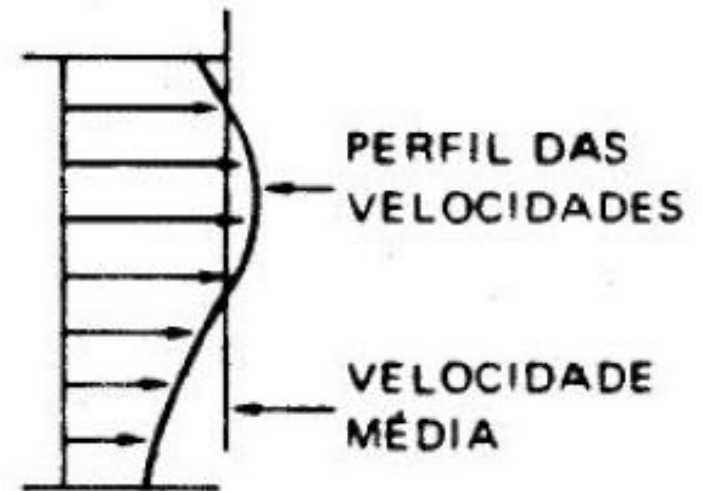
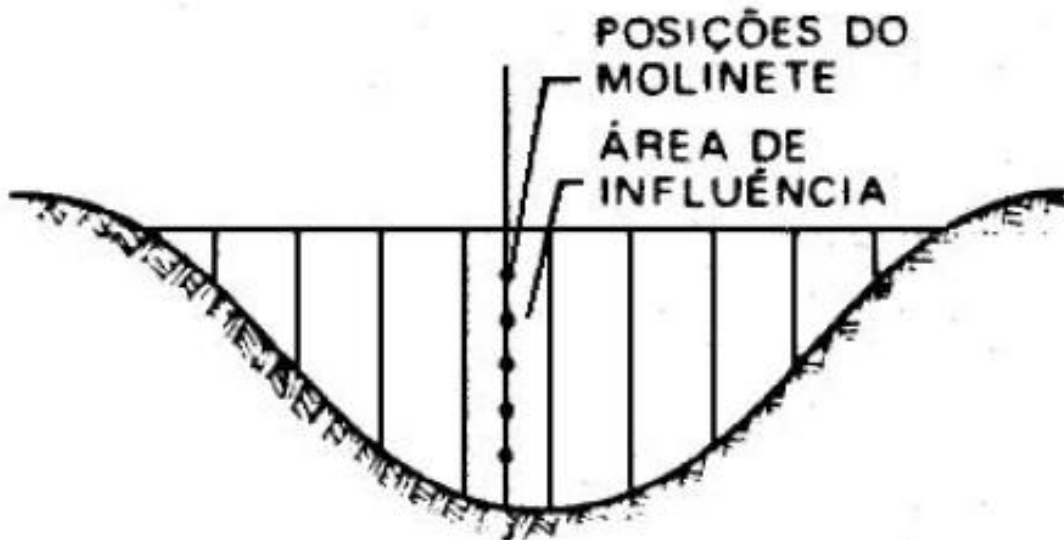


Frenagem na superfície

Fonte: Santos et al. Hidrometria Aplicada.

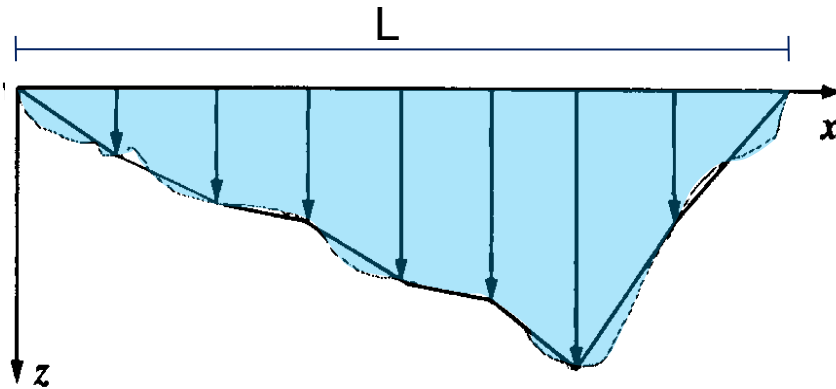
# Medição da velocidade com molinete

---



# Geometria

Estimativa pontual:

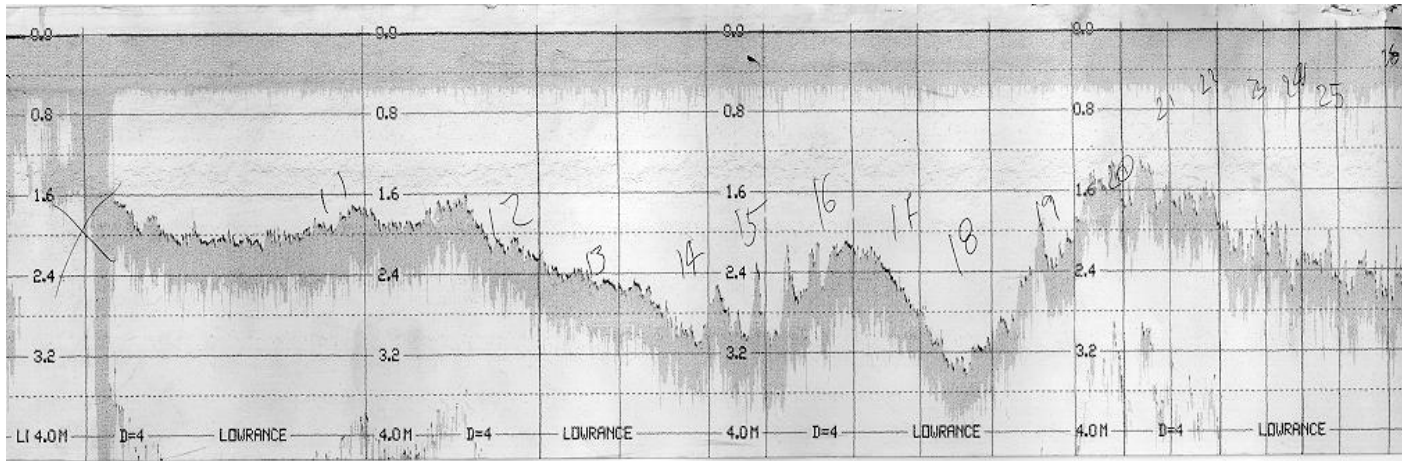


Área:

$$A = \int_0^L z(x) dx$$

Profundidade média:

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



# Medida da velocidade - Molinete



<http://www.fao.org/docrep/t0848e/t0848e-09.htm>



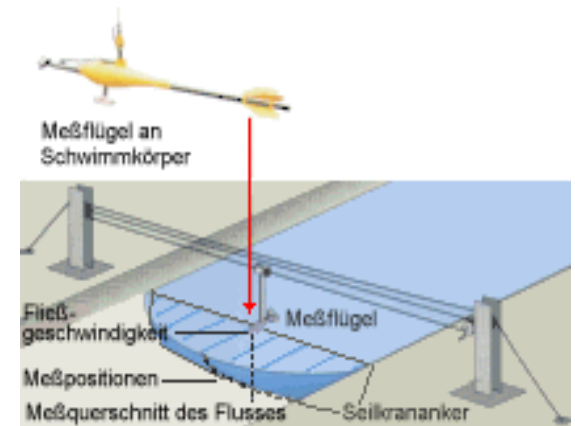
<http://www.hydro.tuwien.ac.at/print/forschung/projekte/der-loehnersbach/verbindung-zur-lehre-exkursionen.html>



UNESP Ilha Solteira



<http://www.geologyeducation.com/hydrology/>



[http://www.hnd.bayern.de/wir/wir\\_datenerfassung.htm](http://www.hnd.bayern.de/wir/wir_datenerfassung.htm)

## Estimativa pontual:

### Medição com molinete hidrométrico:

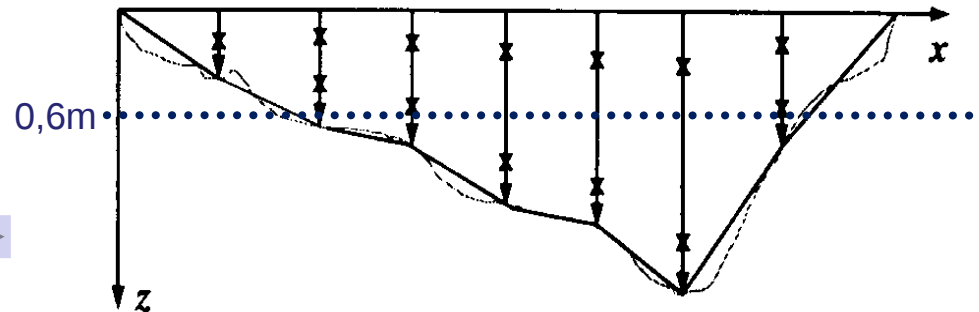
Medição em um número significativo de verticais (ver tabela).

A velocidade média em cada vertical pode ser medida de várias formas (ver tabela).

A mais comum:

$h(x) > 0,6m$ : média das velocidades medidas a 20% e 80% da profundidade.

$h(x) < 0,6m$ : velocidade medida a 60% da profundidade.



$\bar{u}$  Velocidade média na vertical

### Seção transversal:

Vazão:

$$Q = \int_0^L \bar{u}(x) z(x) dx$$

Velocidade média:

$$U = \frac{Q}{A}$$

Tabela 1: Distância recomendada entre verticais

| Largura de rio (m) | Distância entre verticais (m) |
|--------------------|-------------------------------|
| $\leq 3,00$        | 0,30                          |
| 3,00–6,00          | 0,50                          |
| 6,00–15,00         | 1,00                          |
| 15,00–50,00        | 2,00                          |
| 50,00–80,00        | 4,00                          |
| 80,00–150,00       | 6,00                          |
| 150,00–250,00      | 8,00                          |
| $\geq 250,00$      | 12,00                         |

Fonte: Paigot, 1948



Tabela 2: Cálculo da velocidade média na vertical (método detalhado)

| Nº de pontos | Posição na vertical (*) em relação à prof. 'h' | Cálculo da velocidade média na vertical                               | Profundidade (m) |
|--------------|------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|------------------|
| 1            | 0,6h                                           | $\bar{V} = V_{0,6}$                                                   | 0,15–0,6         |
| 2            | 0,2e0,8h                                       | $\bar{V} = (V_{0,2} + V_{0,8})/2$                                     | 0,6–1,2          |
| 3            | 0,2; 0,6e0,8h                                  | $\bar{V} = (V_{0,2} + 2V_{0,6} + V_{0,8})/4$                          | 1,2–2,0          |
| 4            | 0,2; 0,4; 0,6e0,8h                             | $\bar{V} = (V_{0,2} + 2V_{0,4} + 2V_{0,6} + V_{0,8})/6$               | 2,0–4,0          |
| 5            | S; 0,2; 0,4; 0,6; 0,8heF                       | $\bar{V} = [V_S + 2(V_{0,2} + V_{0,4} + V_{0,6} + V_{0,8}) + V_F]/10$ | >4,0             |

(\*) S—superfície; F—fundo

Fonte: Draz, 1977

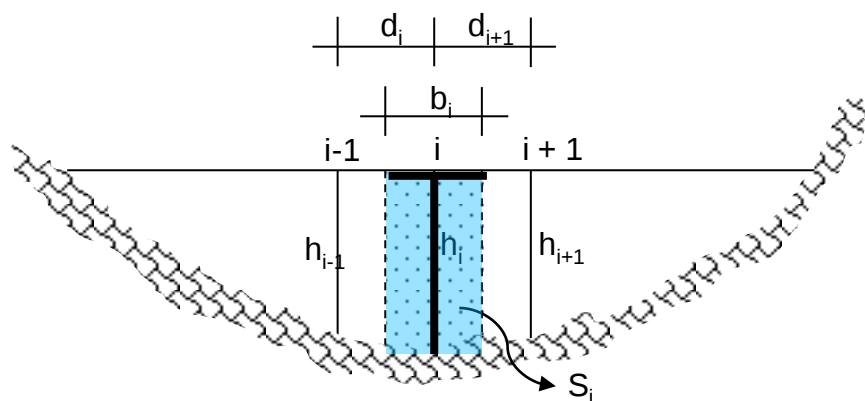


# Cálculo da vazão na seção do rio

$$Q = \sum q_i = \sum v_i S_i$$

$S_i$  – elemento de área da seção transversal  
 $q_i$  –vazão parcial no elemento de área  $i$   
 $v_i$  - velocidade média da água no elemento de área  $S_i$

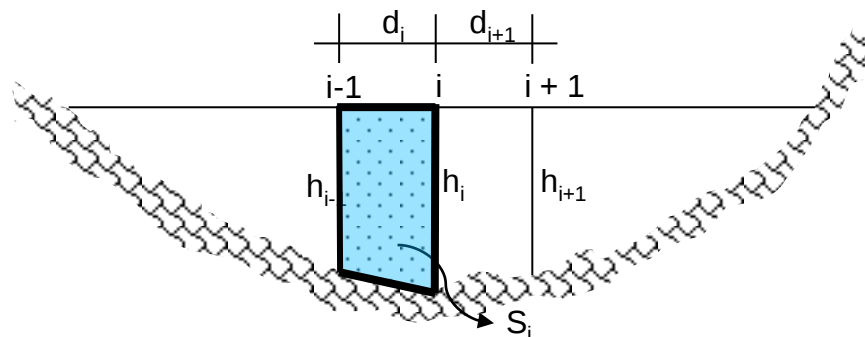
## Método da meia seção



**Elemento de área:** Retângulo =  $b_i h_i$   
**Velocidade:** média na vertical  $i$

:

## Método da seção média



**Elemento de área:** Trapézio =  $(h_{i-1} + h_{i+1}) d_i / 2$   
**Velocidade:** média das velocidades nas verticais  $i-1$  e  $i+1$

## b) ADCP

### Acoustic Doppler Current Profilers

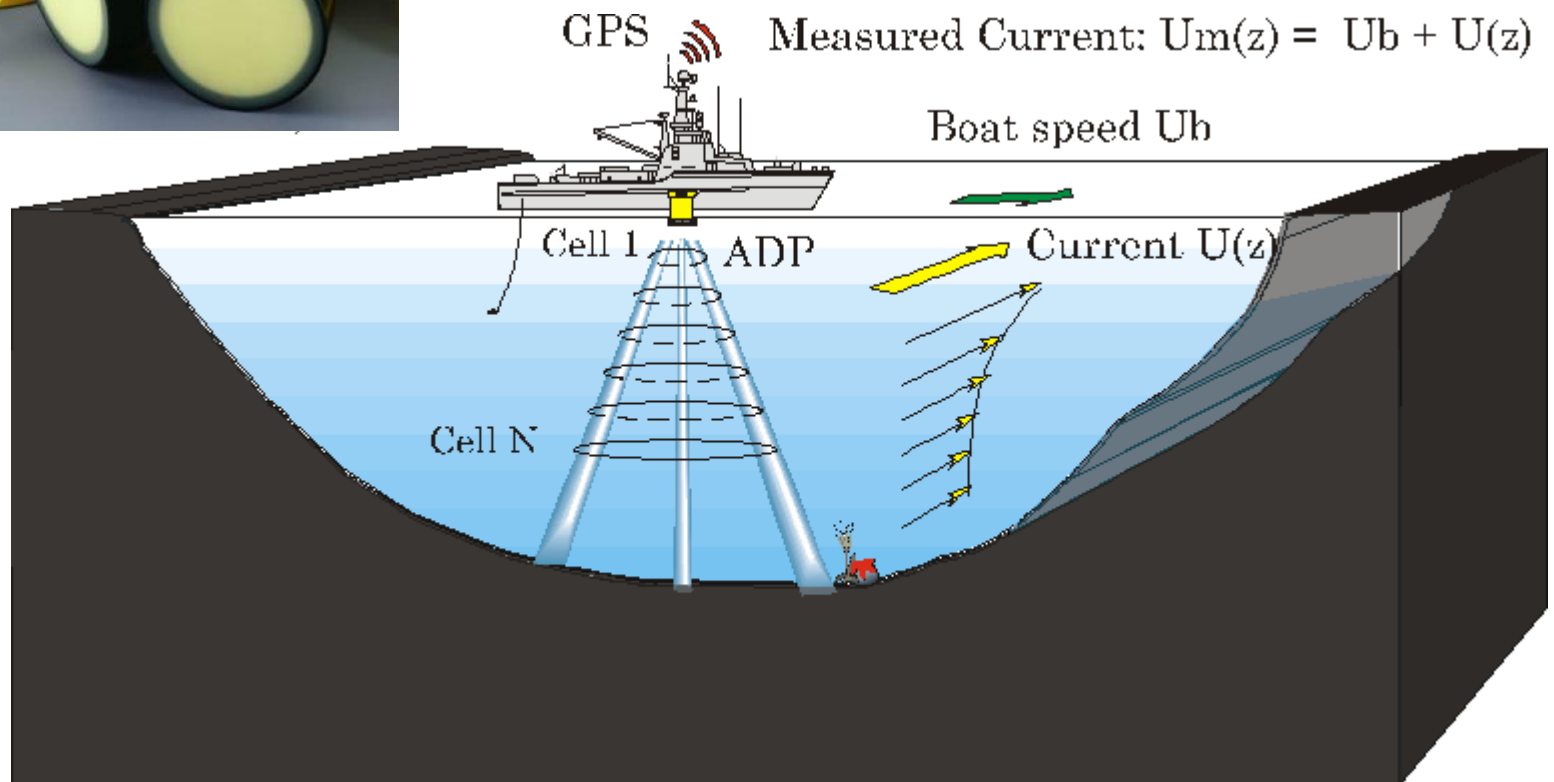
---

Para águas rasas

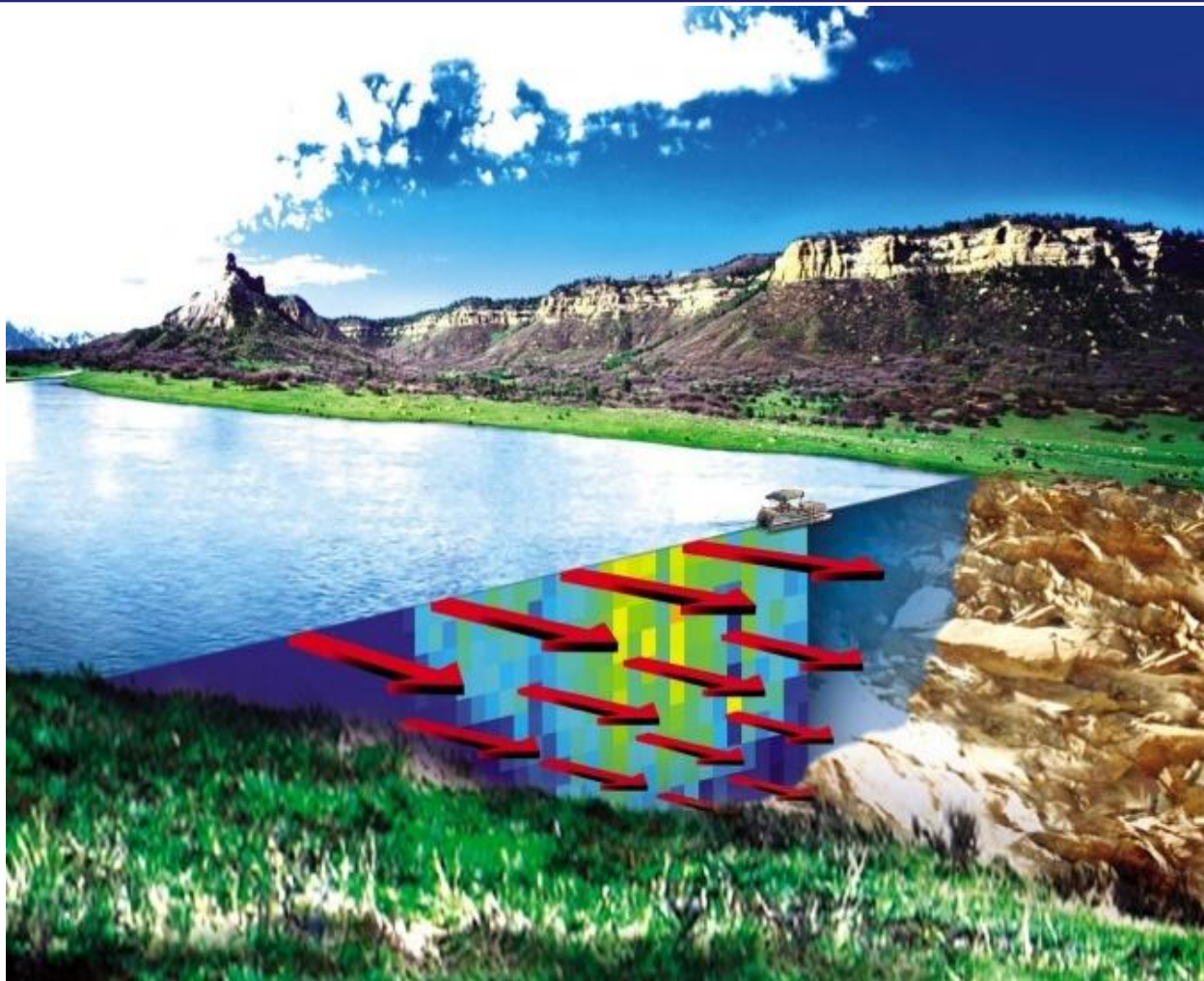


Para águas profundas

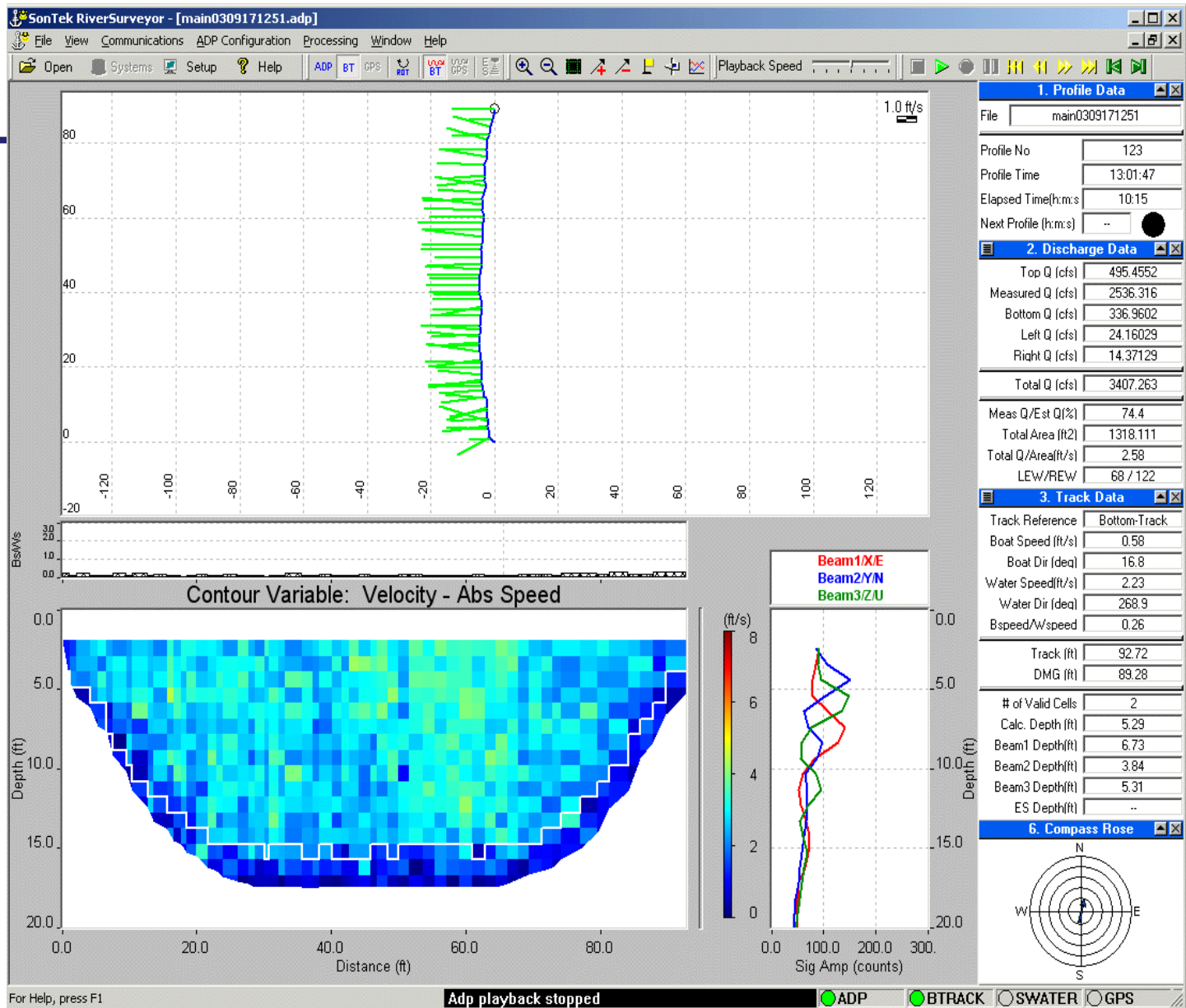




# ADCP



<http://www.sontek.com/product/rsadp/rsvec.jpg>

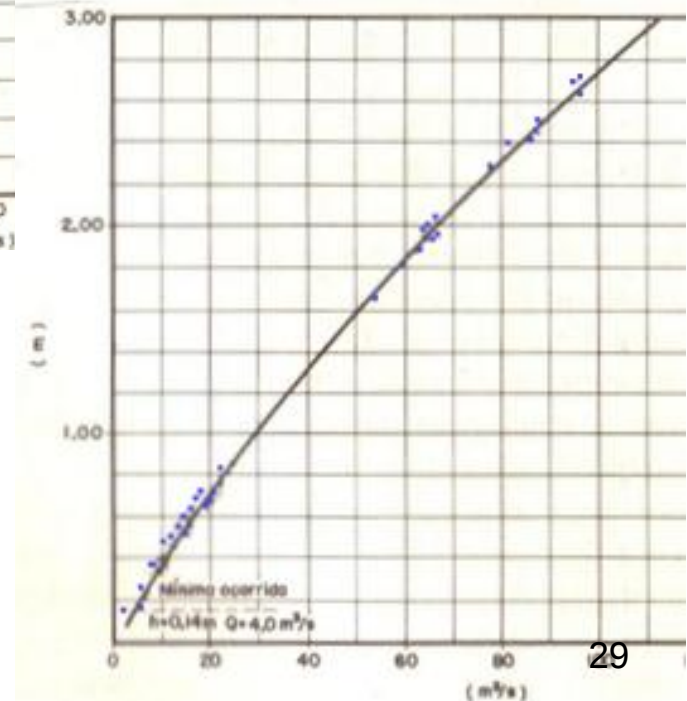
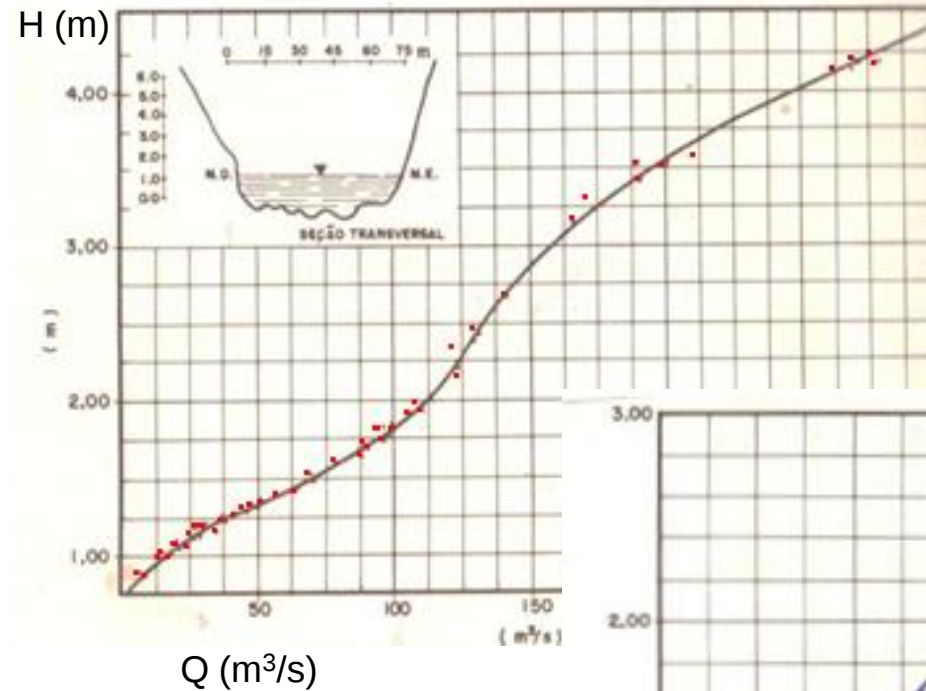


# 4 - Curva de descarga ou Curva-Chave

Pinto et al. 1976

Curva:

$H(m) \times Q(m^3/s)$



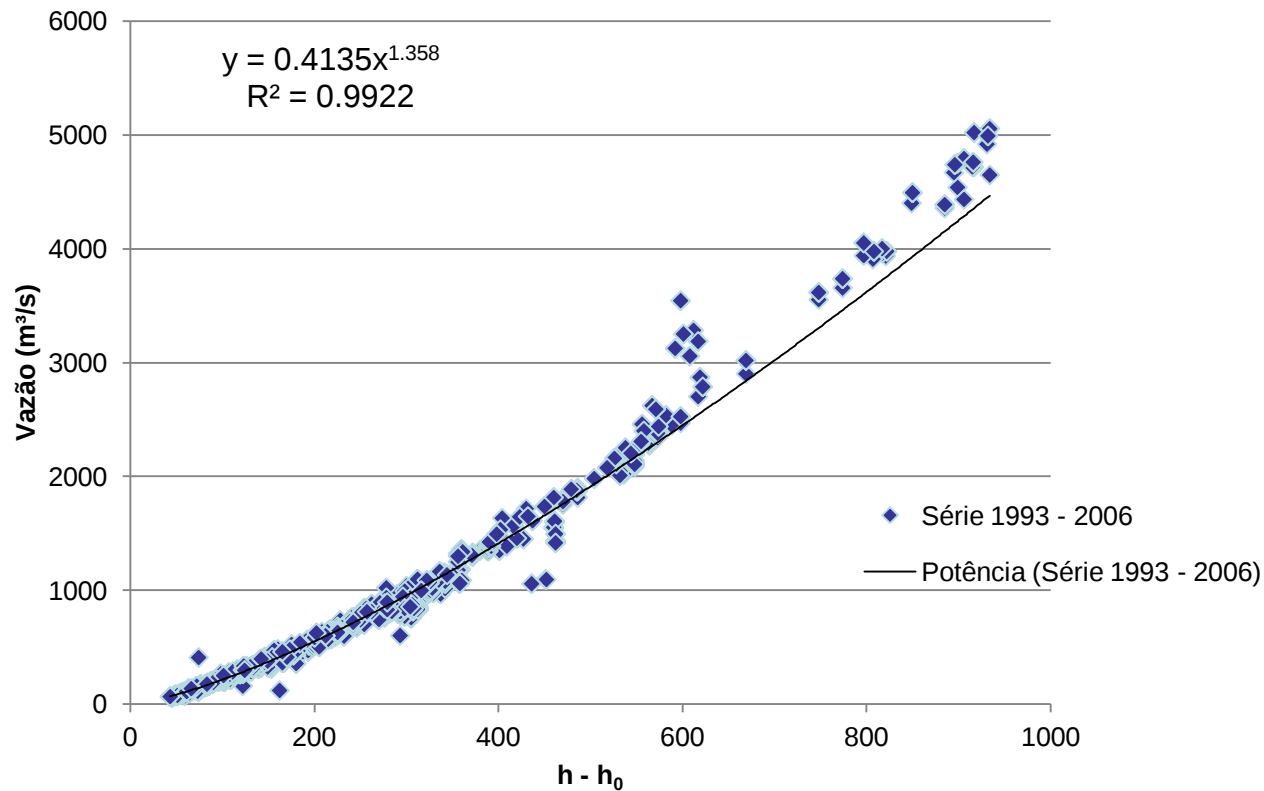
# Traçado e extrapolação das curvas de descarga unívocas

---

- Conjunto de medições de descarga-cota, que abranja o intervalo entre a menor e a maior cota de nível de água observada durante a existência da estação
- Definir uma curva contínua e monotonamente crescente que se ajuste melhor ao conjunto dos pontos medidos
  - Ajuste intuitivo, em geral com concavidade voltada para cima
  - Ajuste pelo método dos mínimos quadrados a uma equação do tipo:
$$Q = k (H - H_0)^n \quad \text{ou} \quad Q = aH^2 + bH - c$$
Onde:  $Q$  – vazão  
 $H$  – cota do nível da água  
Demais símbolos – parâmetros constantes
- Extrapolar essa curva, em ambos extremos (inferior e superior)

## Estação: União da Vitória

Estação:  
65310000  
Rio Iguaçu  
(União da Vitória)  
 $A = 24211 \text{ km}^2$

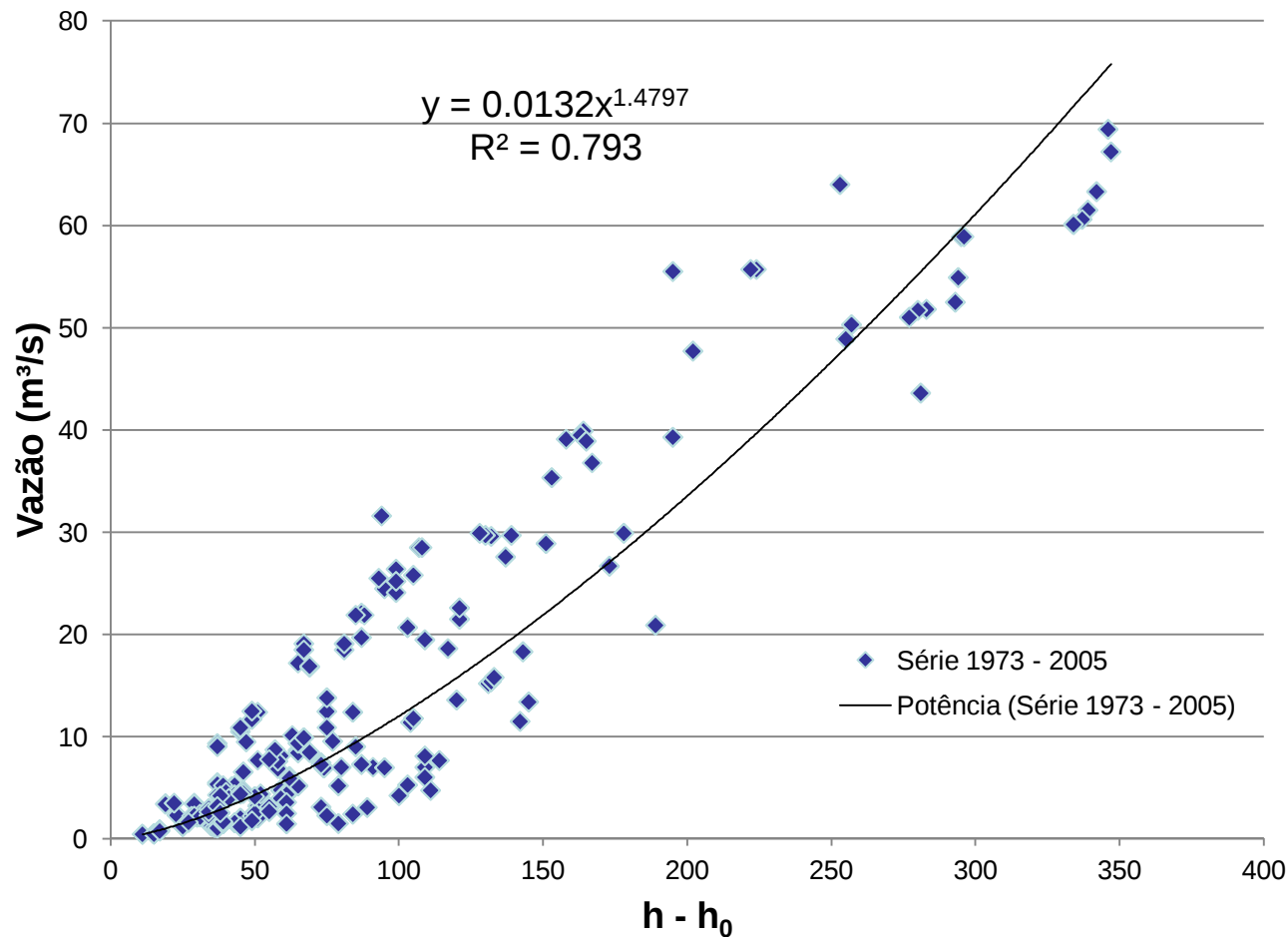


Número amostral:  
 $n = 2286$

$h_0 = 96$

Fonte dos dados:  
Hidroweb - ANA

## Estação: PONTE BR-277



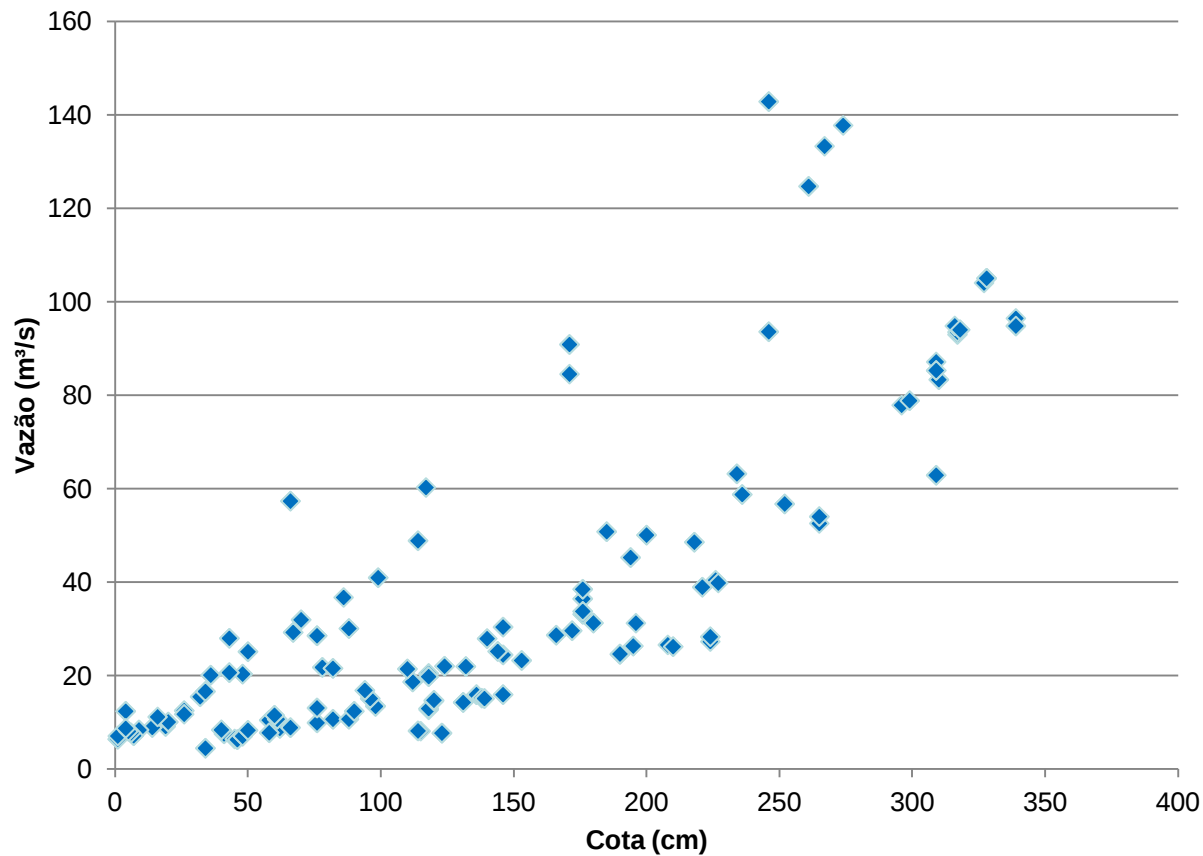
Estação:  
65009000  
Rio Iguaçu  
(São José dos  
Pinhais)  
 $A = 625,53 \text{ km}^2$

Número amostral:  
 $n = 558$

$h_0 = 35$

Fonte dos dados:  
Hidroweb - ANA

## Estação: PONTE UMBARAZINHO



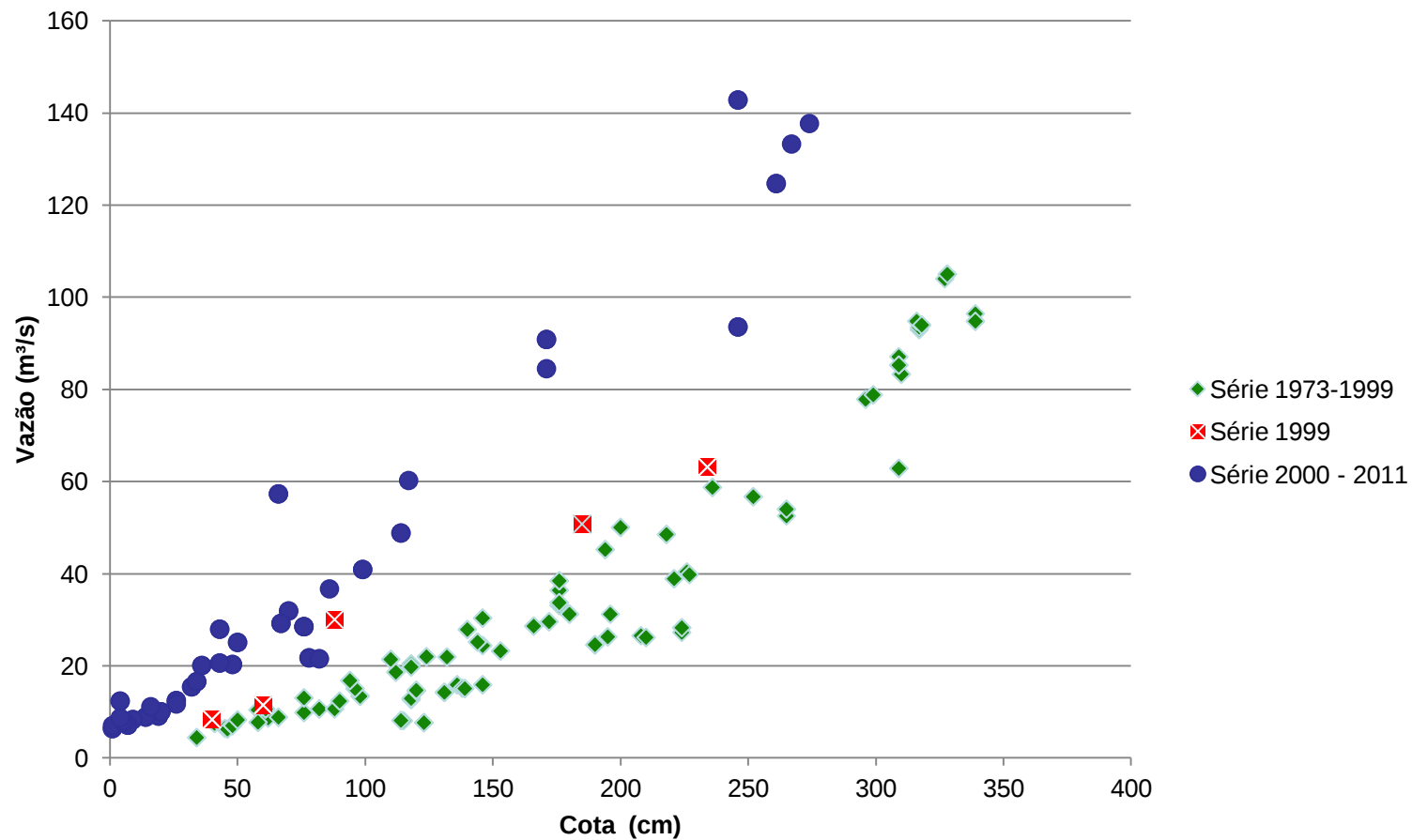
Estação:  
65017006  
Rio Iguaçu  
(São José dos  
Pinhais)  
 $A = 1330 \text{ km}^2$

◆ Série 1973 - 2011

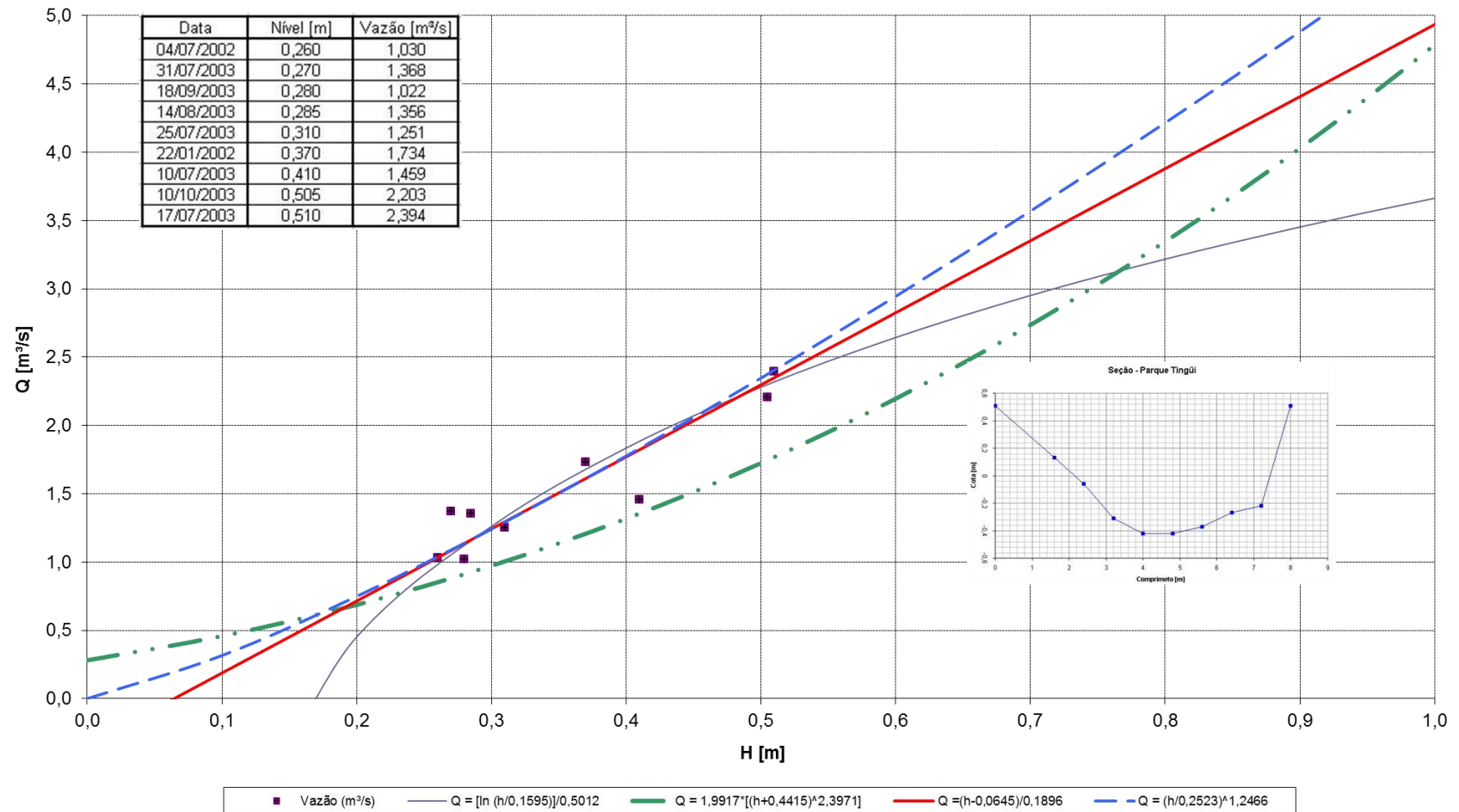
Número amostral:  
 $n = 224$

Fonte dos dados:  
Hidroweb - ANA

## Estação: PONTE UMBARAZINHO



## Curvas Chave - Tingüi



# 5 – Manipulação de dados de vazão

---

## Série histórica de vazões:

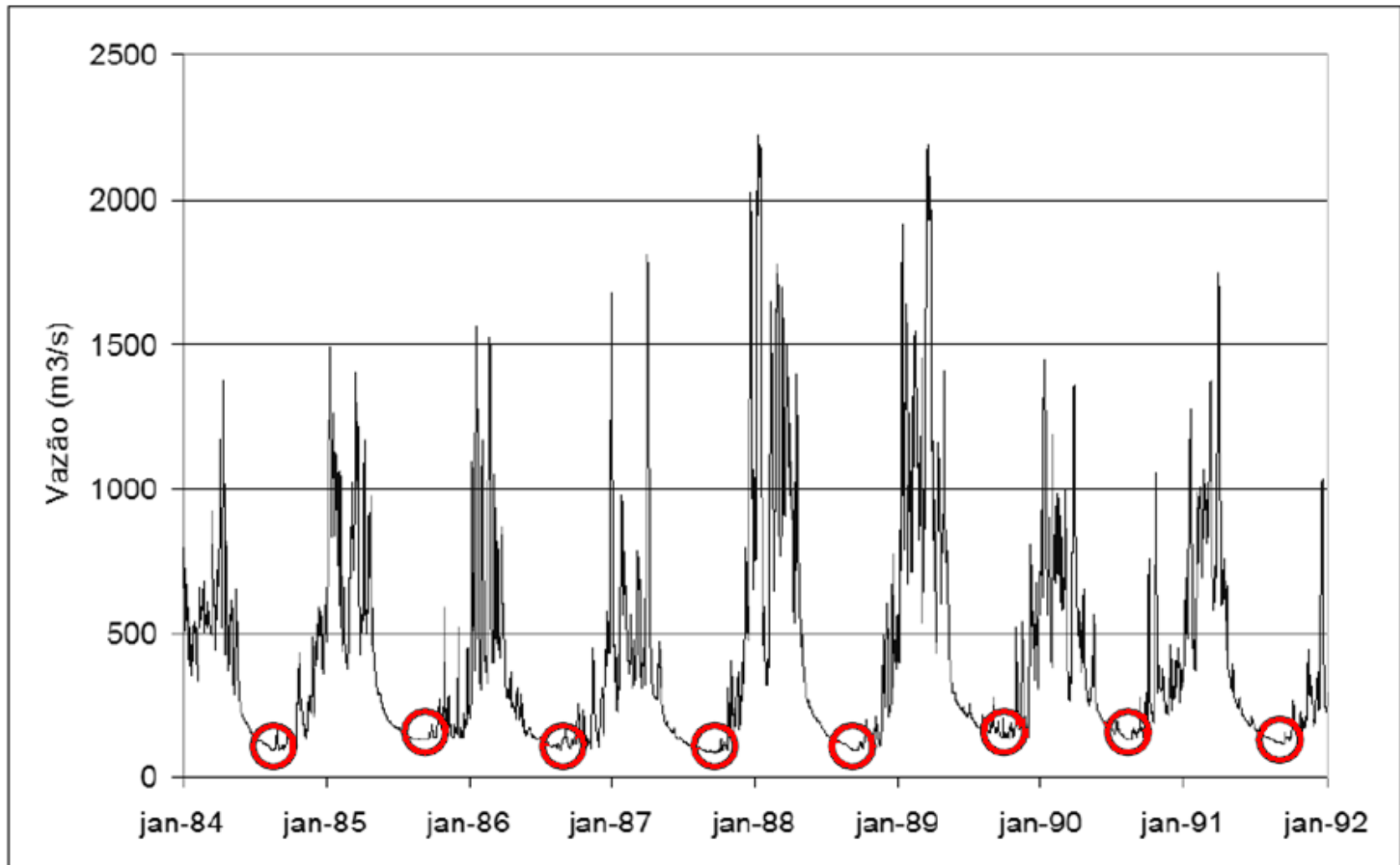
Banco de dados HIDROWEB – ANA (Agência Nacional de Águas)

| ano    | Jan  | Fev  | Mar  | Abr  | Mai  | Jun  | Jul  | Ago  | Set  | Out  | Nov  | Dez  |
|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1910   | 11.4 | 23.3 | 16.7 | 5.7  | 3.4  | 3.2  | 5.6  | 5.1  | 6.3  | 14.2 | 31.1 | 10.2 |
| 1911   | 27.3 | 14.8 | 15.1 | 4.4  | 3.5  | 4.4  | 7.0  | 11.5 | 4.8  | 15.2 | 9.3  | 17.0 |
| 1912   | 16.2 | 22.4 | 15.7 | 14.2 | 6.4  | 5.5  | 5.7  | 6.5  | 8.2  | 10.8 | 8.9  | 6.0  |
|        |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 2000   | 19.0 | 24.2 | 12.1 | 8.1  | 4.1  | 4.4  | 5.1  | 7.3  | 13.0 | 8.6  | 10.4 | 19.9 |
| 2001   | 12.0 | 18.5 | 15.1 | 6.9  | 8.1  | 5.5  | 6.8  | 4.4  | 5.5  | 15.3 | 6.8  | 14.3 |
| 2002   | 17.6 | 17.8 | 13.1 | 6.4  | 7.7  | 4.7  | 5.4  | 4.7  | 5.0  | 5.6  | 13.5 | 10.9 |
| 2003   | 15.2 | 12.8 | 13.5 | 9.6  | 5.0  | 4.4  | 4.0  | 3.6  | 4.4  | 6.3  | 6.5  | 10.4 |
| 2004   | 11.6 | 17.7 | 13.3 | 10.7 | 5.7  | 10.4 | 8.8  | 3.9  | 3.1  | 7.8  | 9.6  | 17.4 |
| média  | 18.0 | 19.8 | 17.0 | 11.4 | 8.9  | 8.7  | 7.4  | 6.9  | 8.6  | 10.4 | 10.7 | 13.2 |
| máxima | 45.9 | 49.0 | 48.3 | 26.4 | 22.8 | 40.3 | 19.5 | 15.4 | 26.3 | 26.5 | 31.1 | 33.2 |
| mínima | 4.6  | 4.5  | 3.9  | 3.3  | 3.4  | 3.2  | 2.9  | 2.7  | 3.1  | 2.9  | 4.4  | 3.6  |

# Série de vazões mínimas

[Ref.2]

## A) VAZÃO MÍNIMA DE CADA ANO



---

## B) VAZÕES MÍNIMAS COM DURAÇÃO DE VÁRIOS DIAS

(7, 15 ou 30 dias)

Para o caso de 7 dias:

- Para cada ano do registro histórico, encontra-se a menor média das vazões em sete dias consecutivos (médias móveis de 7 dias).
- $Q_{7,10}$  é a menor média das vazões em sete dias consecutivos com recorrência de 10 anos

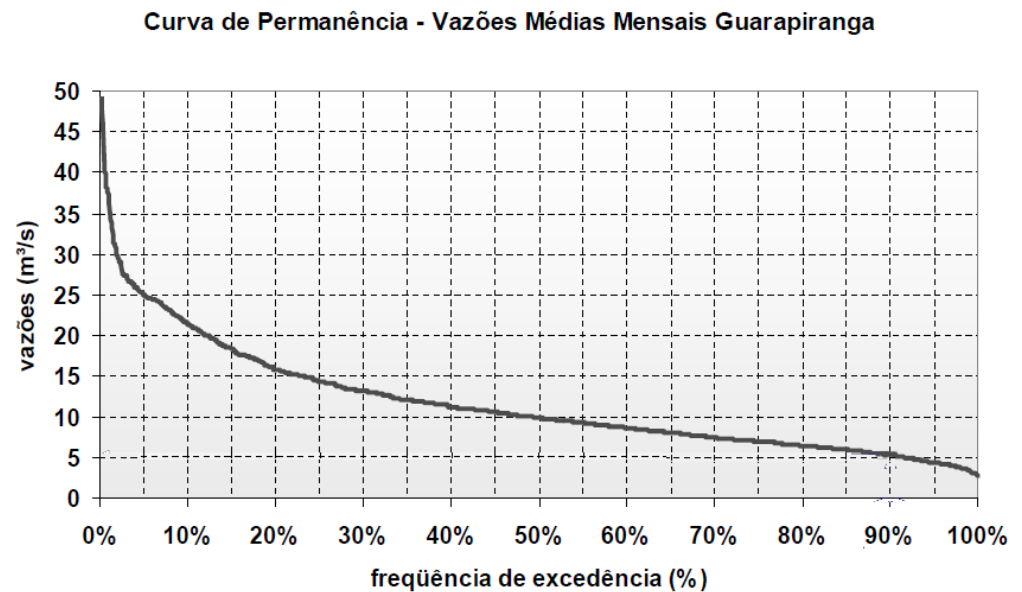
# Curva de permanência

[Ref.1, 3]

Curva de duração

Curva acumulativa de frequência

- Grau de permanência das vazões.
- Frequência que a vazão de dada magnitude foi igualada ou excedida durante o período de observação
- Percentual de tempo que um determinado valor de vazão foi igualado ou ultrapassado durante o período de observação.
- Curva de distribuição das frequências acumuladas de ocorrência das vazões em um curso de água



# Construção da curva de permanência

---

Organizar os valores de vazão segundo uma distribuição de frequência

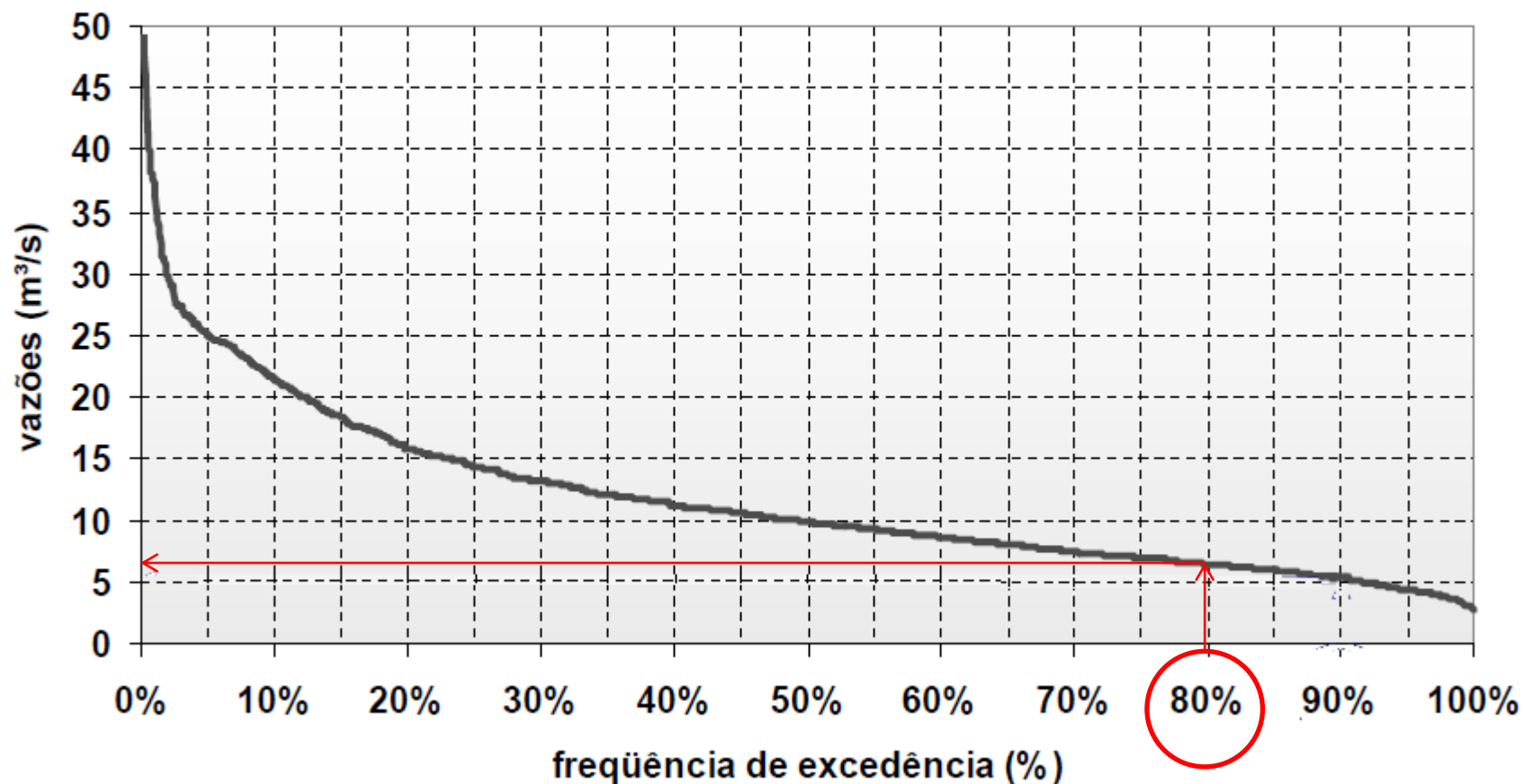
## Base de dados:

- Registros das vazões em uma estação fluviométrica.
  - A curva pode ser para as vazões médias diárias, vazões médias mensais ou ainda vazões médias anuais.
1. Definir intervalos de classe em função da amplitude das vazões:
    - Intervalo de classe =  $(Q_{\text{máx}} - Q_{\text{mín}}) / \text{número de classes}$   
Em geral, dez ou mais classes são requeridas para um traçado adequado (depende muito do tamanho da série de registros).
    - Faixas de classes dispostas em ordem decrescente.
  2. Registrar o número de dados que situam nos respectivos intervalos de classe.
  3. Acumular as frequências das classes sucessivas
  4. Lançar no gráfico em correspondência aos limites inferiores dos respectivos intervalos de classe.

Ou simplesmente: ordem decrescente dos dados  $[n] \rightarrow F(\%) = 100n/N$   
 $n$ =ordem;  $N$ =total de dados

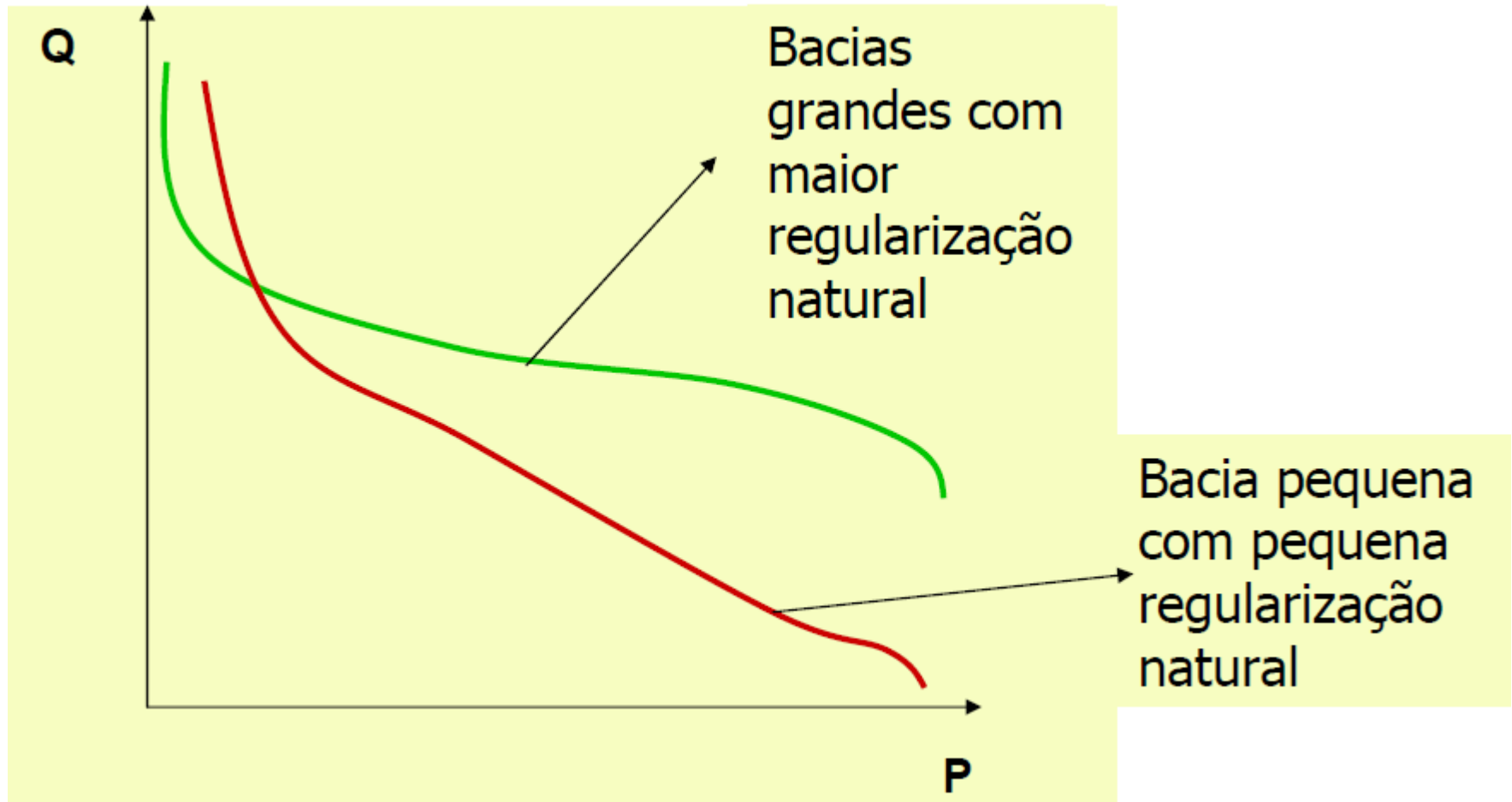
[Adaptado de Ref.3]

### Curva de Permanência - Vazões Médias Mensais Guarapiranga



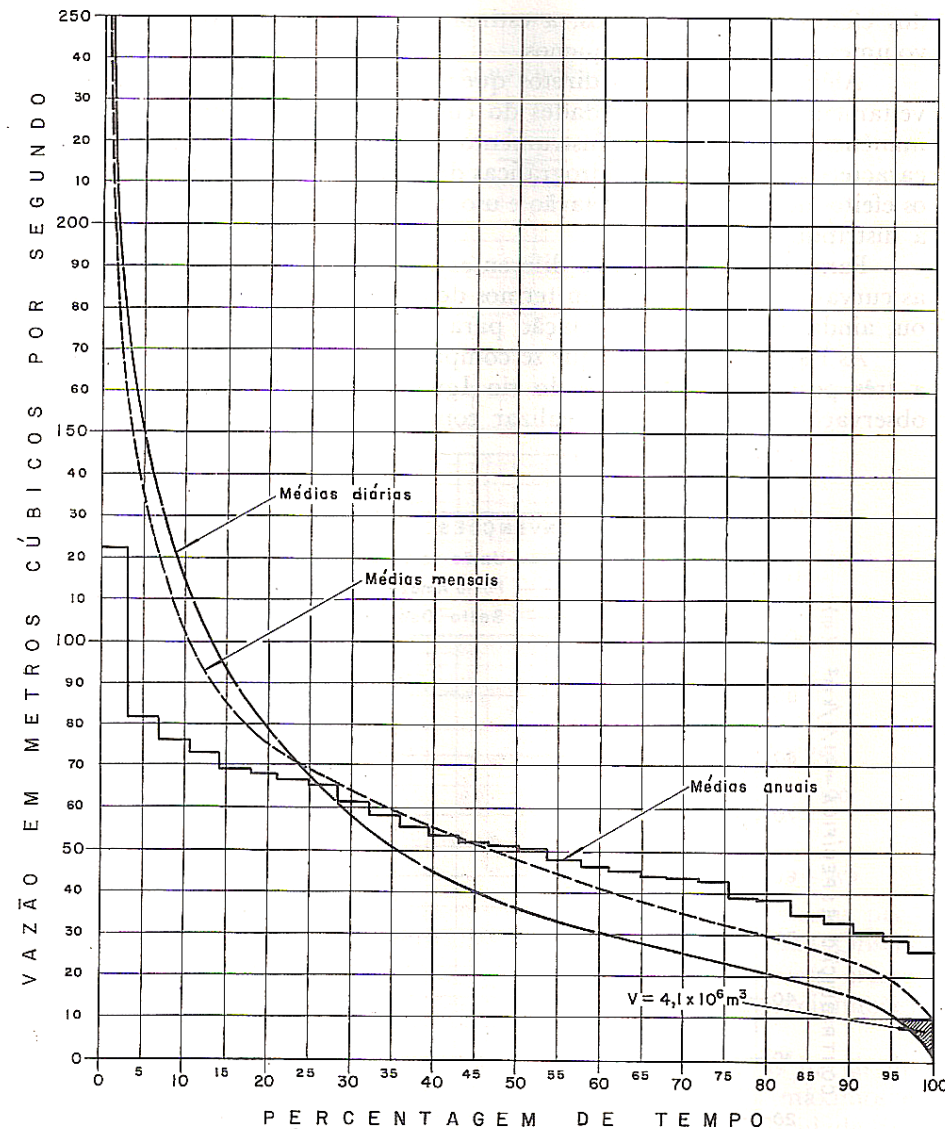
# Declividade da curva $\rightarrow$ característica

[Ref.3]



# Curva de permanência com vazões médias anuais, mensais e diárias

[Ref.1]



# Confronto entre diferentes bacias

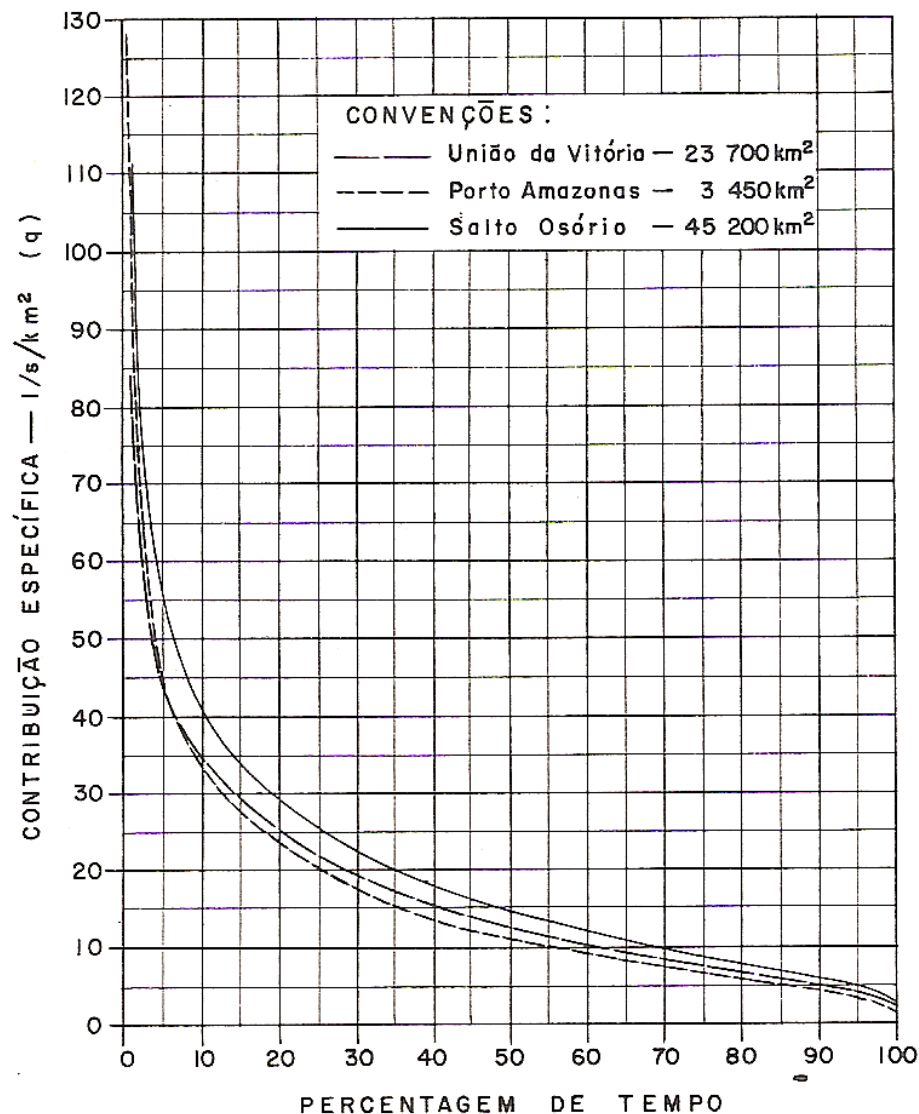
[Ref.1]

Curva em termos de:

→ descargas específicas:

$L/s/km^2$

→  $Q/Q_{médio}$



# 6 – Campo

---

Sábado, a definir  
Local: Parque Tingui

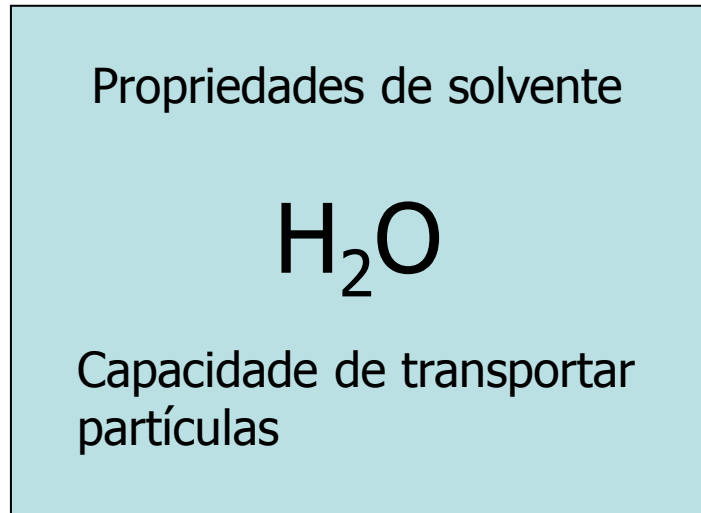
Diversos métodos de medição e  
coleta de amostras



# Qualidade da água

---

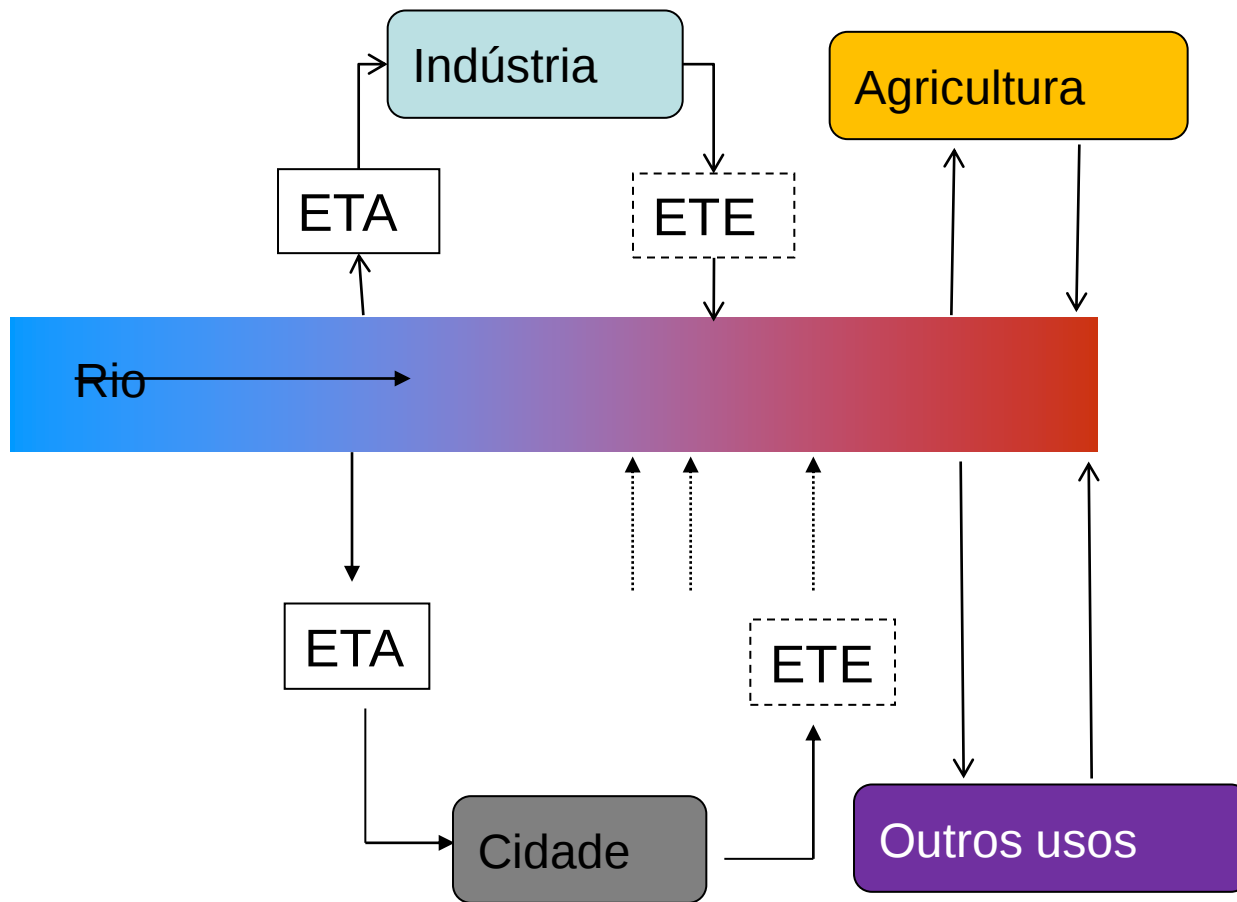
Conceito  
de  
qualidade  
da água



Incorpora diversas  
substâncias

Tipo,  
quantidade e  
características  
destas  
substâncias  
definem a  
qualidade





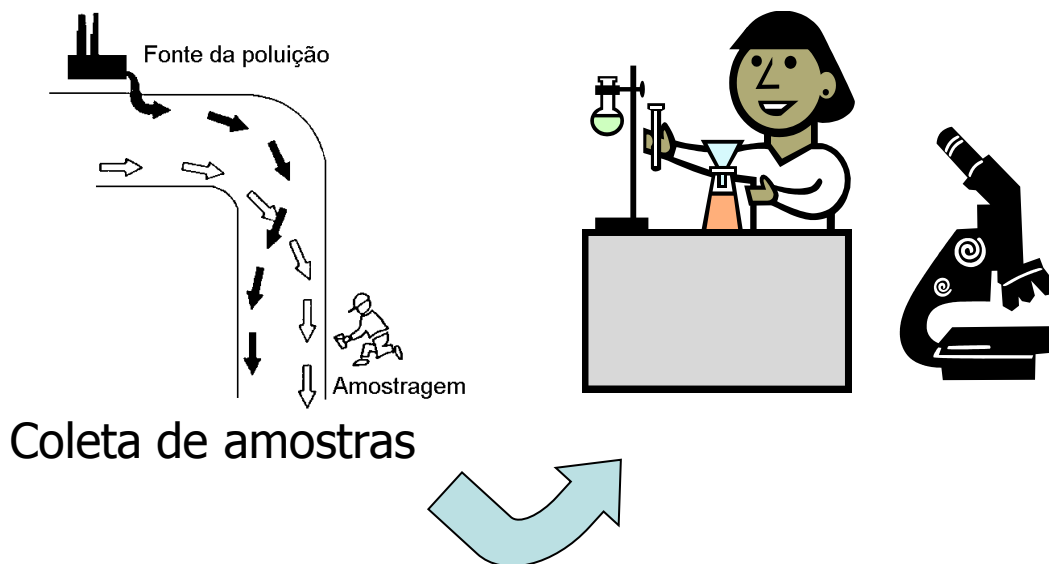
# Determinação da Qualidade da Água

## Medição *in loco*



Sensores

## Em Laboratório





pH-metro



OD  
YSI 550A



Condutividade  
YSI 30

# Multiparâmetro



YSI Multiparameter water quality meter



Display ou memória

Oxigênio Dissolvido  
Temperatura  
Condutividade  
Salinidade  
pH  
Clorofila  
Rodamina  
Turbidez  
Amônia  
Nitrato  
Cloreto  
Barômetro



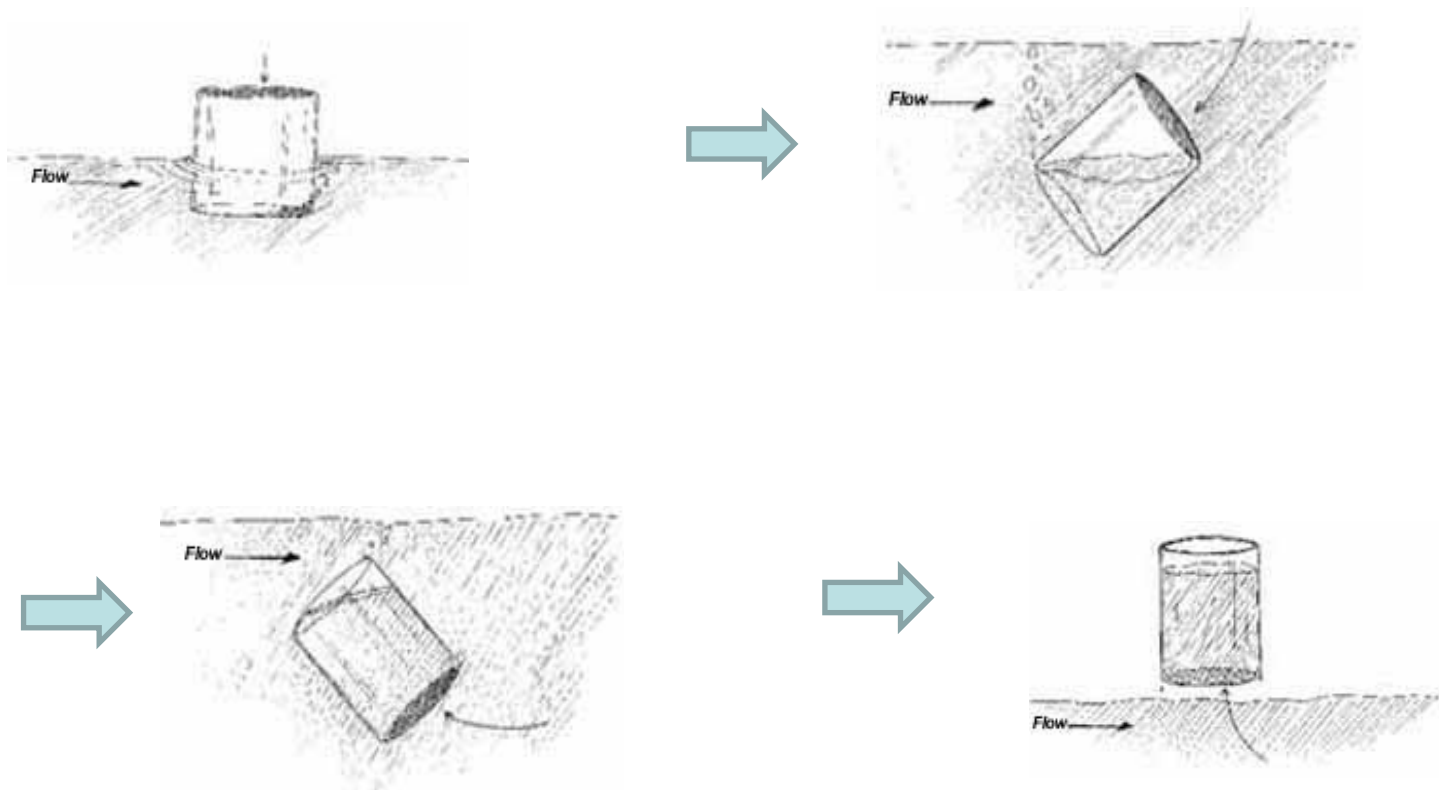
YSI 6600 Acoustic Doppler Velocimeter



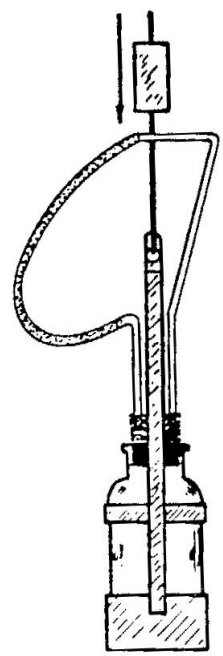
YSI 6600

# Coleta manual

## Procedimento de coleta com frascos



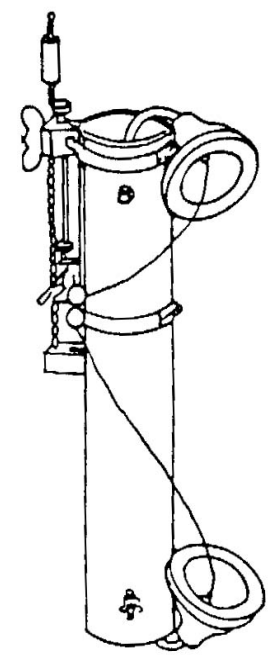
# Amostradores de água de profundidade



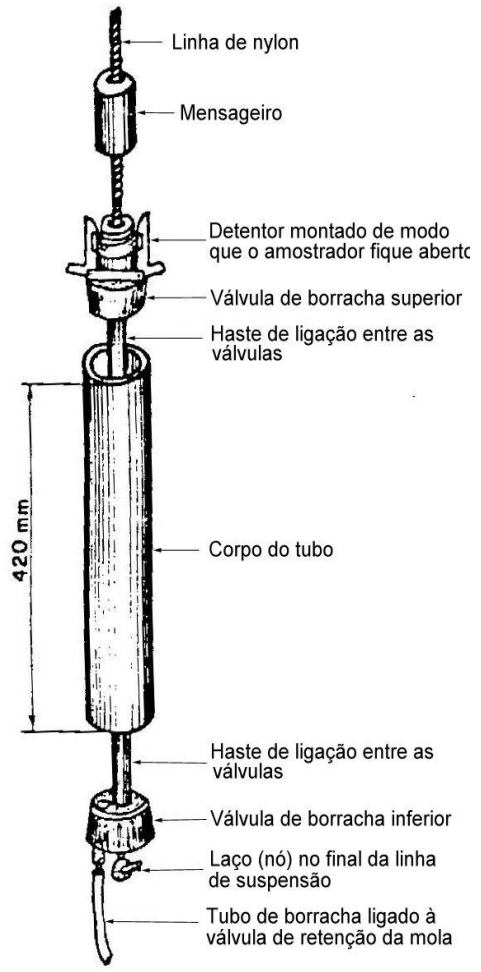
ZoBell J-Z



Meyer



Van Dorn

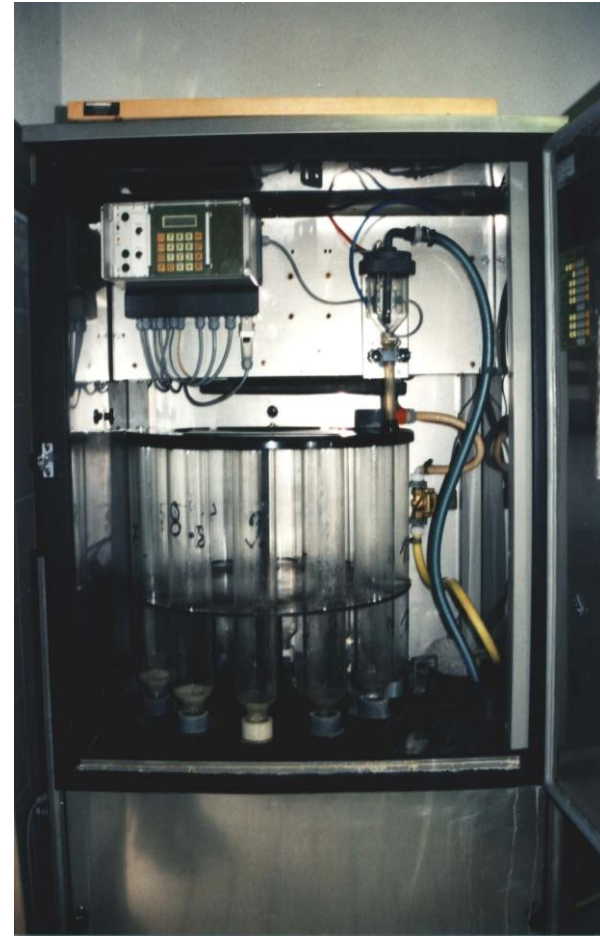
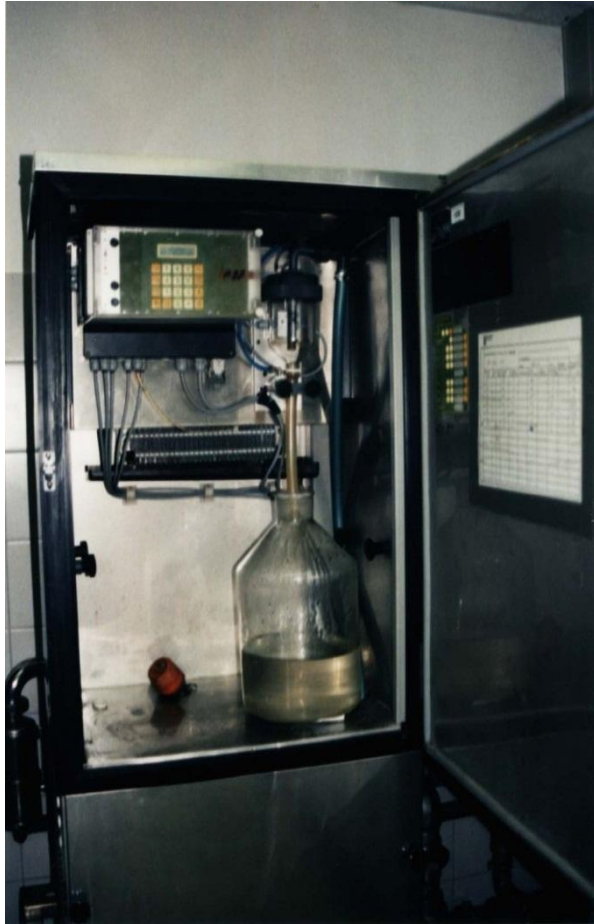


Kemmerer

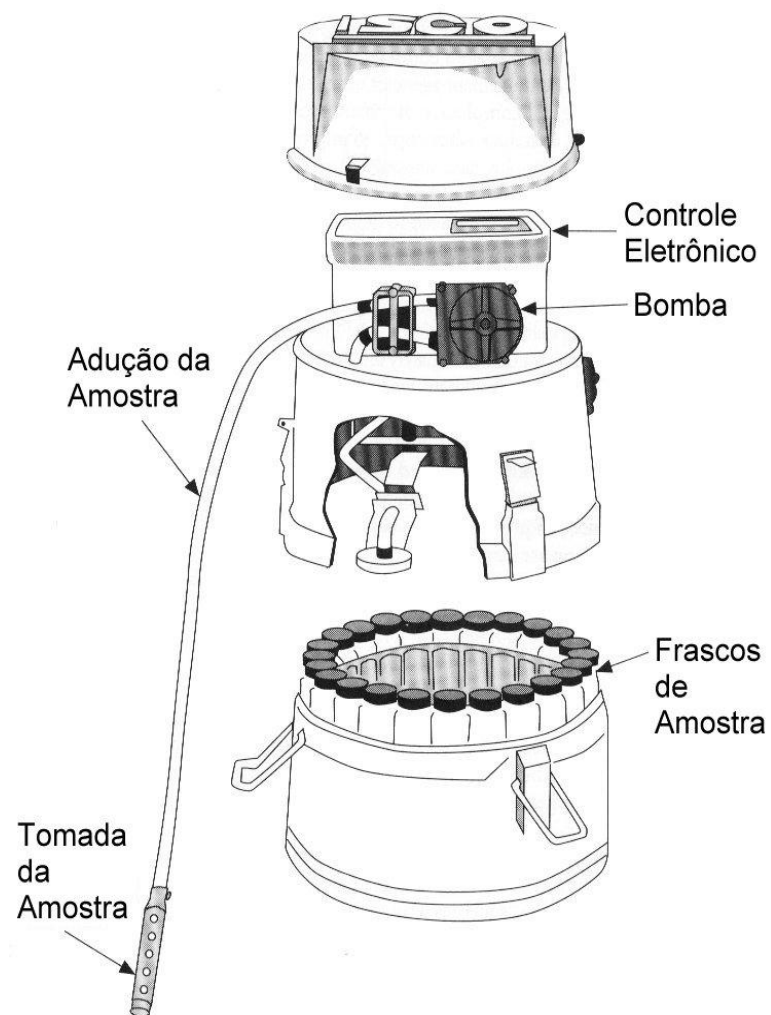
Fonte:  
ABNT/NBR  
9898/1987

# Amostradores automáticos

---



# Amostradores automáticos portáteis



# Medição de DBO

- Método de Winkler



- Método manométrico



OxiTop



DBO Track Hack

Análise laboratorial



Incubadora