PHA 3307
Hidrologia Aplicada

Universidade de São Paulo

Escola Politécnica

Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental

Escoamento Superficial

Processos de Medição de Vazão

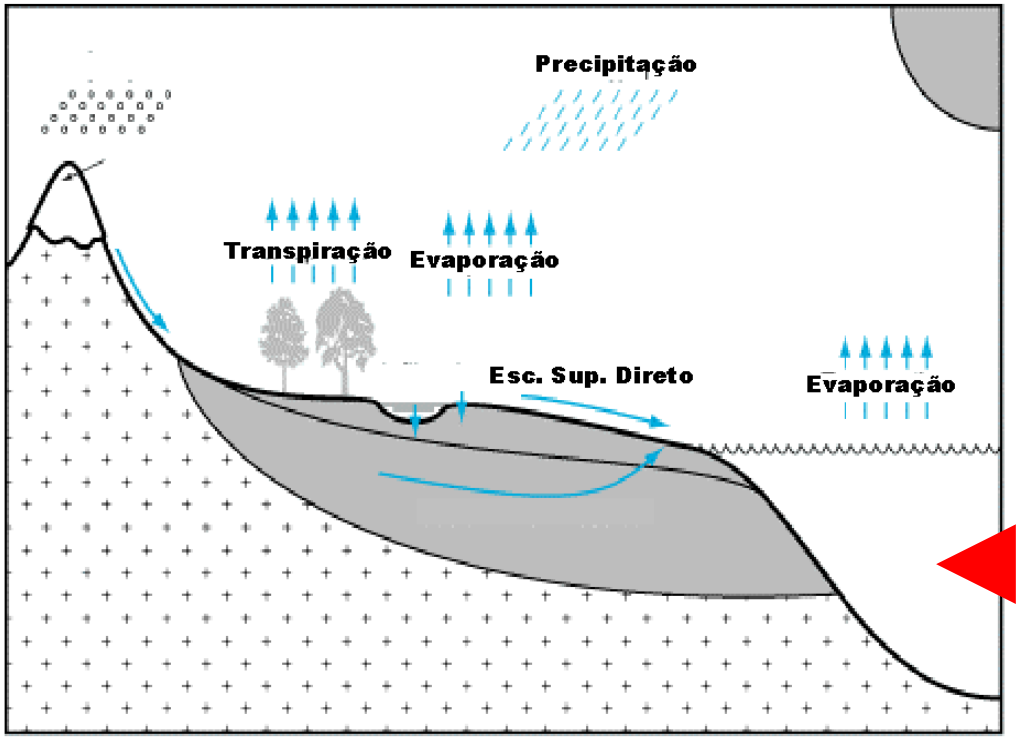
Aula 6

Prof. Dr. Arisvaldo Vieira Méllo Jr.
Prof. Dr. Joaquin I. Bonnecarrere

Objetivos da Aula

- 1.Conhecer os métodos de medição de vazão em rios.
- 2. Saber calcular a vazão, a partir de uma medição com molinete.

Escoamento Superficial

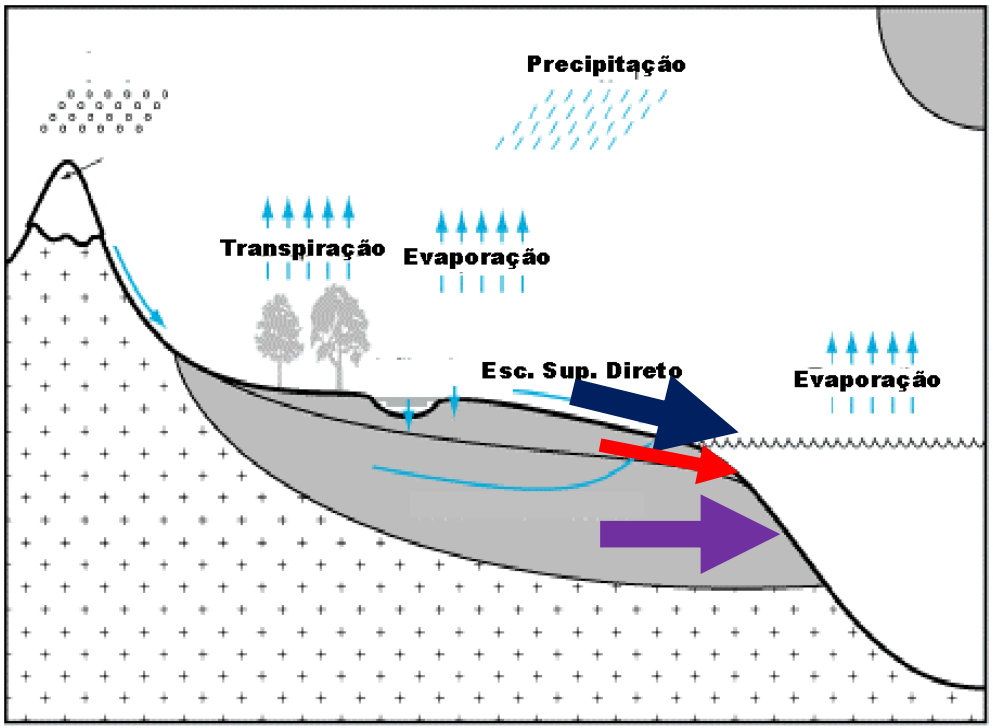


Todo o escoamento que aparece no curso d'água é chamado de Escoamento Superficial

Normalmente indicado em:

- unidades de vazão (m^3/s, l/s, hm^3/ano)
- lâmina de escoamento (mm/dia, mm/mês, etc.)

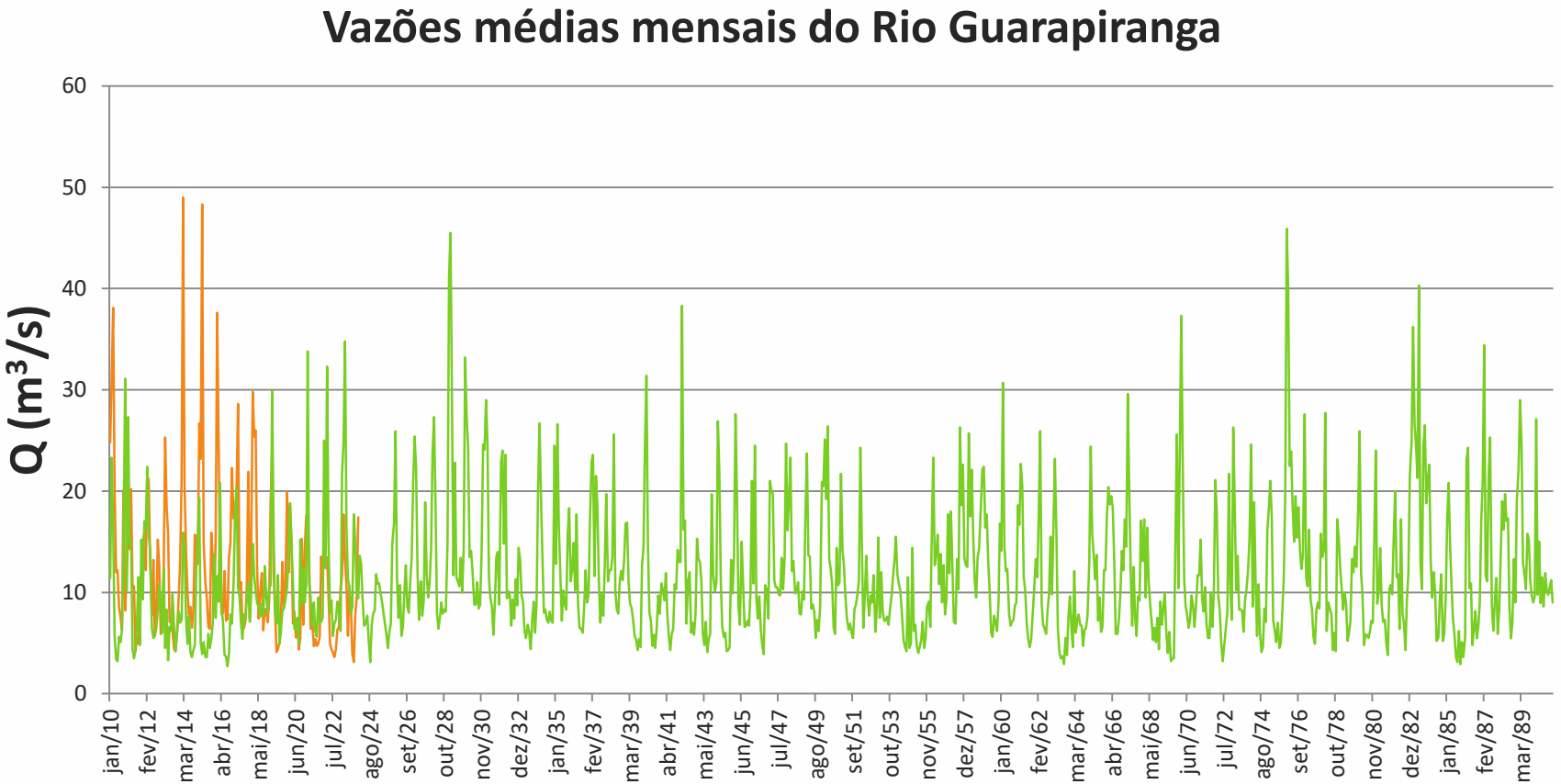
Origens do Escoamento Superficial



As origens do Escoamento Superficial podem ser:

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

Exemplos de hidrograma



Q_{med} = 11,6 m³/s

Q_{med} = 12,4 m³/s

Finalidade da medição de vazões

- Criar séries históricas
- Análise de vazões mínimas: autodepuração de esgotos, calado para navegação, etc.
- Análise de vazões médias: dimensionamento de reservatórios, etc.
- Análise de vazões máximas: dimensionamento de vertedores, bacias de detenção, etc.
- Operação em tempo real: comportas, controle de cheias, etc.
- Cálculo de vazões de referência para outorga

Métodos de medição de vazão

Medição volumétrica

- Conceito de vazão, $Q = \Delta V / \Delta t$
- Marca-se o tempo para preencher um volume conhecido
- Aplicável para pequenas vazões
- Aplicável onde a água pode ser recolhida

Métodos de medição de vazão

Medição colorimétrica (ou radiativa)

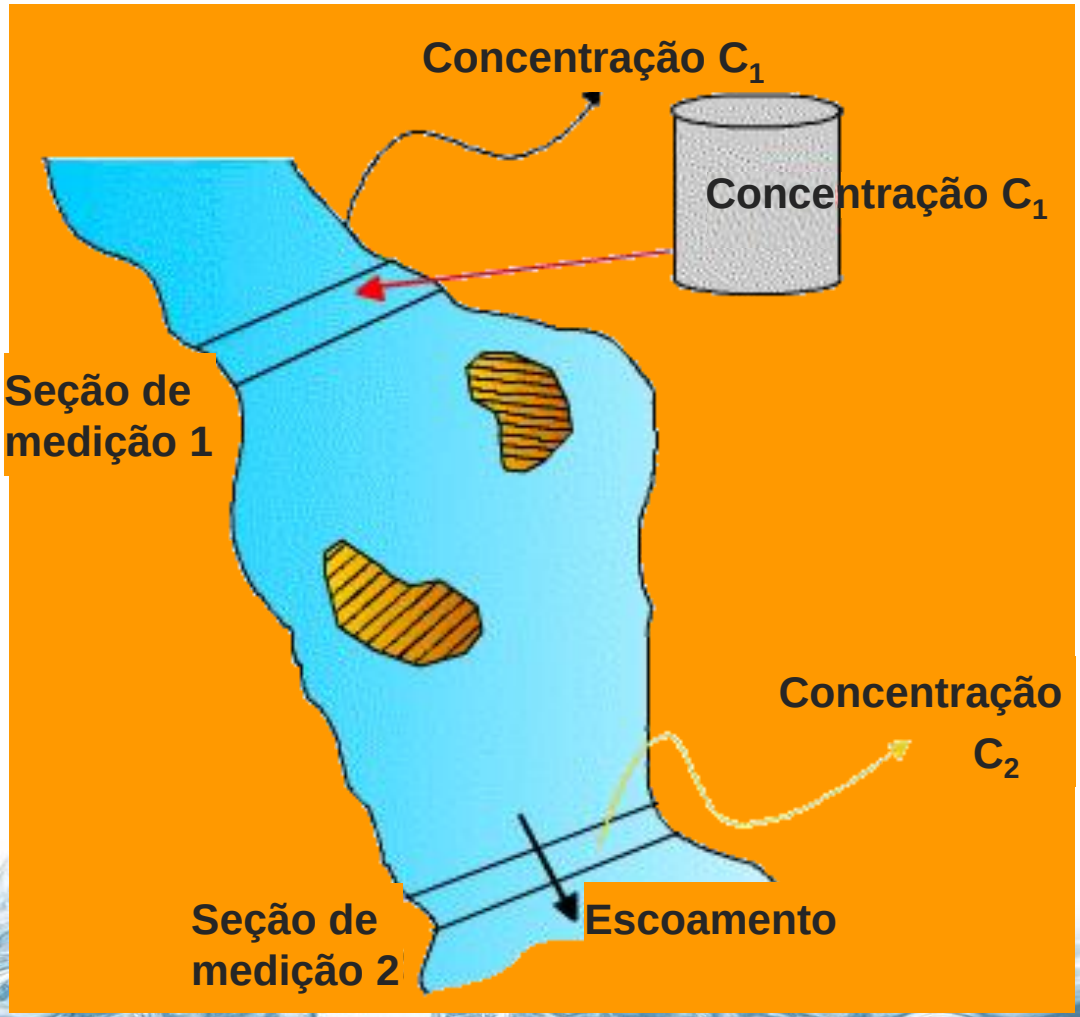
- $q.C_1 = (Q + q) .C_2$

q = vazão constante do soluto

C_1 = concentração do soluto

Q = vazão do curso d'água

C_2 = concentração da mistura a jusante



Métodos de medição de vazão

Medição colorimétrica (ou radiativa)

- Aplicável a rios com turbulência (rios de montanha) para garantir mistura completa
- Quando o "soluto" é radiativo, deve-se corrigir o efeito do decaimento no tempo

Métodos de medição de vazão

Medição com vertedores

- Retangular (Francis): $Q = 1{,}84\ (L - 0.2\ H)^{1.5}$
- Triangular (Thompson): $Q = 1{,}4\ H^{2.5}$
- Necessidade de construção
- Problemas de assoreamento
- Remanso a montante

Métodos de medição de vazão

Vertedor Triangular

Métodos de medição de vazão

Vertedor Triangular

Métodos de medição de vazão

Medição com Calhas Parshall

- $Q_{livre} = K \cdot H^{n}$
- $Q_{afogado} = Q_{livre}$. Coeficiente de Redução
- Não interfere no escoamento (não provoca remanso como os vertedores)
- Dimensões limitadas a pequenos canais

Para pequenas vazões existem calhas pré fabricadas em fibra de vidro

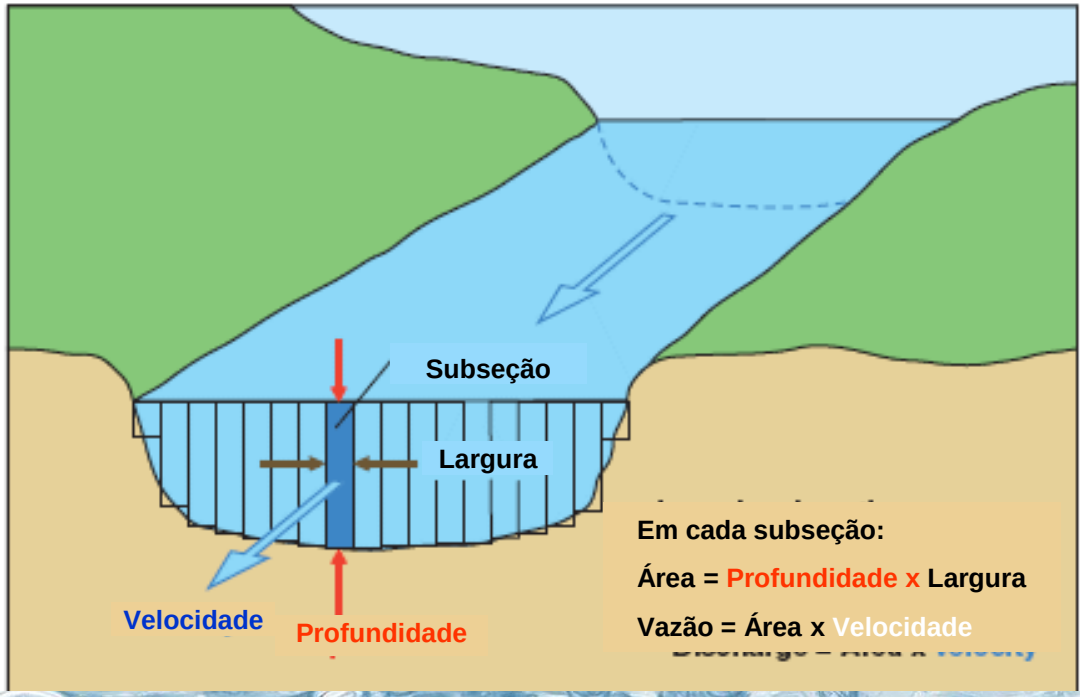
Medição com Calhas Parshall

Métodos de medição de vazão

Medição por velocidade

- Conceito de que Vazão = $\int v.dA$
- Equipamento : Molinete
- Formas de medição com molinete

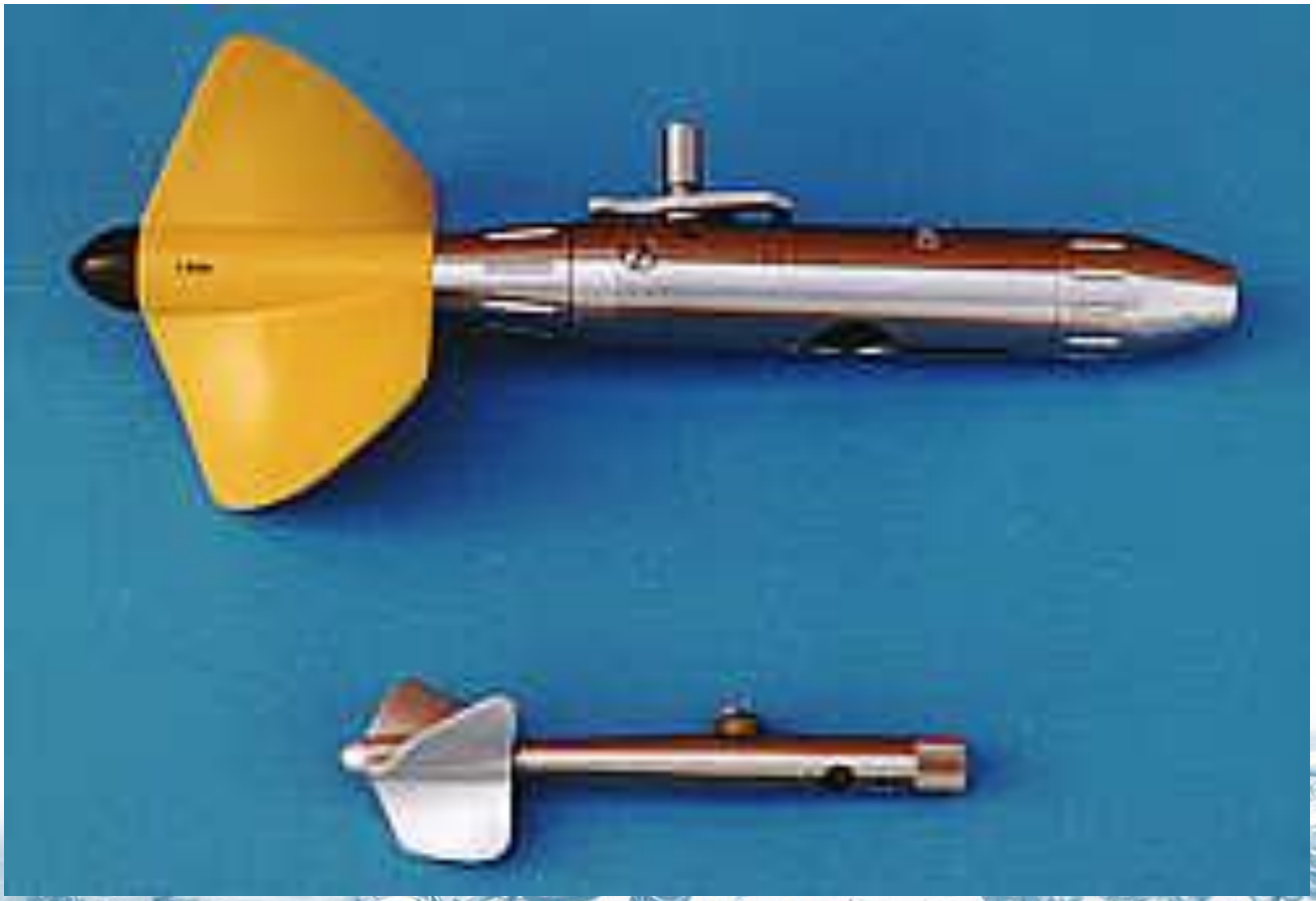
  - a Vau
  - Sobre Ponte
  - Com barco fixo
  - Com cabo suspenso
  - Com barco em movimento



Medição de Vazão por Velocidades

Molinete

- Quando inserido no fluxo, faz girar as pás do rotor.
- O número de rotações por minuto é linearmente proporcional à velocidade do Fluxo



Medição de Vazão por Velocidades

Molinete com contrapeso acoplado

Medição de Vazão por Velocidades

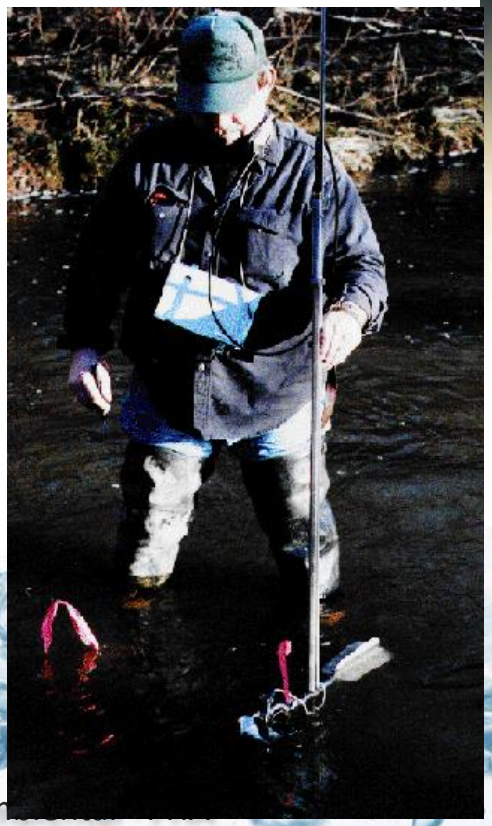
Medição por velocidade – contrapesos de molinetes

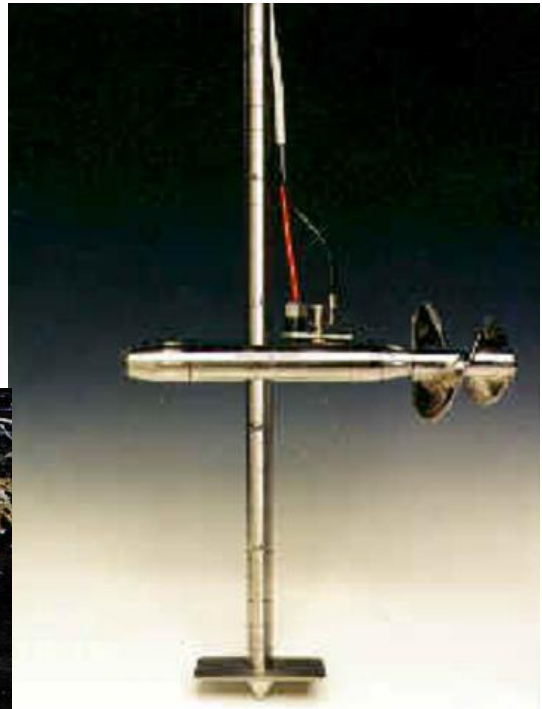
Contrapesos para diferentes velocidades (para garantir a verticalidade do cabo)

Formas de medição com molinete

A vau

- molinete preso à uma haste
- para pequenas profundidades (~1,20 m) e pequenas vazões





Formas de medição com molinete

A vau

Foto cedida pela Sabesp

Preparação dos equipamentos

Foto cedida pela Sabesp

Detalhe do contador de giros

Formas de medição com molinete

A vau

Amarração da Seção de Medição

Formas de medição com molinete

A vau

Técnico executando uma medição a Vau

Formas de medição com molinete

Medição sobre pontes

- problemas pela influência da estrutura
- localização da ponte em boa seção para medição

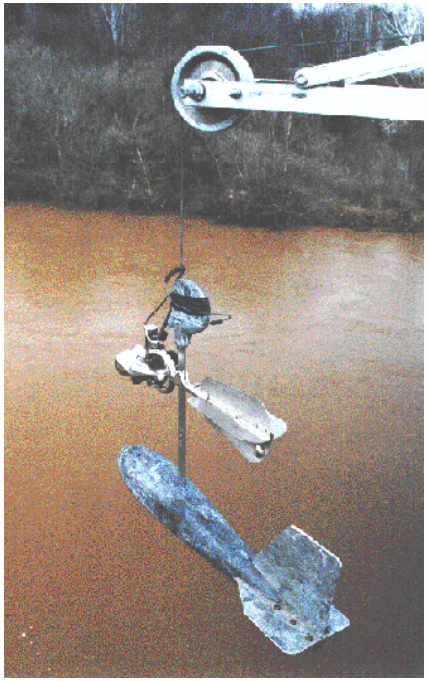
Formas de medição com molinete

Medição sobre pontes - Equipamentos

Prancha

Cabo

Indicador de Profundidade



Molinete e contrapeso

http://wwwrcamnl.wr.usgs.gov/sws/SWTraining/FlashFandR/QMeas1/QMeas1.html

Formas de medição com molinete

Medição com barco fixo

- é a mais frequente
- barco fixado a um cabo de aço preso nas margens
- posições das verticais medidas no cabo

Foto cedida pela Sabesp

Foto cedida pela Sabesp

Formas de medição com molinete

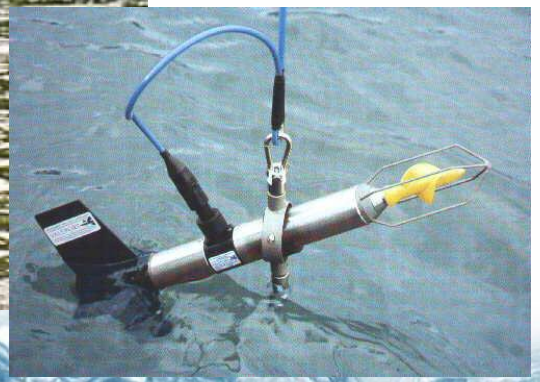
Medição com barco em movimento

- para grandes rios
- correção da direção das velocidades
- posição e profundidade com auxílio de topografia, GPS e ecobatímetro

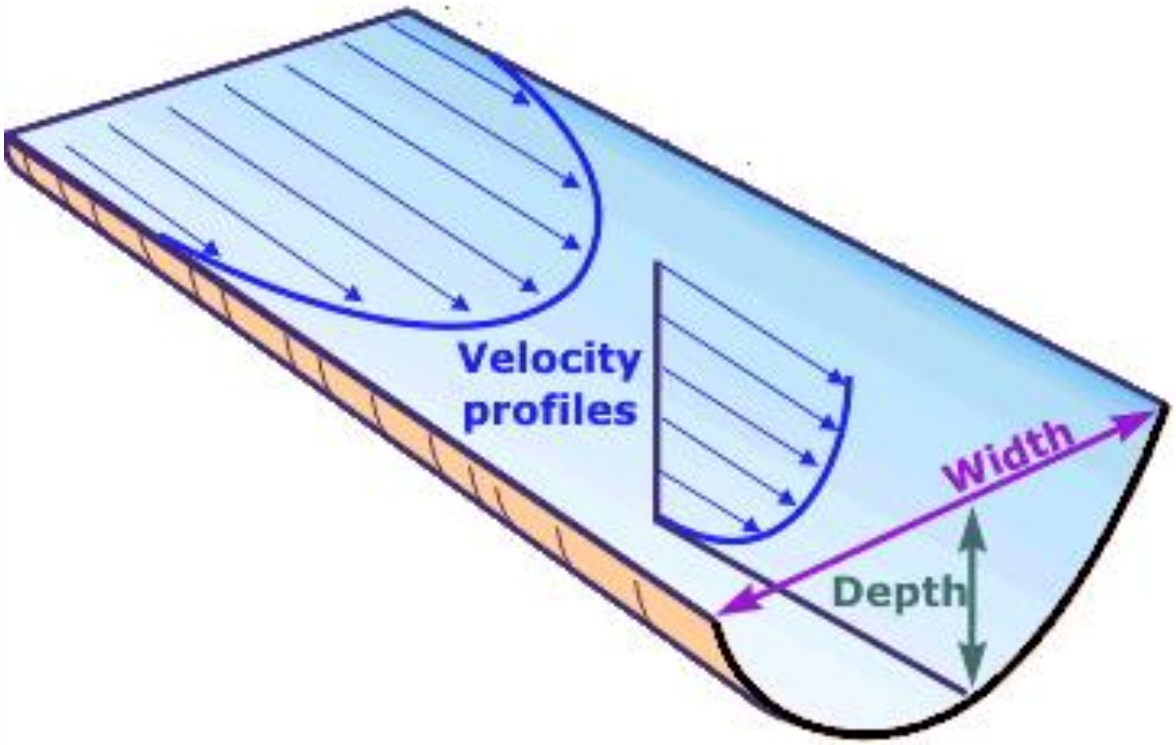
Formas de medição com molinete

Medição com Molinete com Teleférico

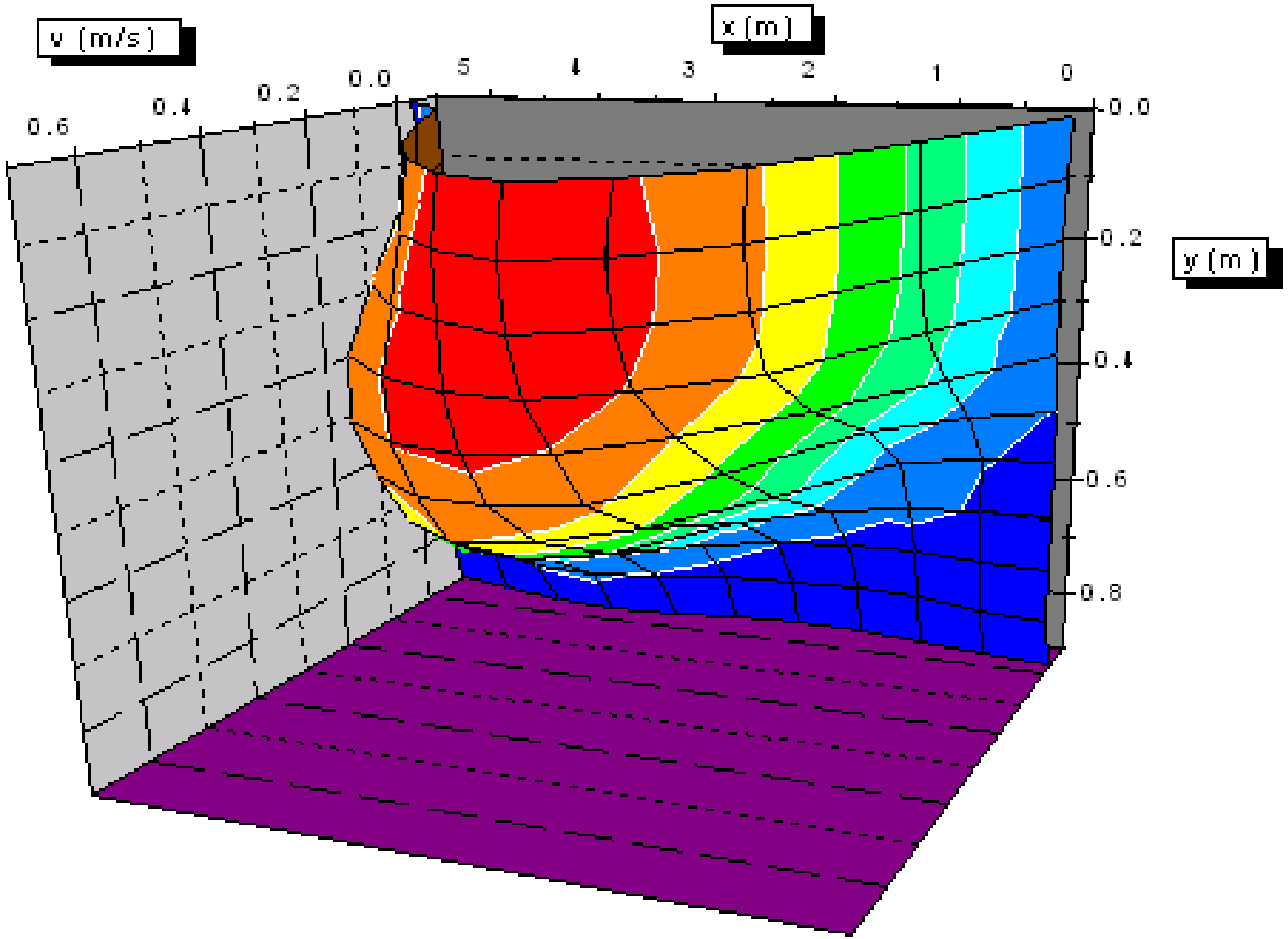
- Para grandes rios com grandes velocidades
- Rios que transportam material flutuante podem causar acidente (toras de madeira): Rio Tucuruí



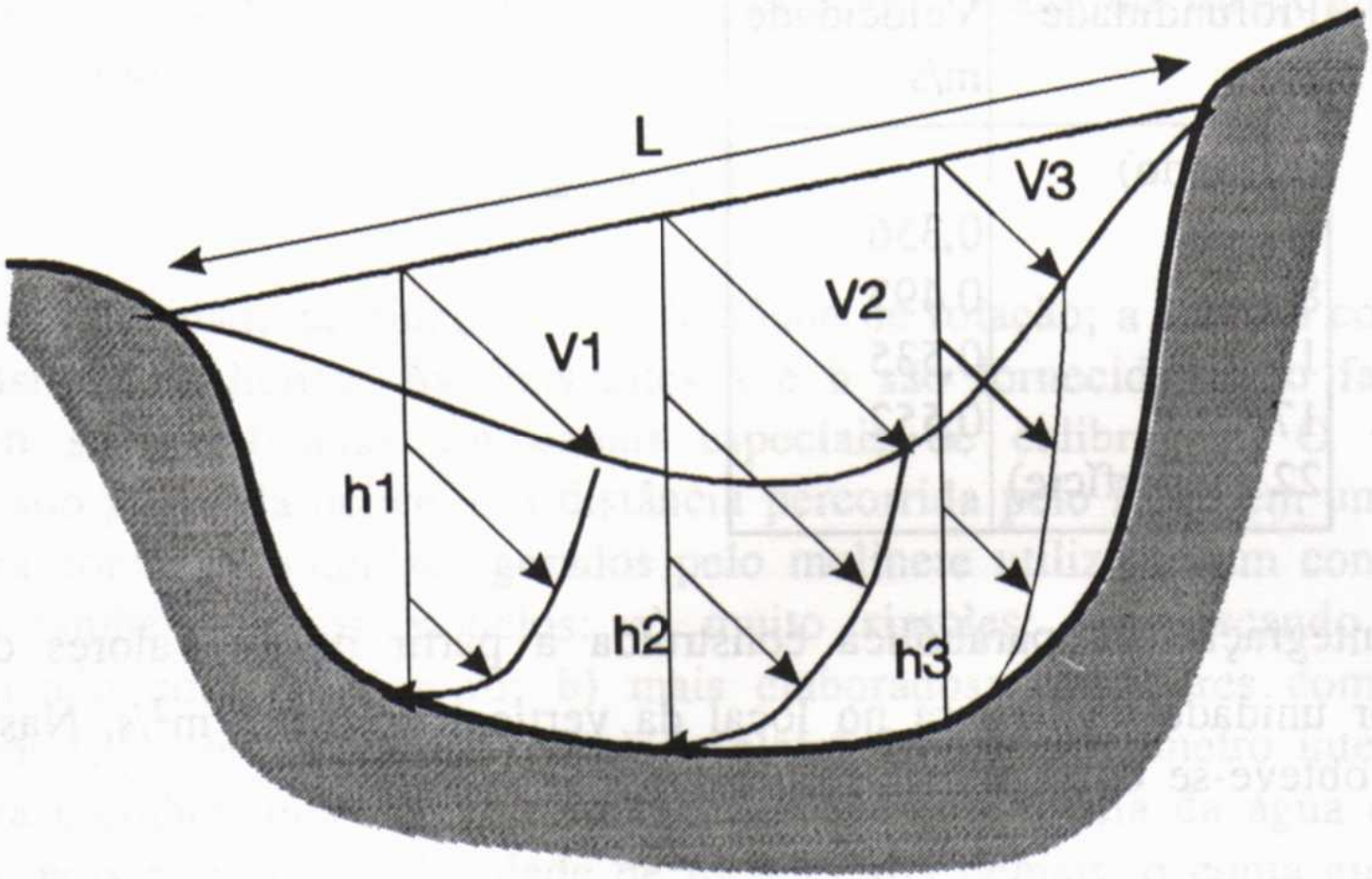
Perfis de velocidade da água a seção



Perfis Horizontais e Verticais das Velocidades na seção de um rio



Perfis horizontais e verticais de velocidades na seção de um rio



Medição com Molinete

Número de verticais de medição

- Procura pela representatividade do perfil de velocidades

Largura do rio (m)	Espaçamento máximo (m)
Até 3	0,3
3 a 6	0,5
6 a 15	1,0
15 a 30	2,0
30 a 50	3,0
50 a 80	4,0
80 a 150	6,0
150 a 250	8,0
250 a 400	12,0

Fonte: Anuário Fluviométrico n.2 Ministério da Agricultura - DNPM - 1941

Medição com Molinete

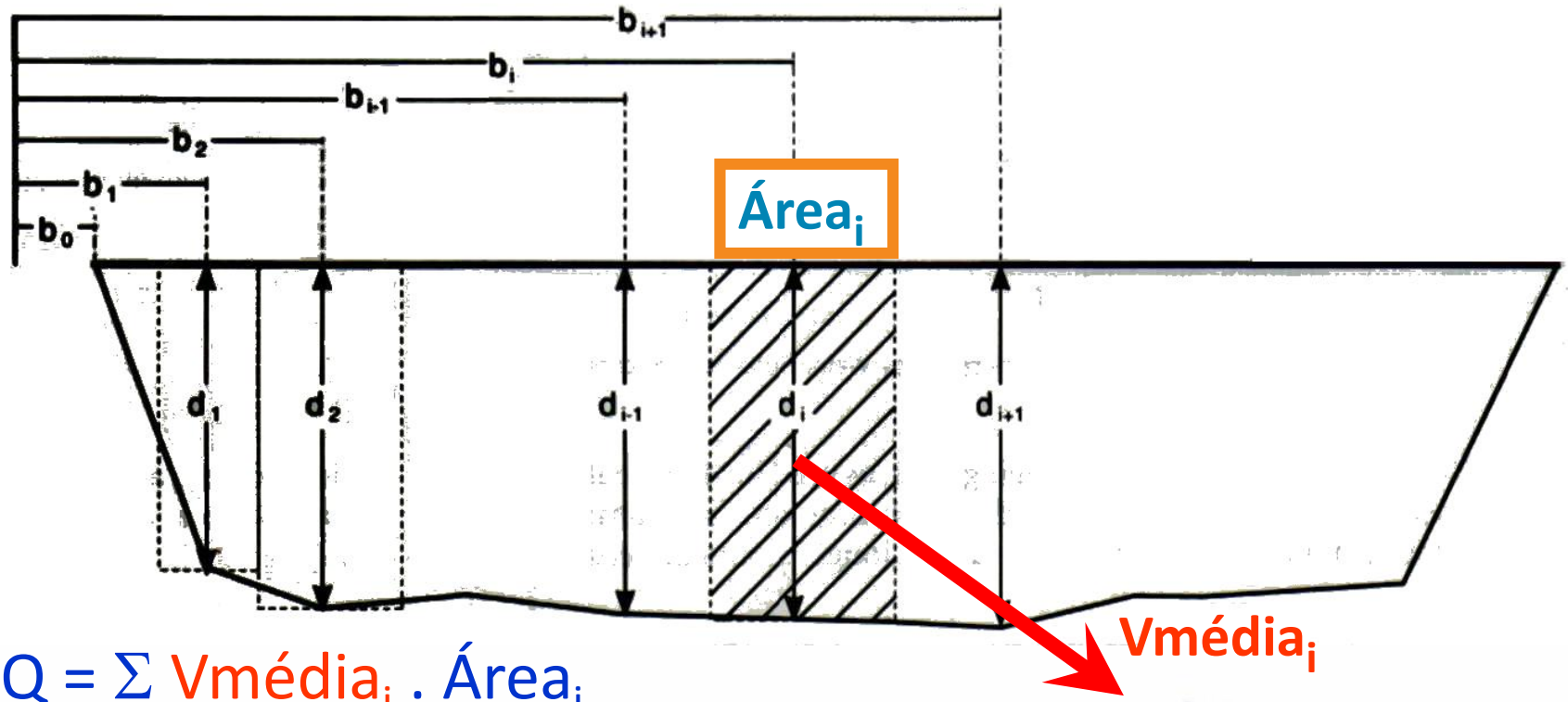
Número de pontos por vertical

- Procura pela representatividade do perfil de velocidades
- Para profundidades < 1 m ⇒ 1 ponto a 60% da profundidade
- Para profundidades > 1 m ⇒ 2 pontos a 20% e a 80% da profundidade
- Velocidade média por vertical (aproximação)

$$V_{0,6h} \quad \text{ou} \quad \frac{\left(V_{0,2h} + V_{0,8h}\right)}{2}$$

Medição com Molinete

Áreas de influência de cada vertical



$$Q = \Sigma\ Vmédia_i \cdot Área_i$$

Medição com Molinete

Exemplo de caderneta de campo

SERVIÇO DE HIDROGRAFIA — DAEE - CTH São Paulo

MEDIÇÃO DE VAZÃO

DATA: 05/12/80

PREFIXO: 3E-108 — NOME DO POSTO: CAMPO LIMPO — ZONA:

RIO: JUNDIAÍ — HÉLICE: - — TEMPO:

Início — escala: — hora: 10:10

Fim — escala: — hora: 10:45

MOLINETE: 16.665 — CONTADOR: A. OTT [X] CTH [ ] — LASTRO: ____ kg

A VAU [ ] — BARCO [X] — GUINCHO [ ] — HASTE [X]

PONTE [ ] — ESCONSIDADE [ ] (croqui no verso)

DIST. POLIA - NÍVEL D'ÁGUA ____ m. LUBRIF. ____

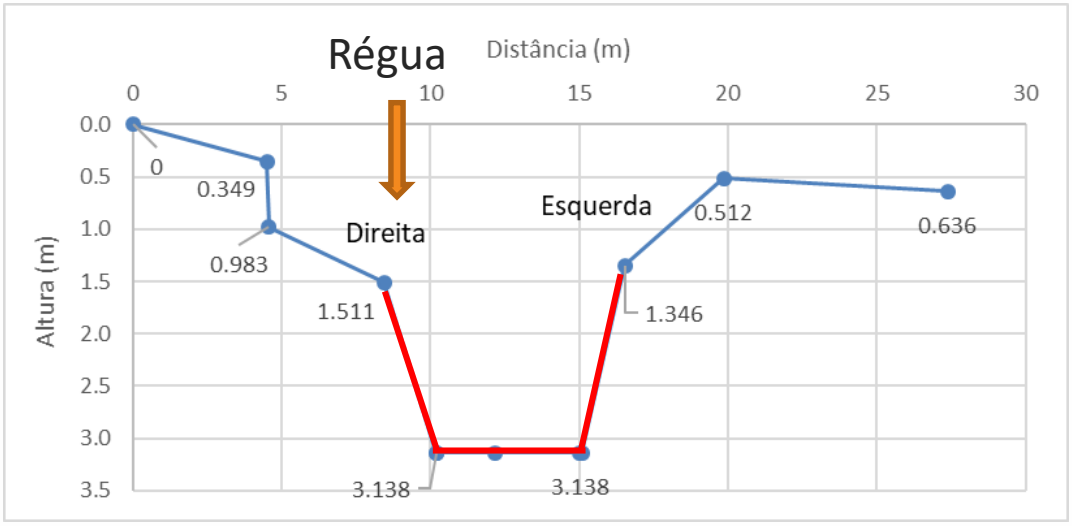
VERTICAL M E	DISTÂNCIA (m) PI-IA: ____ (m)	PROFUNDIDADE (m)	ROTAÇÕES 0,2 h	ROTAÇÕES 0,6 h	ROTAÇÕES 0,8 h	Arrasto ângulo α
(IA) 1	0,00					
2						
3						
4						
5			1,13		0,98	
6	2,50	1,39	1,37		1,08	
7	3,00	1,37	1,37		1,13	
8	3,50	1,33	1,31		1,16	
9	4,00	1,24	1,17		1,14	
10	4,50	1,19	1,05		1,17	
11	5,00	1,07				
12	5,50	0,95				
13	6,00					
14				0,56		
15						
16 (FA)						
17						
18	$V = a + b.n$		V ... [m/s]			
19						
20						
21	reg molinete	$V =$			$n \leq 1,16$	
22						
23		$V =$			$n >$	
24						
25						

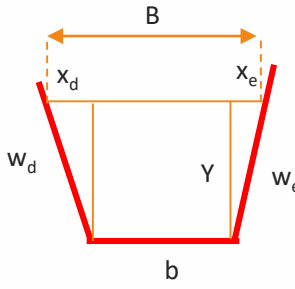
VAZÃO ____ (m^3/s) — ÁREA MOLHADA ____ (m^2) — LARGURA ____ (m)

COTA MÉDIA ____ (m) — VELOCID. MÉDIA ____ (m/s) — PROFUND. MÉDIA ____ (m)

P 6/83 - Fl. 1/2

Seção trapezoidal – Canal Tejo



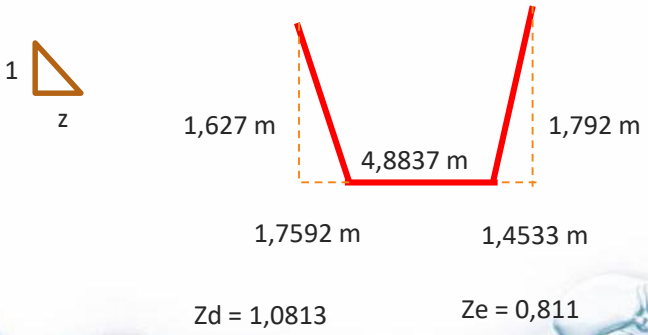


$$\frac{1}{y} = \frac{z}{x} \therefore x = yz$$

$$w = \sqrt{y^2 + (yz)^2} \quad w_d = \sqrt{y^2 + (yz_d)^2} \quad w_e = \sqrt{y^2 + (yz_e)^2}$$

$$y = \sqrt{\frac{w^2}{1+z^2}} \Rightarrow y = \sqrt{\frac{w_d^2}{1+z_d^2}}$$

Área: $$A = by + \frac{yz_d \cdot y}{2} + \frac{yz_e \cdot y}{2}$$



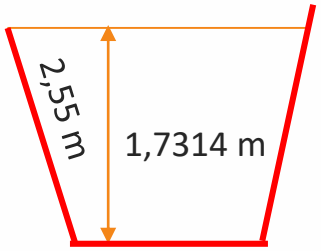
Perímetro molhado: $$P = \sqrt{y^2 + (yz_d)^2} + \sqrt{y^2 + (yz_e)^2} + b$$

$$P = y \cdot \sqrt{(1+z_d)^2} + y \cdot \sqrt{(1+z_e)^2} + b$$

Raio hidráulico: $$Rh = \frac{A}{P}$$

Largura superficial: $$B = b + yz_d + yz_e$$

Altura máxima do nível equivalente à régua



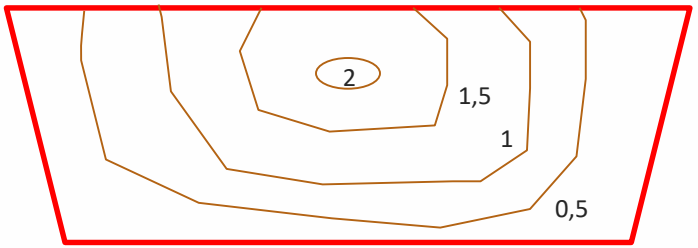
$$y = \sqrt{\frac{w_d^2}{1 + z_d^2}}$$

Comprimento da régua = 2,55 m

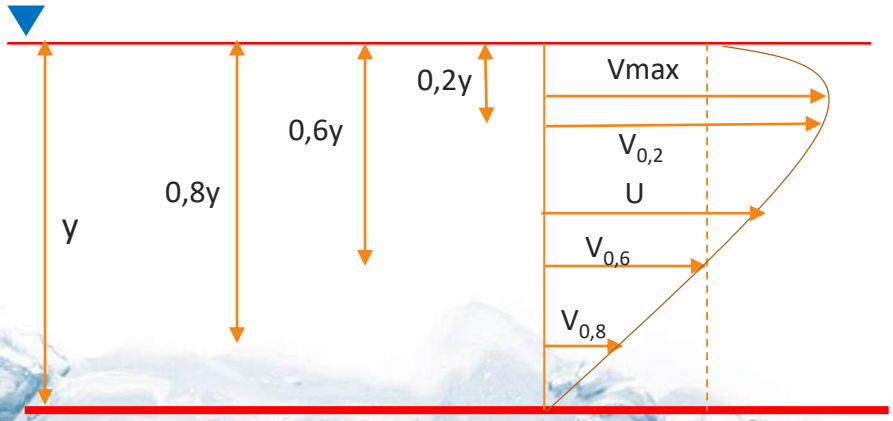
Altura máxima da água equivalente á régua

$$y = \sqrt{\frac{2{,}55^2}{1 + 1{,}0813^2}} = 1{,}7314 \text{ m}$$

Variação da velocidade



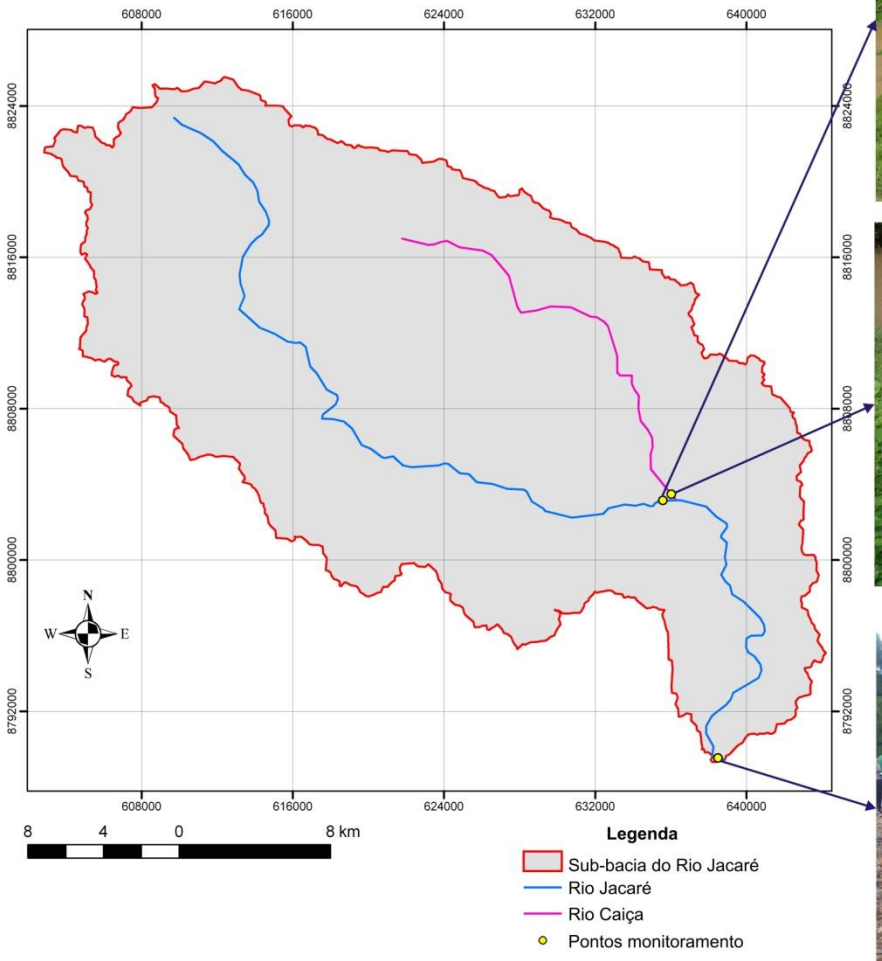
Perfil das velocidade em uma vertical



Medição com Molinete

- Requisitos para uma boa medição
  - Número de verticais adequado
  - Evitar correntes inclinadas
  - Rapidez para evitar variação do NA
  - Evitar vibração do molinete
  - Evitar que o cabo do molinete fique inclinado

Medição com Molinete no Rio Jacaré -SE



Maio/2010

Rio Jacaré, SE, em junho/2010

Medição com ADCP (*Acoustic Doppler Current Profiler*)

Princípio de funcionamento

- ADCP transmite um sinal acústico e ouve o eco que retorna depois de atingir partículas na água
- A velocidade é calculada, com base no conceito do efeito Doppler

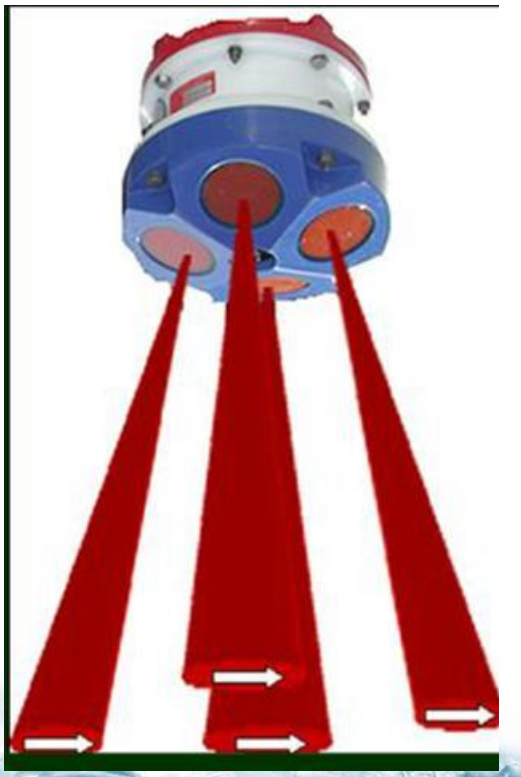
Medição com ADCP (*Acoustic Doppler Current Profiler*)

Vantagens

- Método eficiente para rios de grandes larguras
- Útil em locais com regimes não permanentes ou com efeitos de marés
- Mais preciso que o método de barco em movimento
- Mais seguro do que medidas convencionais feitas em barcos

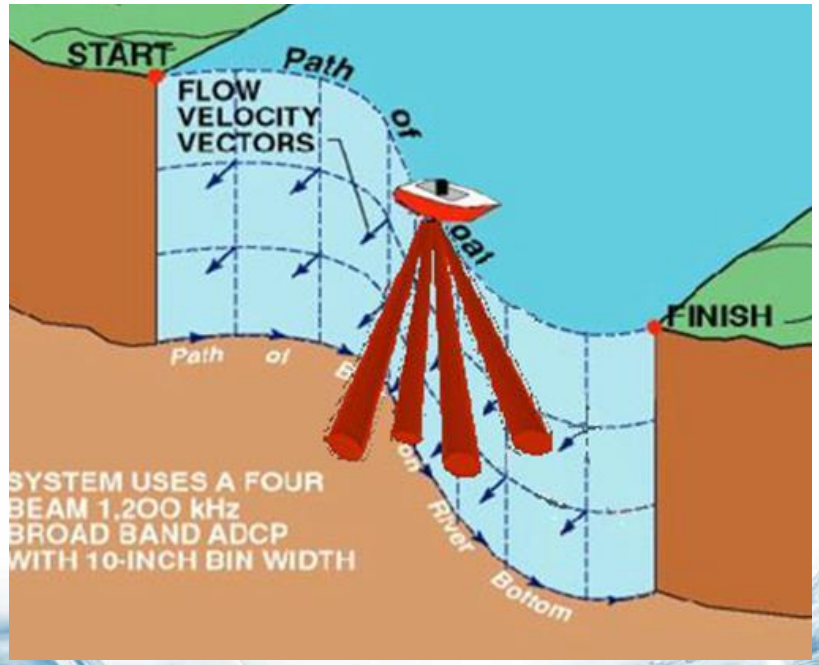
Medição com ADCP (*Acoustic Doppler Current Profiler*)

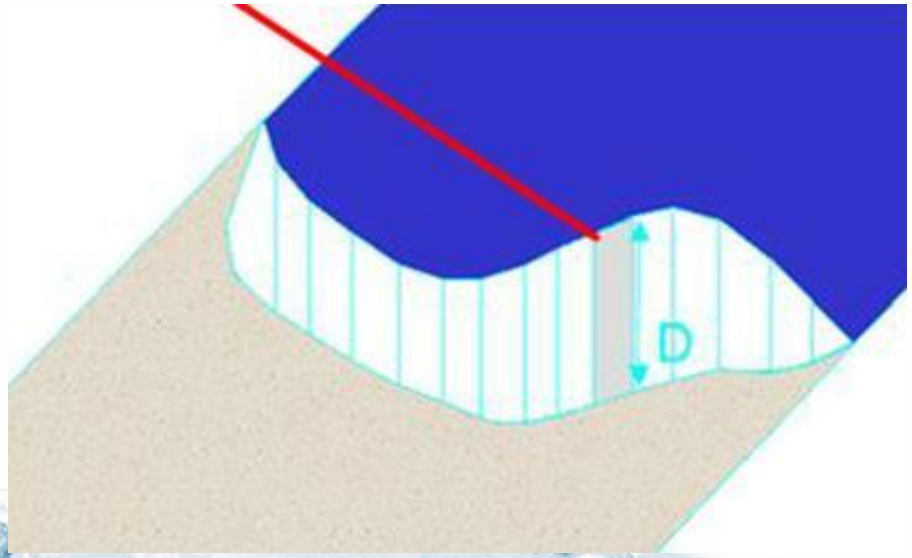
- **ADCPs obtêm velocidades nas três dimensões**



Medição com ADCP (*Acoustic Doppler Current Profiler*)

- O cálculo da vazão é feito de forma semelhante ao método de velocidades, onde se calculam as vazões em pequenos trechos da seção

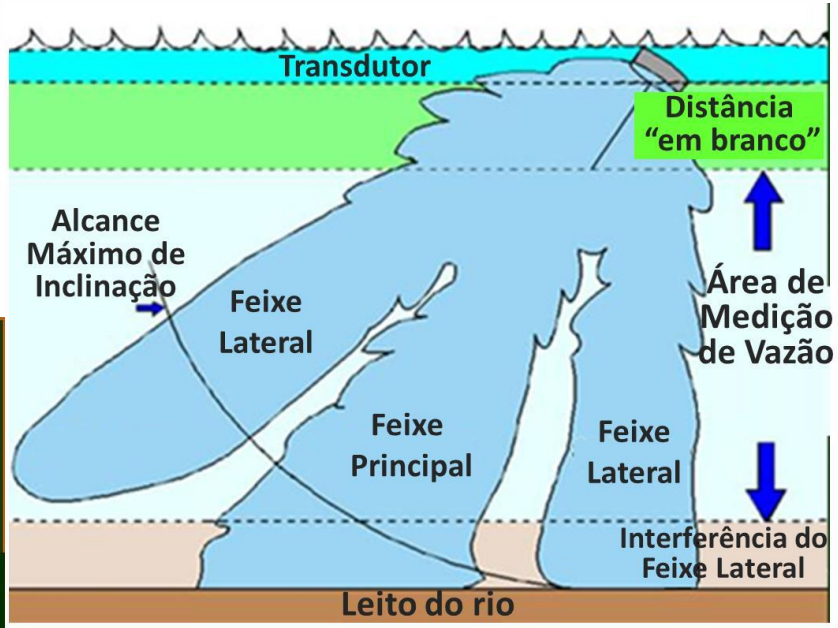




Medição com ADCP (*Acoustic Doppler Current Profiler*)

Limitações

- O ADCP não mede velocidades em algumas áreas da seção transversal.



Medição com ADCP (*Acoustic Doppler Current Profiler*)

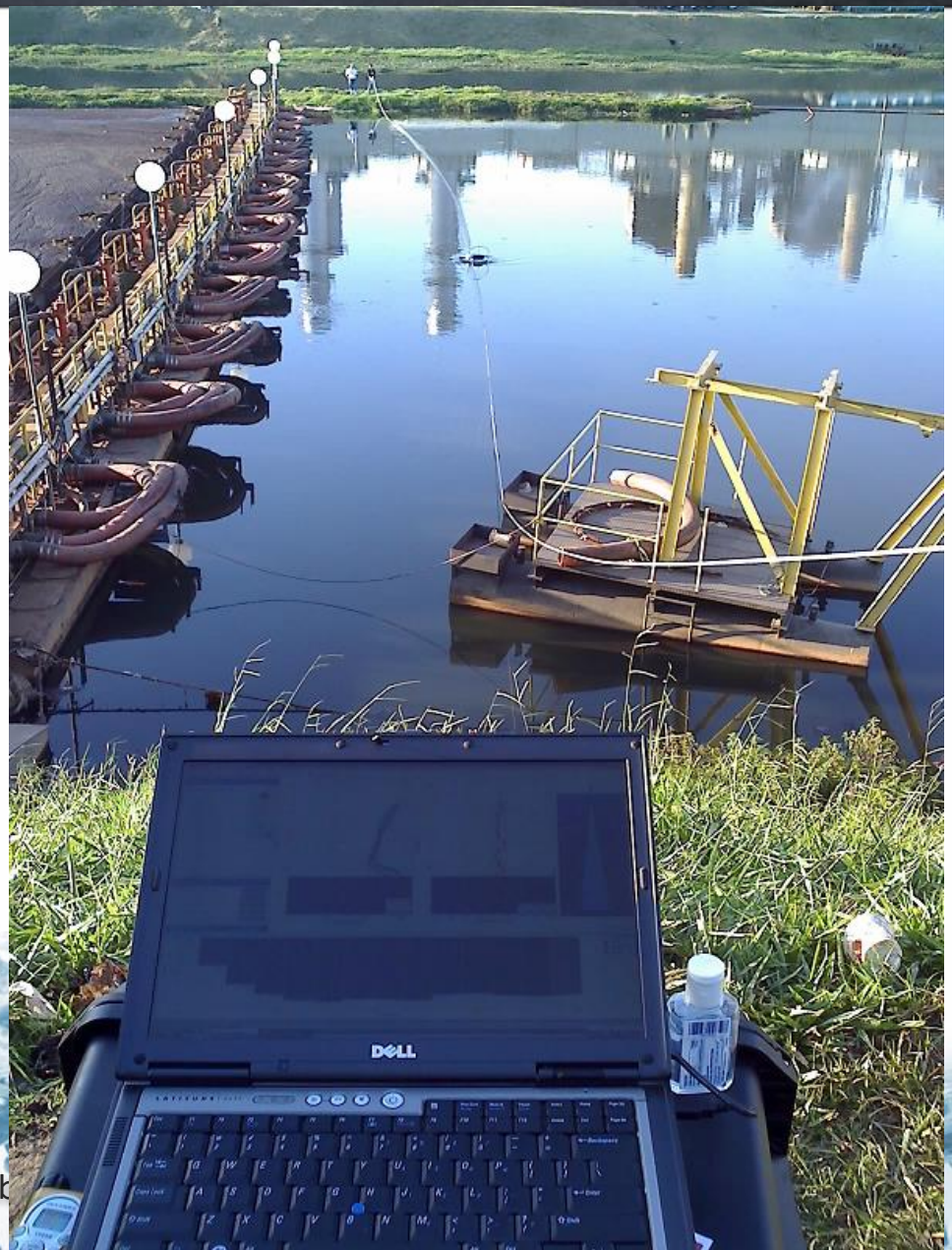
Tipos de montagens do ADCP

ADCP montado em barco

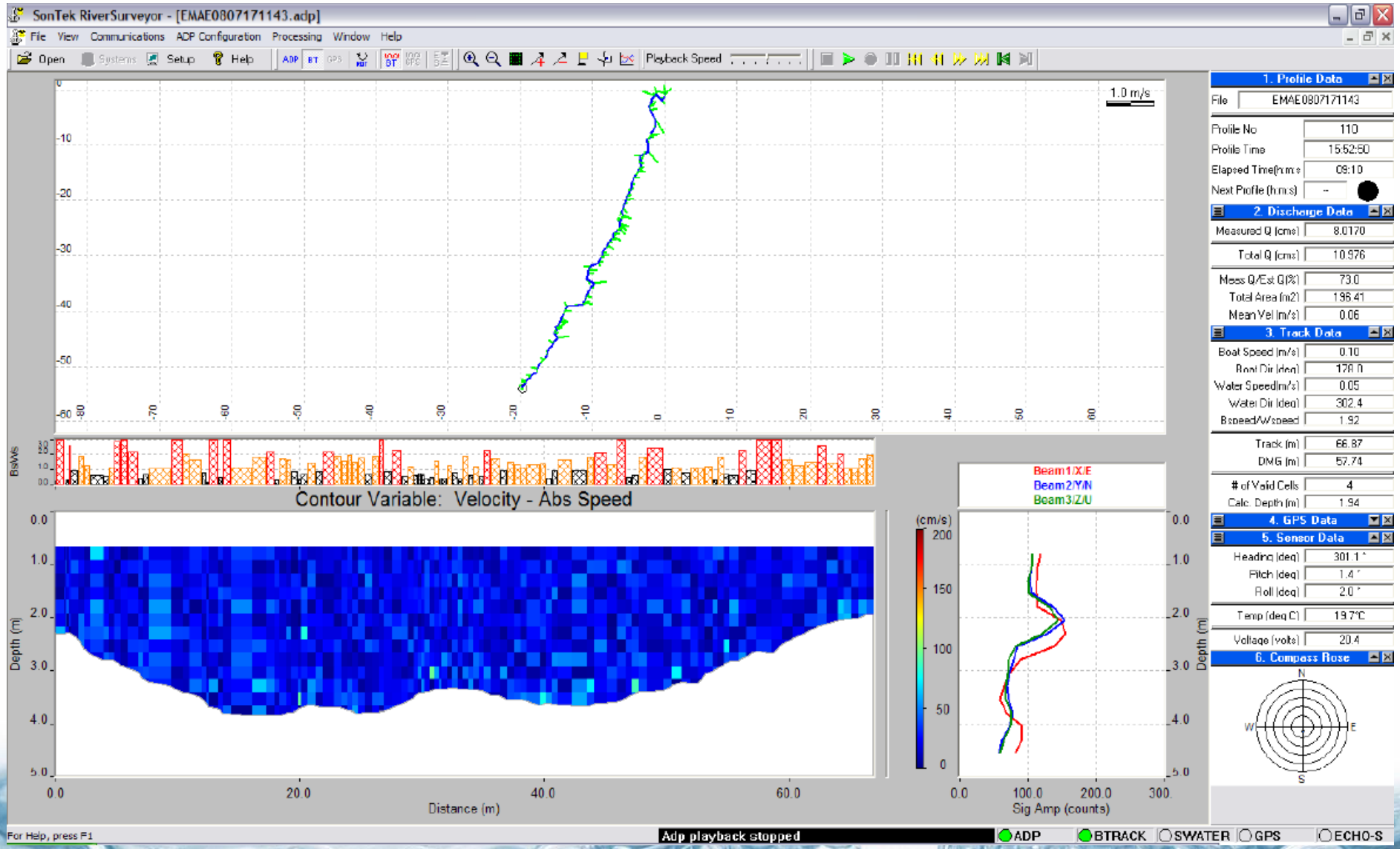
Detalhe do equipamento montado em um “mini catamarã”

Medição com ADCP (*Acoustic Doppler Current Profiler)*

- O “RiverCat” transmite os dados diretamente ao notebook dotado de um software que interpreta os dados, integra as velocidades e calcula a vazão



Medição com ADCP (*Acoustic Doppler Current Profiler*)



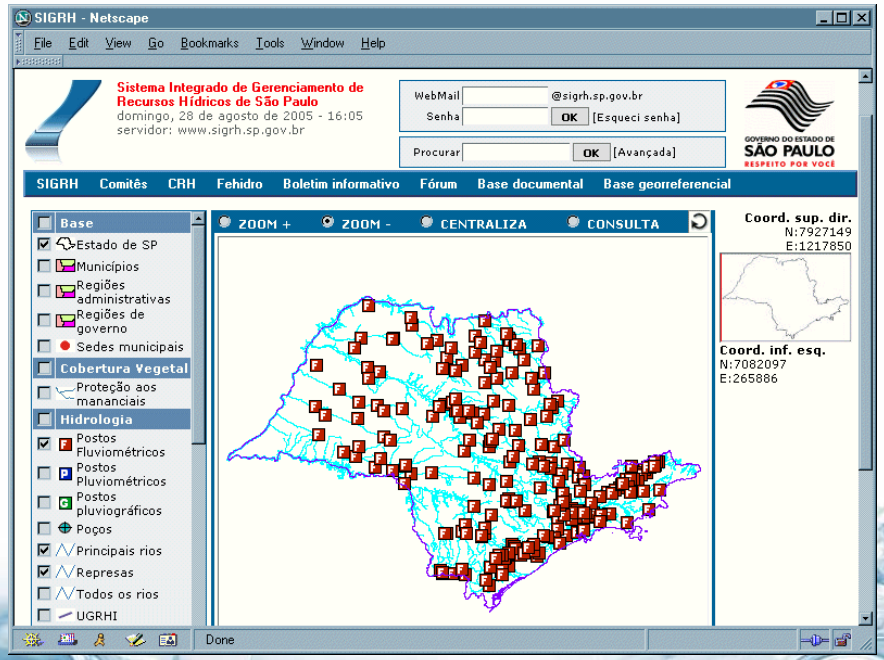
Medição com ADCP no Rio São Francisco

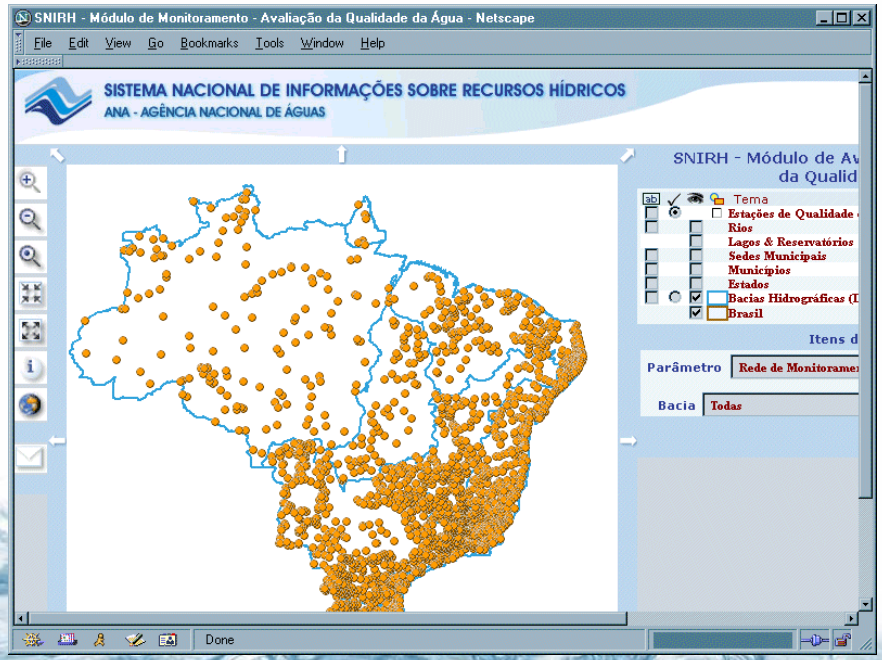
Rio São Francisco – Posto Propriá

Medição com ADCP no Rio São Francisco

Estações Fluviométricas

"Atualmente, estão cadastradas no Banco de dados hidrológicos da ANA, 22.333 estações hidrometeorológicas, sendo 14.189 estações pluviométricas e 8.144 estações fluviométricas. Estão em operação no país, através das diversas entidades, cerca de 8.760 estações pluviométricas e 4.133 estações fluviométricas"





2307/PHD-2308
nço Hídrico
as Hidrográficas
ição de Vazão
va-Chave
gonos de Thiessen
estre Hidrológico
vas Intensas
va de Permanência
elo em Planilha
tística
Res
tração
potranspiração
pamento Superficial
to
ograma Unitário
as Subterrâneas
umo
idas Frequentes

Medição de Vazão

- Data máxima para entrega: 30/11/2012
- Numero de Tentativas com Respostas Incorretas:

Com a tabela de medição de descargas fornecida, desenhe a seção transversal do rio e faça a integração das velocidades na área, para calcular a vazão medida.

Rio São Lourenço — Posto Sítio Jaborandi (4F-007)

Tempo (s): 50 — 13/05/1998

Equação do Molinete: V = 0,1340 * n + 0,024 (V em m/s e n em rps)

Vertical	Distância ao ponto inicial	Profundidade Vertical	Rotação 0,2 h	Rotação 0,6 h	Rotação 0,8 h
1	0.90	0.00			
2	1.50	0.33		28	
3	2.00	0.71		34	
4	3.00	1.36	151		114
5	5.00	1.98	163		103
6	8.00	3.22	168		101
7	11.00	3.09	210		169
8	14.00	2.96	230		180
9	17.00	2.87	231		236
10	20.00	2.90	231		223
11	23.00	2.90	256		198
12	26.00	3.02	235		228
13	29.00	3.21	203		171
14	32.00	3.26	175		144
15	34.00	3.17	134		94
16	36.00	1.98	122		46
17	37.00	1.50	76		74
18	37.50	0.90		73	
19	38.00	0.56		24	
20	38.30	0.00			

Vazão (m^3/s) =

Fim

“Não se pode fazer voltar a água que passou nem a hora que transcorreu.”

Ovídio