

13. HIDROMETRIA



Qualquer medição relativa à água (particularmente a vazão).

FINALIDADES:

i) Vazões mínimas:

- Outorga para sistemas de irrigação
- Capacidade de recebimento de efluentes urbanos e industriais
- Calado para navegação

ii) Vazões médias:

- Sistemas de abastecimento de água
- Instalações hidrelétricas

iii) Vazões máximas:

- Sistemas de drenagem
- Vertedores e sistemas de proteção contra enchentes

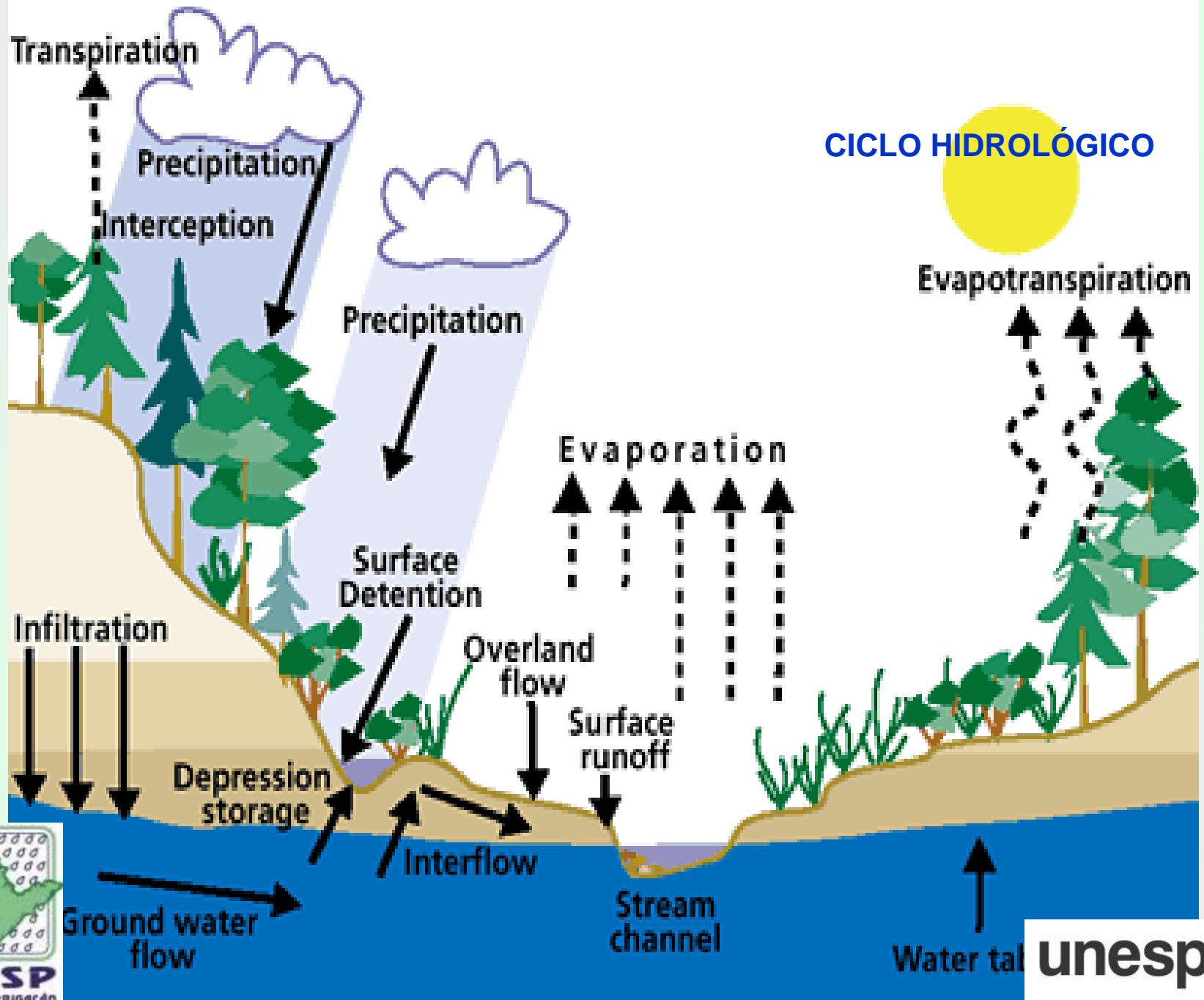
VAZÃO - APLICAÇÕES

- ✓ Curvas de desempenho de bombas hidráulicas
- ✓ Irrigação
- ✓ Aplicações ambientais
- ✓ Segurança de barragem
- ✓ Regionalização de vazão
- ✓ Desempenho de sistemas e/ou equipamentos
- ✓ Distribuição de água coletiva (urbano, rural)

MÉTODOS:

- Volumétricos (diretos)
- Hidrômetros
- Relação velocidade-área (flutuadores, molinetes, Pitot)
- Diferenciais (diafragma, venturímetro)
- Regime crítico (calhas)
- Vertedores
- Rotâmetro
- Eletromagnéticos
- Ultrasônicos (emissores, efeito Doppler)
- Químicos, colorimétricos, radioativos
- Coordenadas

CICLO HIDROLÓGICO



Campus de Ilha Solteira

Snake River Plain and Aquifer of Idaho, USA

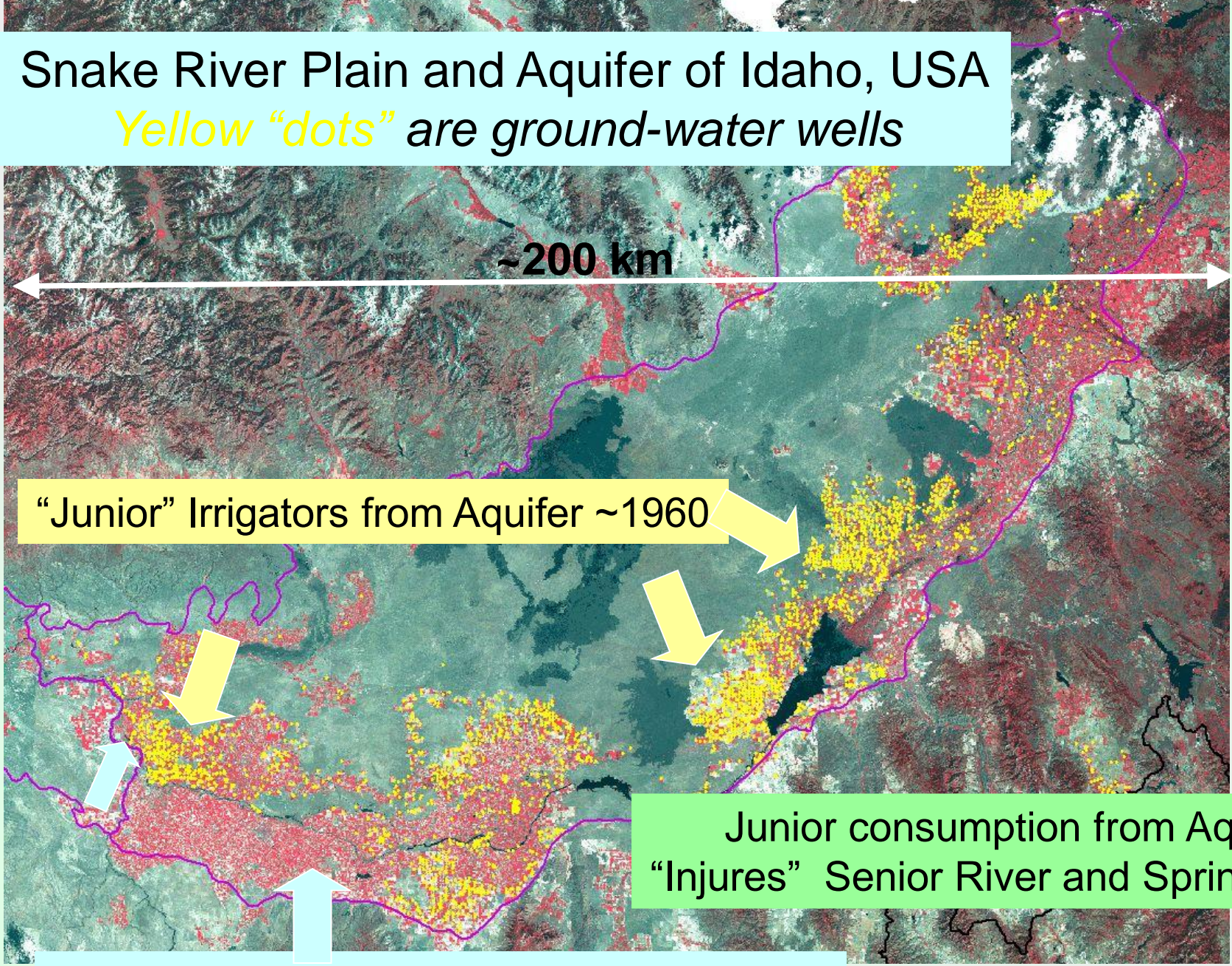
Yellow "dots" are ground-water wells

~200 km

"Junior" Irrigators from Aquifer ~1960

Junior consumption from Aquifer
"Injures" Senior River and Spring Rights

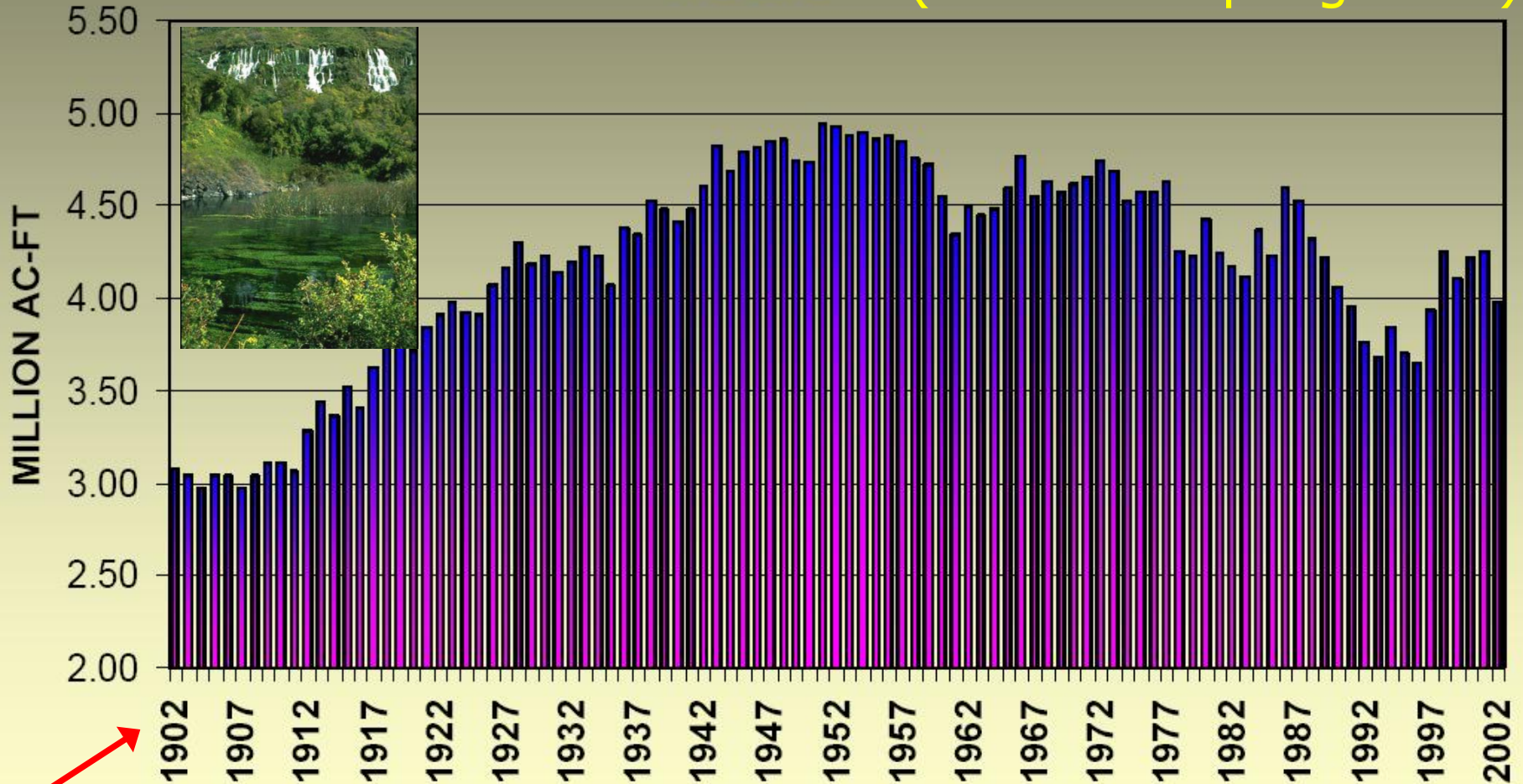
"Senior" Irrigators from River ~1900



1 million acre-feet = 1,200,000,000 m³

AVERAGE ANNUAL SPRING DISCHARGE TO SNAKE RIVER BETWEEN MILNER AND KING HILL

1902-2002 (Thousand Springs area)



Start of "inefficient"
Irrigation Development

Fonte: Allen, 2008

Conversion of some Surface
Irrigation to Sprinkler + More
GW Pumping

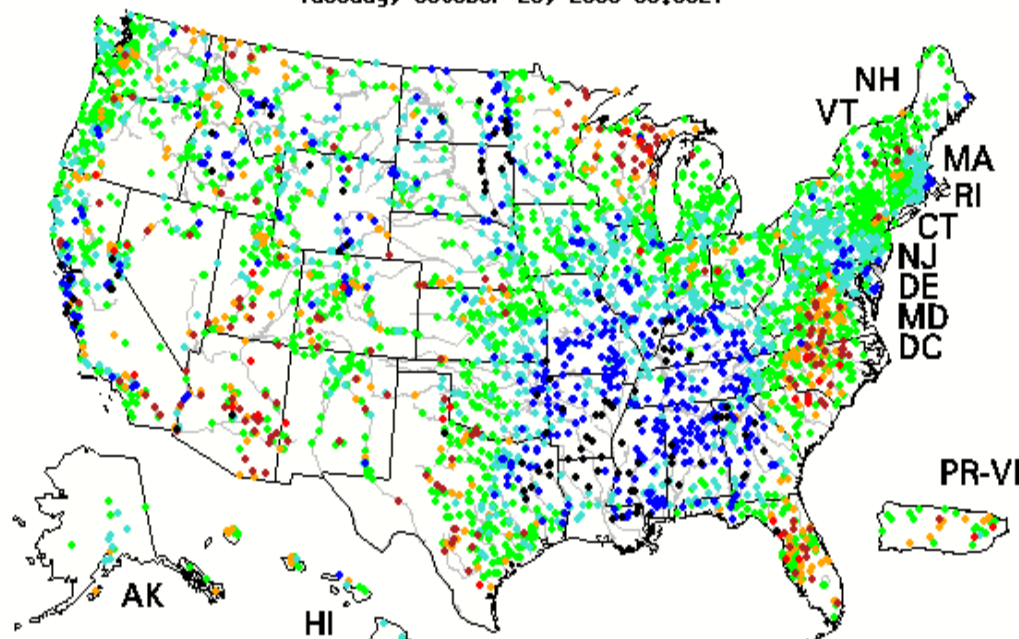
WaterWatch -- Current Water Resources Conditions

Current Maps/Graphs: Flood Watch: Drought Watch:
Map Water-Resources Regions

WaterWatch -- Current water resources conditions

Map of real-time streamflow compared to historical streamflow for the day of the year (United States)

Tuesday, October 20, 2009 06:30ET



Peak Streamflow for the Nation

USGS 09508500 VERDE R BLW TANGLE CREEK, AZ

Available data for this site

Surface-water: Peak streamflow

GO

Yavapai County, Arizona
 Hydrologic Unit Code 15060203
 Latitude 34°04'23", Longitude 111°42'56" NAD27
 Drainage area 5,858 square miles
 Contributing drainage area 5,494 square miles
 Gage datum 2,029 feet above sea level NGVD29

Output formats

Table

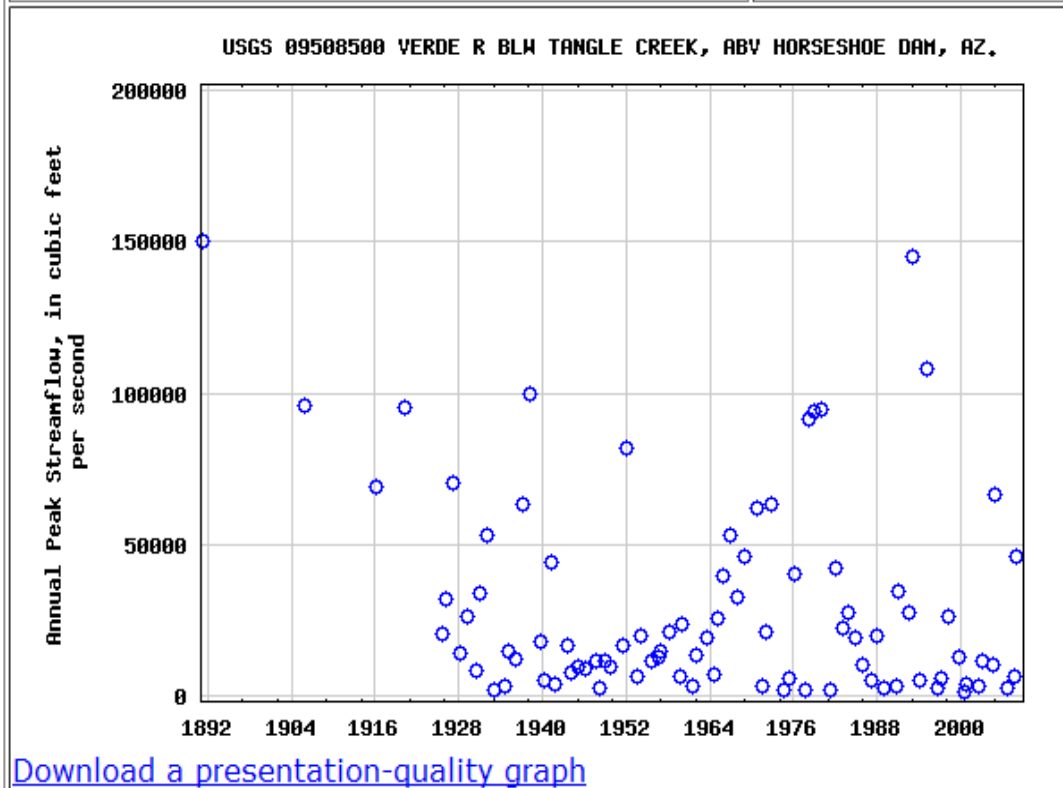
Graph

Tab-separated file

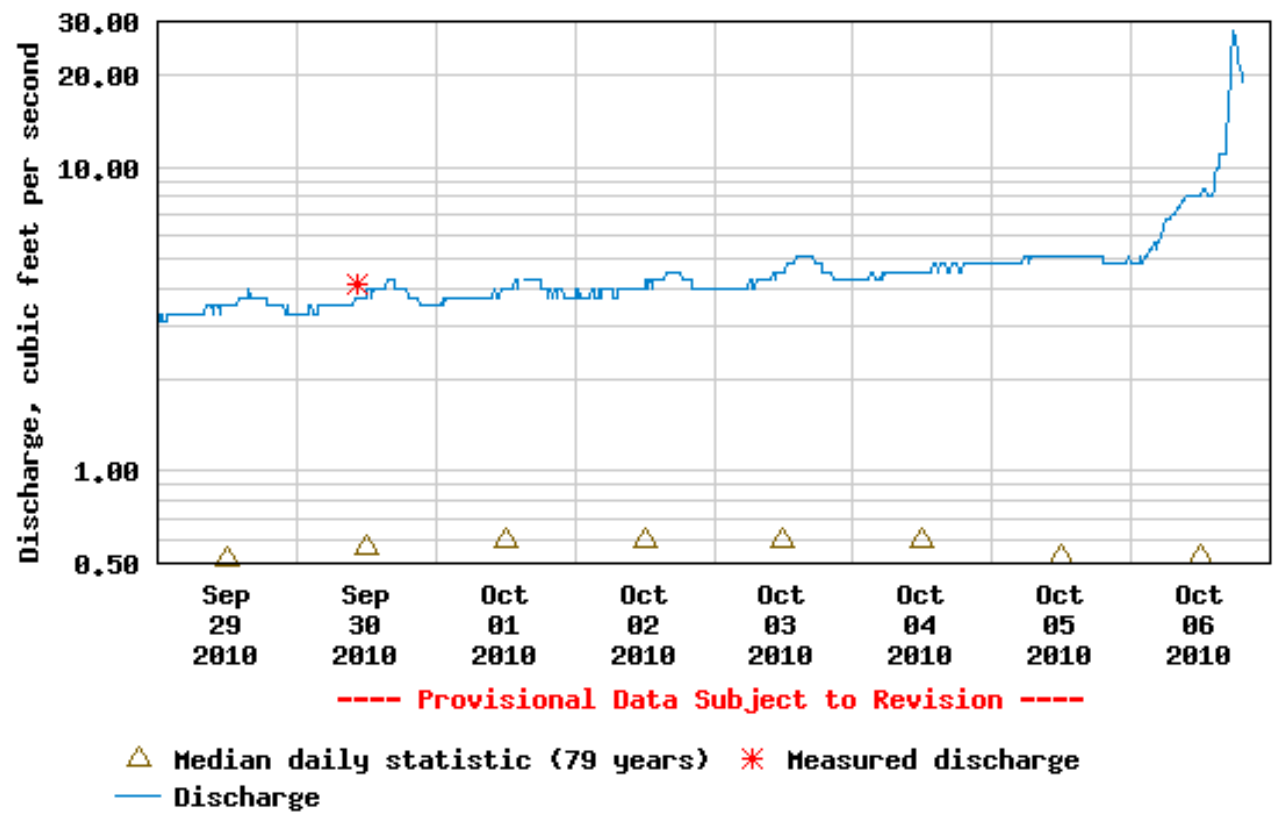
peakfq (watstore) format

Reselect output format

1892



USGS 11113000 SESPE C NR FILLMORE

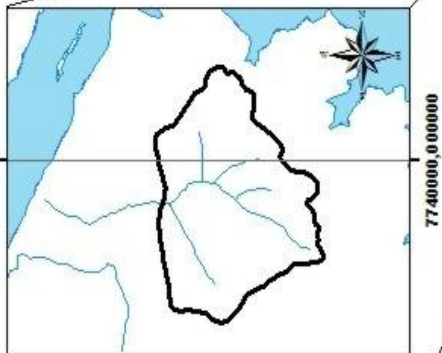
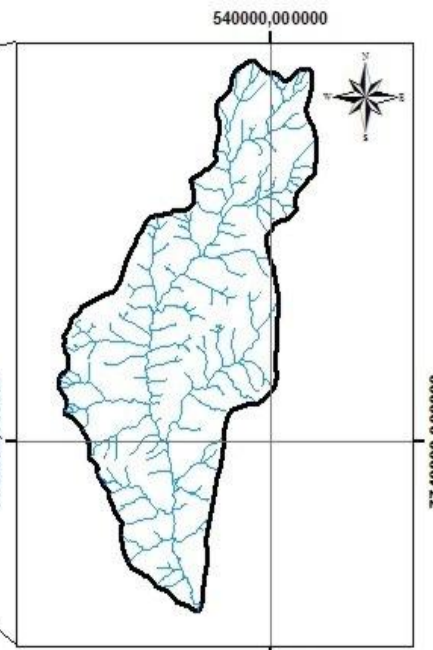
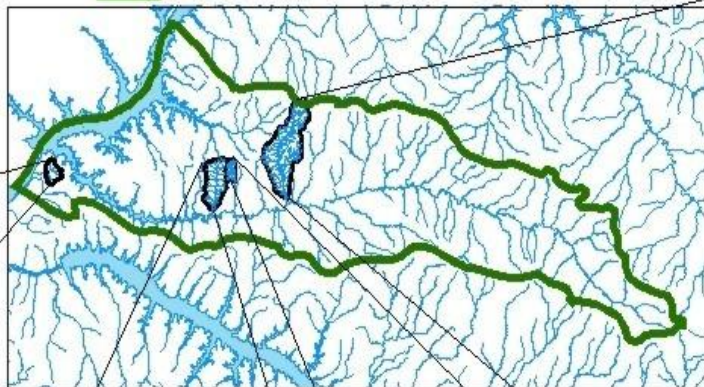
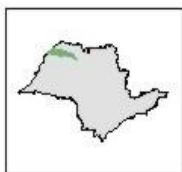


PERIOD OF RECORD

September 1911 to September 1913,
October 1927 to September 1985,
October 1990 to January 1993,
October 1993 to current year.

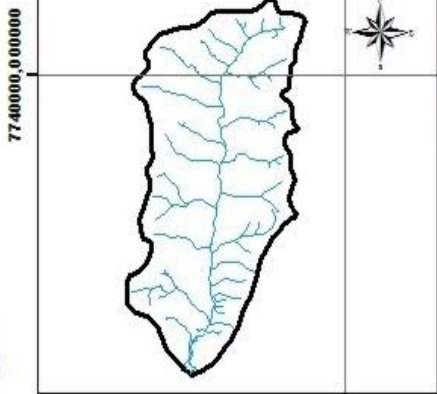
Mapa de localizações das microbacias monitoradas pela Área de Hidráulica e Irrigação UNESP Ilha Solteira

 **Bacia Hidrográfica - SJD/ UGRH- 18**



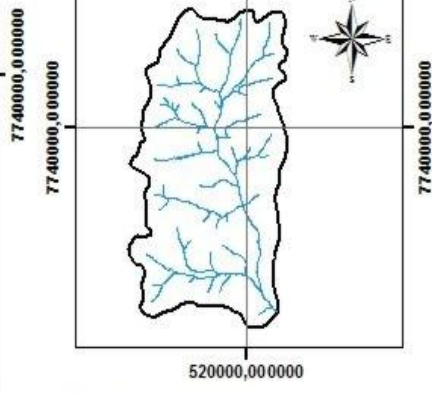
Córrego do Boi

520000,000000

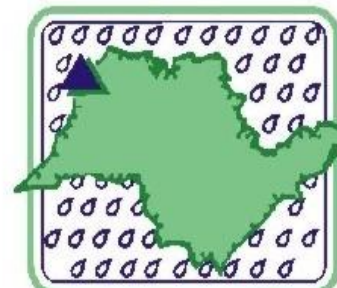


Córrego Três Barras

520000,000000



Córrego do Coqueiro



UNESP
HIDRÁULICA E IRRIGAÇÃO
ILHA SOLTEIRA - SP

Projeção Universal Transversal de Mercator
Datum: SAD 69



FEPISA

Fundação de Estudos, Pesquisa e Extensão de Ilha Solteira



unesp
Campus de Ilha Solteira



Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico



MÉTODOS QUE USAM RELAÇÃO VELOCIDADE x ÁREA

São métodos que estimam a velocidade média em uma ou mais seções de um curso de água ou de uma tubulação, calculando-se, em seguida, a vazão através da Equação: $Q = v.A$

Basicamente são 3 tipos:

- a) Flutuadores: objetos flutuantes que estando parcialmente imersos na massa líquida adquirem a velocidade da mesma.
- b) Molinetes: São aparelhos dotados basicamente de uma hélice e um “conta-giros”, medindo a velocidade do fluxo d’água que passa por ele. Assim, quando posicionado em diversos pontos da seção do rio determinam o perfil de velocidades desta seção. Com tal perfil e a geometria da seção, determina-se a vazão.
- c) Tubo de Pitot: consiste, basicamente, de um tubo de inox que fica inserido na tubulação tendo orifícios posicionados paralelamente às linhas de fluxo para medir somente a carga piezométrica, e um outro orifício na extremidade posicionado contra as linhas de fluxo para medir a carga piezométrica e cinética.





PERFIL DA SEÇÃO MOLHADA

PROFUNDIDADE

Ponto 4 – medição de vazão

OBS: Devido a muitas causas de erros, tais como ondas, ventos e irregularidades no leito do curso de água, o método apresenta pouca precisão, sendo recomendado apenas para levantamentos expeditos ou na falta de outros recursos.

Regras básicas para aplicação do método:

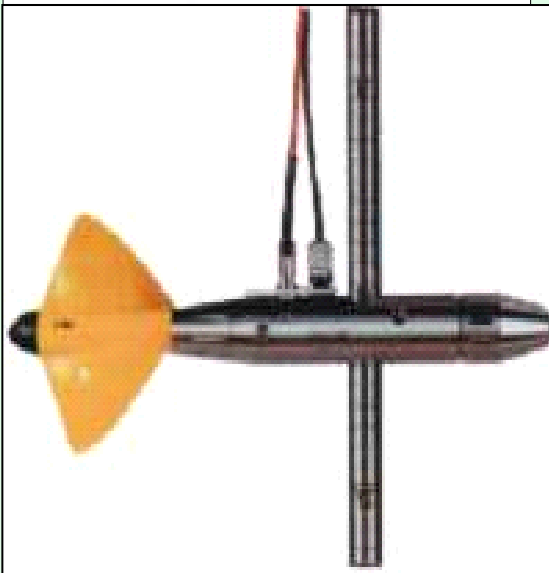
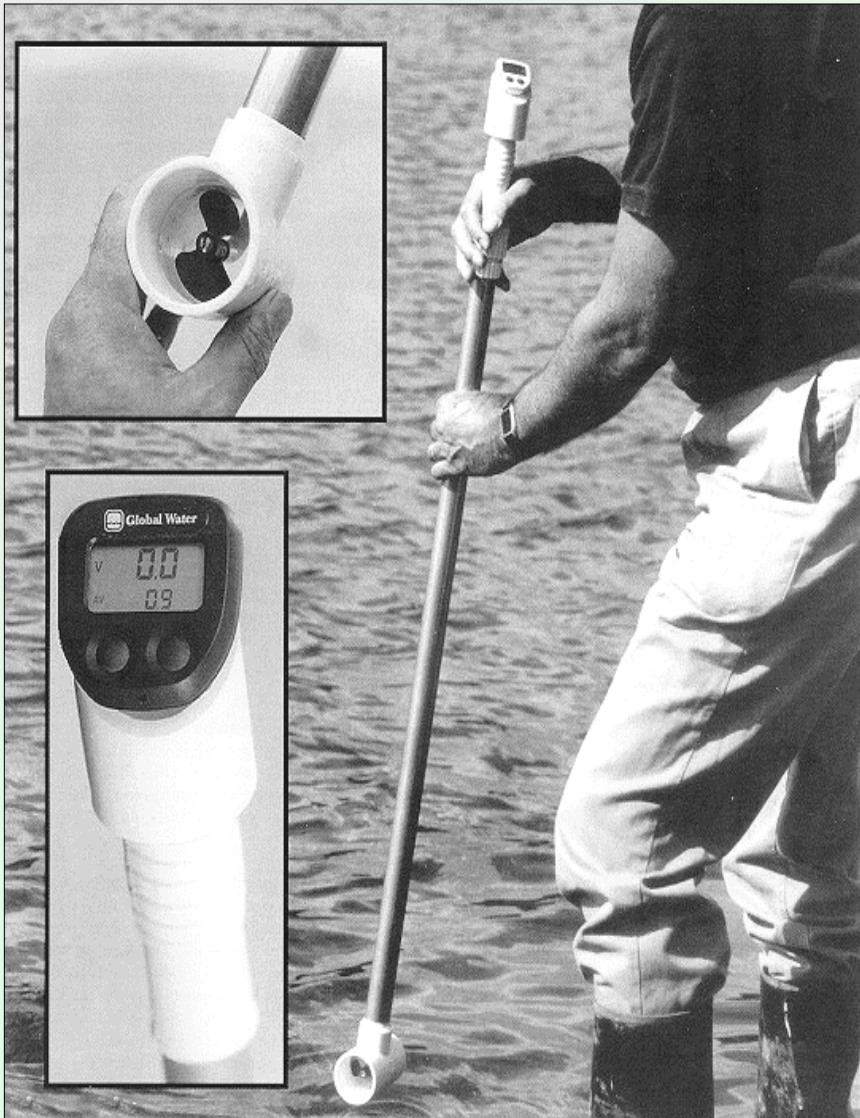
- i) O trecho deve ser o mais representativo possível (locais uniformes, retilíneos e estreitos);*
- ii) Marcar a distância do trecho (15 a 50 m);*
- iii) Soltar o flutuador pouco acima do primeiro marco e cronometrar durante o trajeto do mesmo entre os marcos;*
- iv) Calcular a velocidade média para a seção considerada, que corresponde de **80 a 90%** da velocidade superficial;*
- v) Efetuar medições da profundidade do leito do curso de água, calculando as áreas parciais das seções (formas de trapézio);*
- vi) Aplicar a Equação: $Q = v_{m\acute{e}dia} \cdot (A1 + A2 + \dots + An)$.*

Fatores de correção

Velocidades muito baixas = 0,80

Declividades fracas, rios médios = 0,85

Declividades médias, rios médios = 0,90







UNESP Ilha Solteira



UNESP Ilha Solteira



UNESP ILHA SOLTEIRA



UNESP ILHA SOLTEIRA



Regras básicas para aplicação do método:

- i) A medição deverá ser sempre normal à correnteza do rio em trechos retilíneos e sem turbilhonamentos;*
- ii) O espaçamento entre duas verticais consecutivas, na qual serão tomadas as velocidades deverá ser: 0,20 m para largura de cursos de água de até 3 m; 0,50 m para largura de 3 a 6 m; 1,00 m para largura de 6 a 15m; 2,00 m para largura de 15 a 30 m; 3,00 m para largura de 30 a 50 m; 4,00 m para largura de 50 a 80 m; 6,00 m para largura de 80 a 150 m; 8,00 m para largura de 150 a 250 m; e 12,00 m para largura maior que 250 m (junto às margens os espaçamentos deverão ser menores);*
- iii) Em cada vertical deverão ser tomadas velocidades em diversas profundidades, sendo no mínimo 3 para profundidade entre 0,60 e 1,00 m e 4 para profundidades maiores;*
- iv) Para determinação das velocidades devem ser tomados tempos de no mínimo 30 s;*
- v) Os molinetes devem ser aferidos periodicamente.*

MÉTODO DIRETO

Coleta do líquido em recipiente de volume conhecido, medindo-se simultaneamente o tempo para seu enchimento.

A precisão será tanto maior quanto maior for tempo de determinação (baixíssimos volumes → pesagem do líquido)

Método aplicado nos casos de pequenas vazões:

- fontes, pequenos riachos, bicas
- torneiras residenciais, tubulações de pequenos diâmetros
- aspersores de pequenos bocais, microaspersores e gotejadores.

HIDRÔMETROS

São aparelhos destinados à medição da quantidade de líquido escoado num período relativamente grande, sendo dois os tipos principais:

- a) Hidrômetro de velocidade (tipo turbina): possui pás giratórias acopladas a um sistema de engrenagens com escala volumétrica
- b) Hidrômetro volumétricos: ao invés das pás existe um recipiente (êmbolo ou anel) que se enche com a entrada do líquido e transporta para a saída do medidor um determinado volume.

Ao entrar no medidor, o fluido é direcionado em um ou mais jatos e aciona a turbina ou hélice, gerando movimentos de rotação. O totalizador é então acionado e faz registros proporcionais à rotação da turbina, acumulando e indicando o volume. São os mais comuns e devido ao seu baixo custo são os mais utilizados para medir o consumo de água nas instalações prediais e industriais.

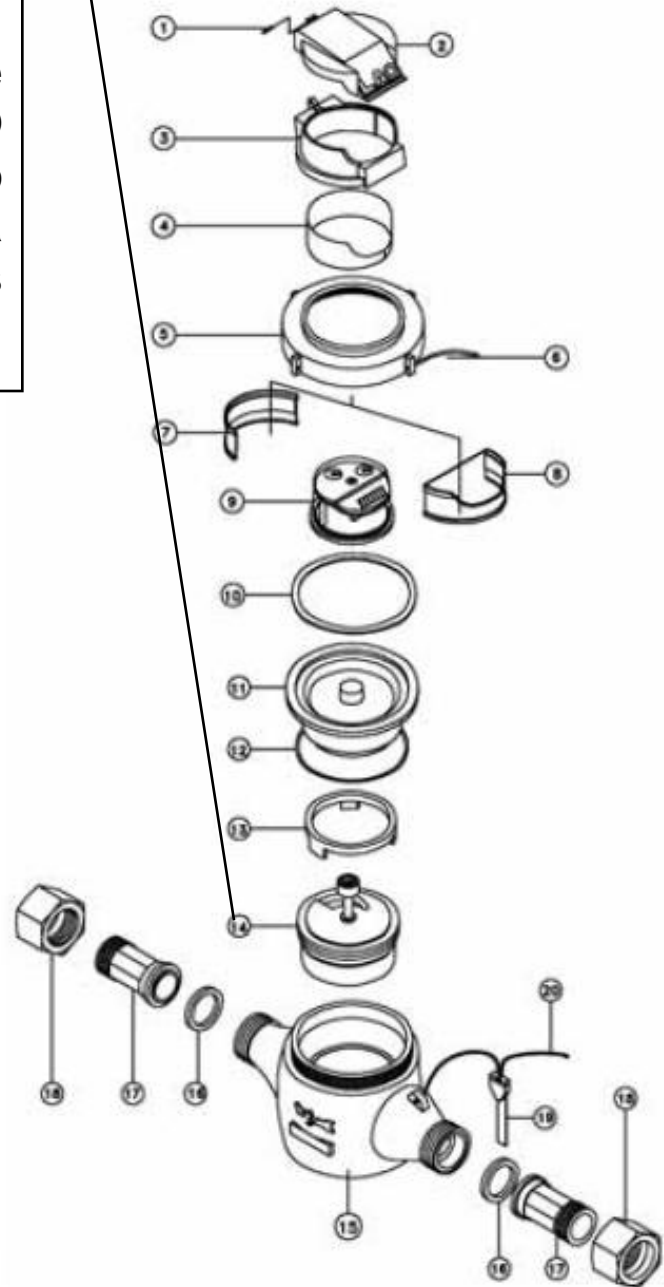


Câmara de medida montada

O transporte se dá pela diferença de pressão, que é maior na entrada do que na saída do aparelho. O êmbolo executa movimento circular em torno do próprio eixo, gerando os movimentos necessários para acionar o totalizador. A partir daí, o registro de volumes dá-se da mesma forma que nos demais hidrômetros.



Relojoaria Inclinada



Classificação dos hidrômetros:

De acordo com a **vazão mínima** (vazão que começa a indicar volumes dentro da faixa de medição) e a **vazão de transição** (também chamada de vazão separadora, é aquela que separa a faixa inferior de medição da faixa superior). Quanto menores elas forem mais sensível, e portanto mais eficiente, será o medidor.

Assim, dentre os medidores de diâmetro $\frac{3}{4}$ " e vazão nominal 1,5 m³/h, aquele que operar com vazão mínima de 40 L/h e vazão de transição de 150 L/h é classificado como medidor classe A. Se ele trabalhar na vazão mínima de 30 L/h e vazão de transição de 120 L/h, será dito um medidor classe B e, se trabalhar com vazão mínima de 15 L/h e vazão de transição de 22,5 L/h, será classificado como medidor classe C.

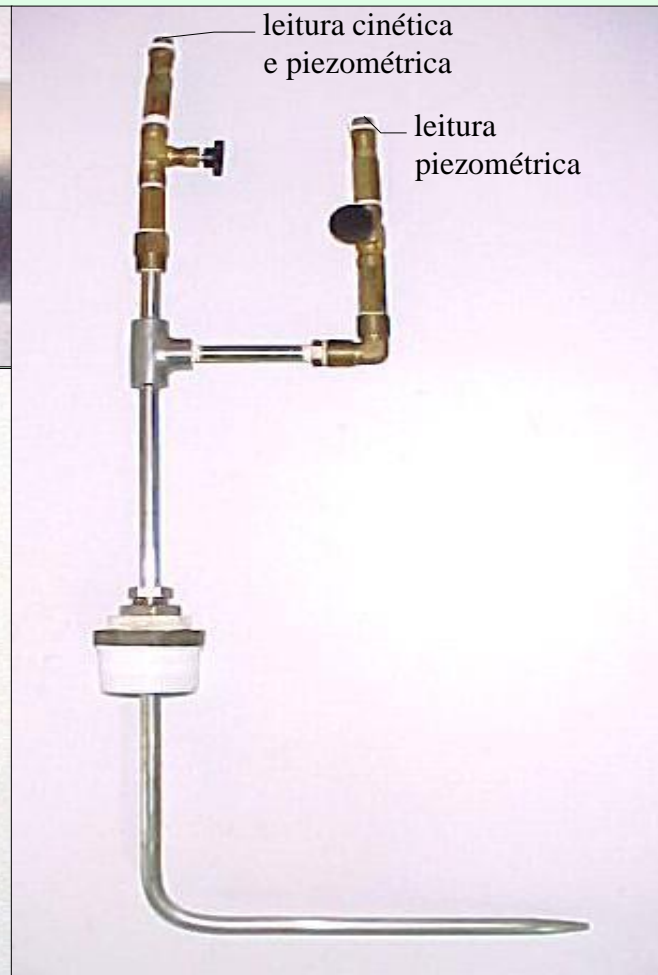
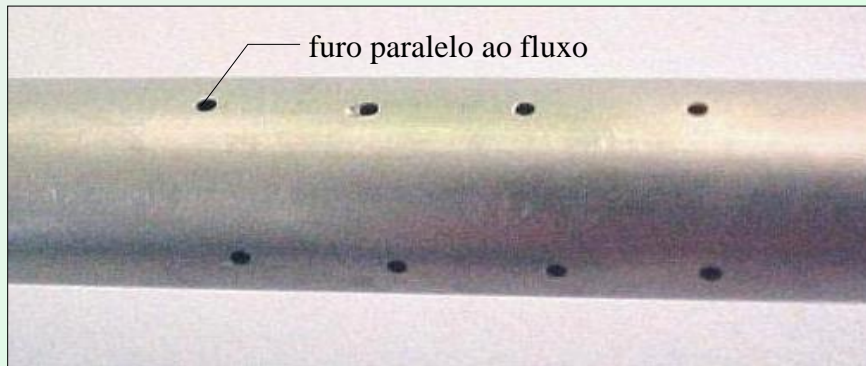
Note-se que o medidor classe C é mais sensível que o B e este mais sensível que o A.

Vazão nominal (Q_o) – identifica o medidor e é metade da vazão máxima.

Vazão máxima ($Q_{m\acute{a}x}$) – é a maior vazão admissível no hidrômetro no qual o hidrômetro pode trabalhar por pouco tempo sem se danificar e sem apresentar perda de carga superior a 10 m. Para evitar o desgaste prematuro a vazão de trabalho deve estar sempre abaixo da vazão nominal.



OBS: Sua vantagem em relação a outros elementos deprimogêneos é a baixa perda de carga que ocorre com sua inserção na tubulação, e sua desvantagem é a baixa pressão diferencial (carga cinética) gerada, fato que pode ser difícil para detecção dos manômetros, sendo, por isso, mais recomendados nos casos de correntes de grande velocidade (utilização ampla em aviões para medição da velocidade).



A diferença de carga h entre os dois pontos de leitura do aparelho corresponde à carga cinética; conseqüentemente, a velocidade é:

$$v = \sqrt{2.g.h}$$

Substituindo-se a equação anterior na equação da Continuidade e sabendo-se o diâmetro da tubulação onde o aparelho está inserido, a vazão é calculada por:

$$Q = k. \frac{\pi}{4} . D^2 . \sqrt{2.g.h}$$

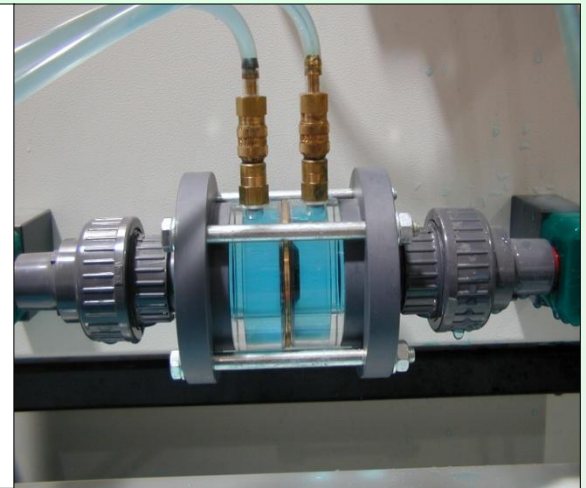
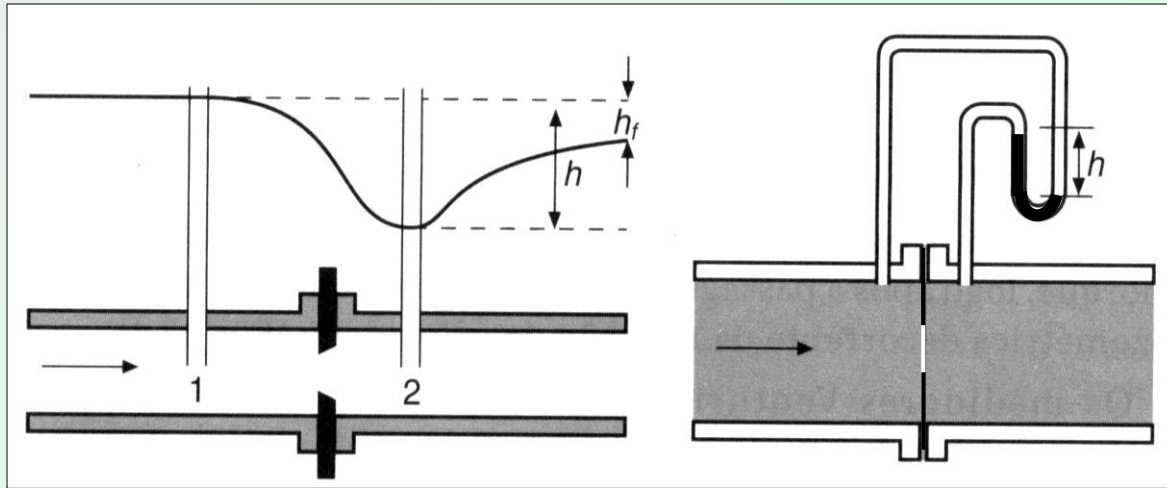
sendo o coeficiente k corresponde à correção devido ao aparelho utilizado.

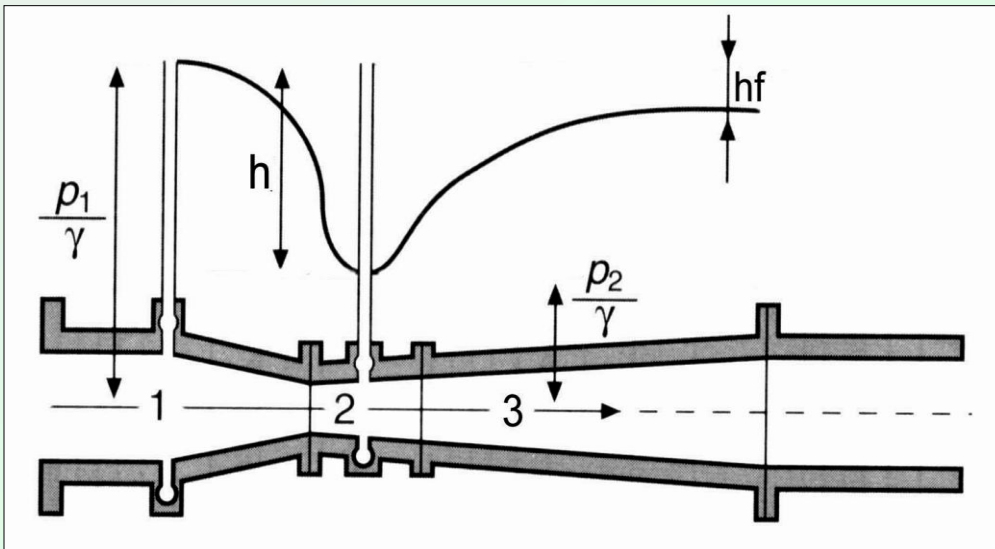
MÉTODOS DIFERENCIAIS



Baseiam-se na medição da diferença de pressão que existe entre a seção plena de escoamento da tubulação e uma seção estreitada. Basicamente, o estreitamento é provocado por diafragmas e venturímetros, denominados aparelhos deprimogêneos.

- a) Diafragmas: consiste num orifício concêntrico feito em chapa metálica inserido entre flanges da tubulação. O diâmetro do orifício deve ser de 30 a 80% do diâmetro da tubulação, pois valores abaixo de 30% provocam perda de carga excessiva e valores superiores a 80% não permitem boa precisão. A espessura da chapa pode ser de 2,5 mm para tubulações de diâmetros até 150 mm; 3,0 mm para diâmetros de 200 e 300 mm; e 5,0 mm para diâmetros até 550 mm. No caso de chapas mais espessas, deve-se dar um acabamento em bisel (45°) no orifício.
- b) Venturímetros: é um aparelho formado de 3 partes principais, ou seja, uma convergente, uma intermediária, que constitui o estrangulamento, e uma divergente ou difusor. O diâmetro da parte intermediária deve corresponder entre 25 e 75% do diâmetro da tubulação. O comprimento de um venturímetro varia de 4 a 12 vezes o diâmetro da tubulação. O venturímetro tem a vantagem de provocar uma menor perda de carga que o diafragma, devendo ser instalado em um trecho retilíneo de pelo menos 6 vezes o diâmetro da tubulação, sendo permitido a jusante do aparelho ser instalado qualquer acessório, uma vez que o comprimento da parte divergente é suficiente para permitir a leitura sem efeito das turbulências de tais peças.





A vazão neste método é obtida por:

$$Q = C_d \cdot \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot g \cdot h}{\left(\frac{D}{d}\right)^4 - 1}}$$

sendo C_d aproximadamente 0,61 para o diafragma e 0,98 para o venturímetro.

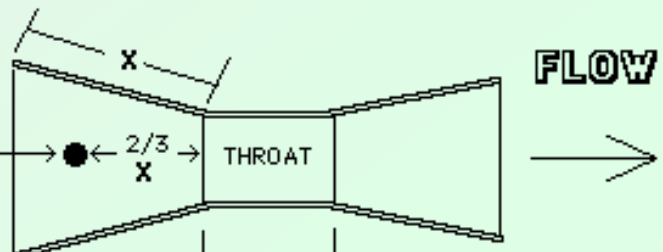
MEDIDORES DE REGIME CRÍTICO



São aparelhos que provocam um estrangulamento no fluxo de um conduto livre transformando o regime fluvial em crítico, medindo-se a profundidade crítica. Existem diversos medidores deste tipo, porém os mais conhecidos são os do tipo Parshall e WSC.

- a) Calhas Parshall: foi desenvolvido por um engenheiro (R. L. Parshall, 1922) do Serviço de Irrigação do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos da América, sendo constituído por uma seção convergente de nível plano, uma estrangulada com rampa descendente e uma seção divergente com rampa ascendente. São utilizados principalmente em canais adutores, estações de tratamento de água e esgoto e entrada de reservatórios, sendo seu tamanho (padronizado) dado em relação à largura da seção estrangulada (W), podendo efetuar medidas de 0,09 L/s até 93,04 m³/s.
- b) Medidor WSC: foi desenvolvido no Washington State College, sendo semelhante ao medidor Parshall, porém, suas seções não possuem rampas. São mais utilizadas para medição de vazão de sulcos de irrigação, embora possam, também, ser utilizadas em canais.

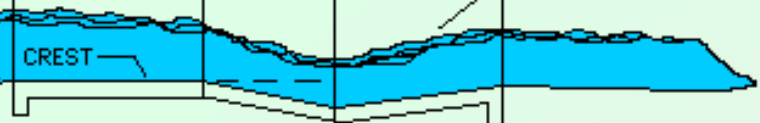
MEASURING POINT



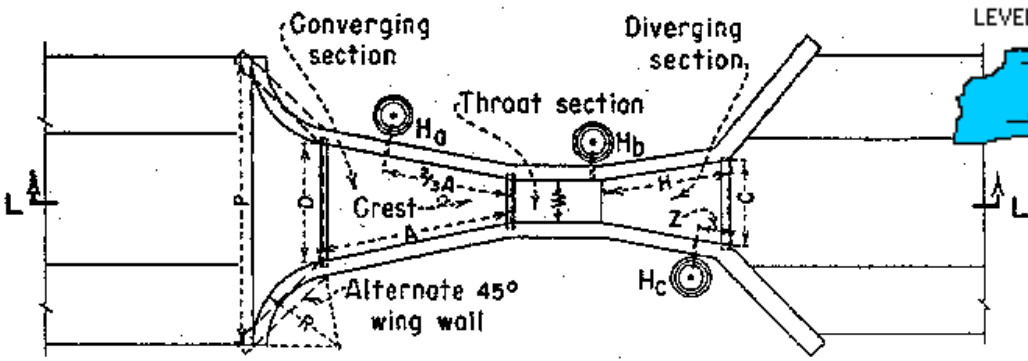
Sensor

0% FLOW LEVEL

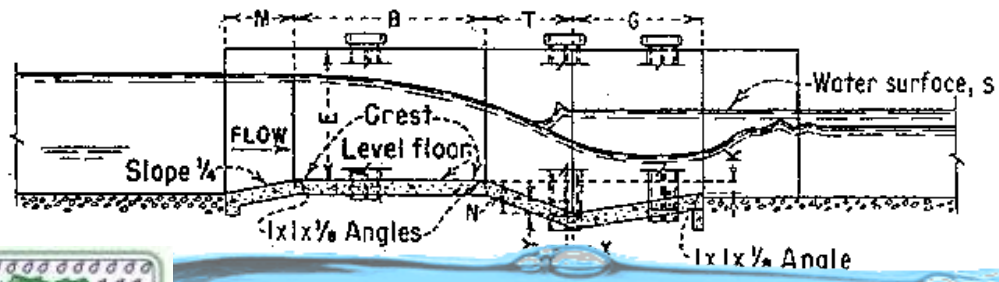
WATER SURFACE



PARSHALL FLUME



PLAN



unesp
 HIDRAULICA E IRRIGACAO
 ILHA SOLTEIRA - SP
 Campus de Ilha Solteira





unesp
HIDRÁULICA E IRRIGAÇÃO
ILHA SOLTEIRA - SP
Campus de Ilha Solteira



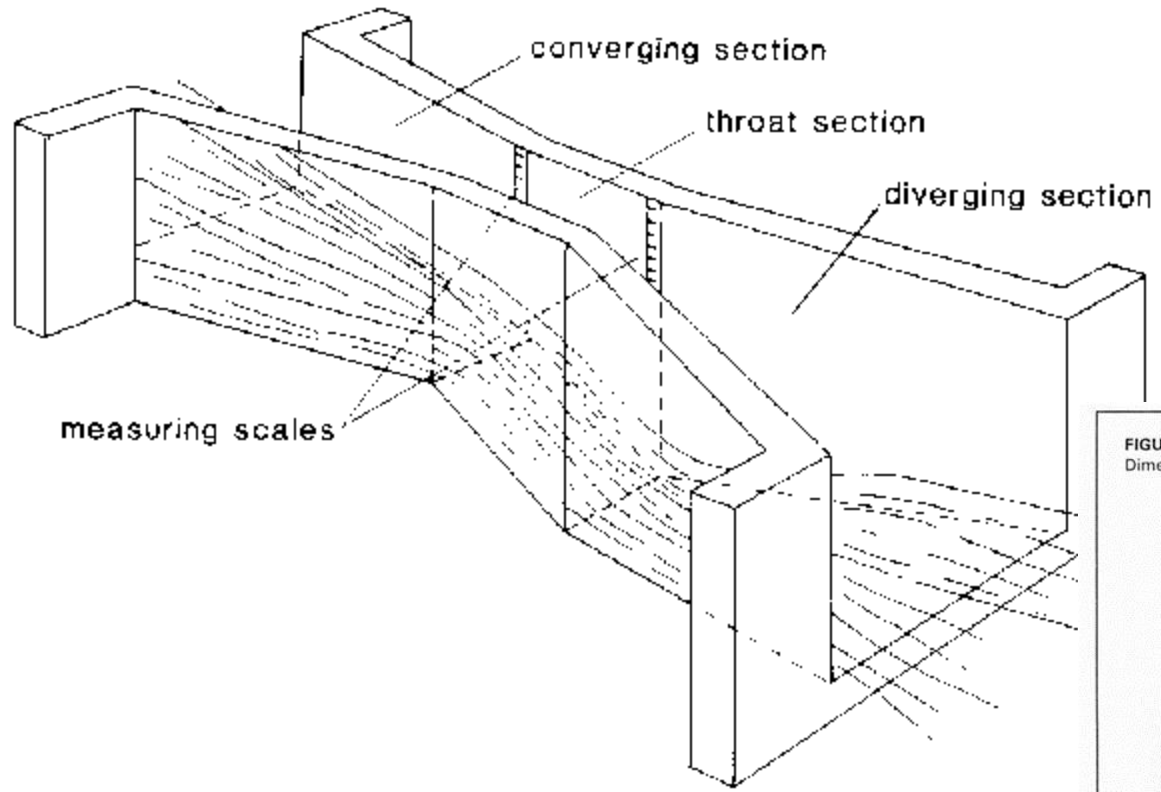
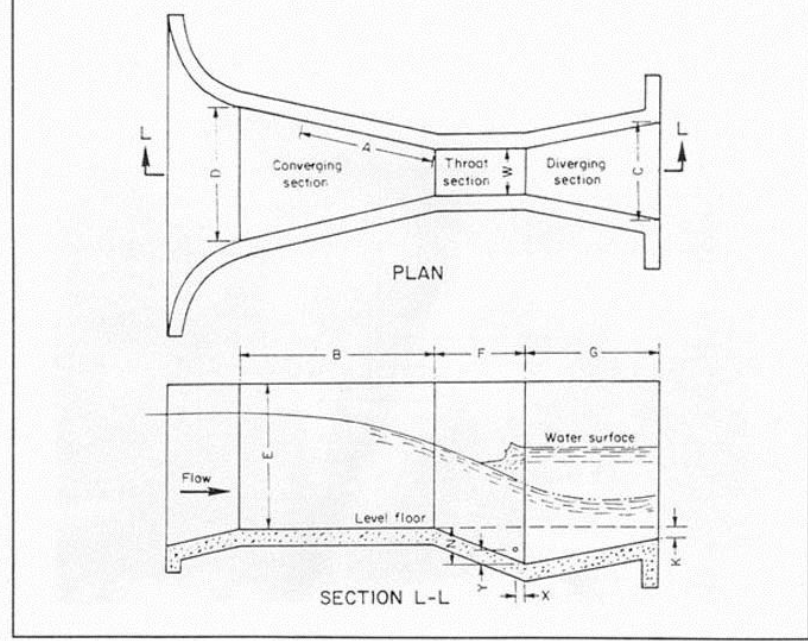
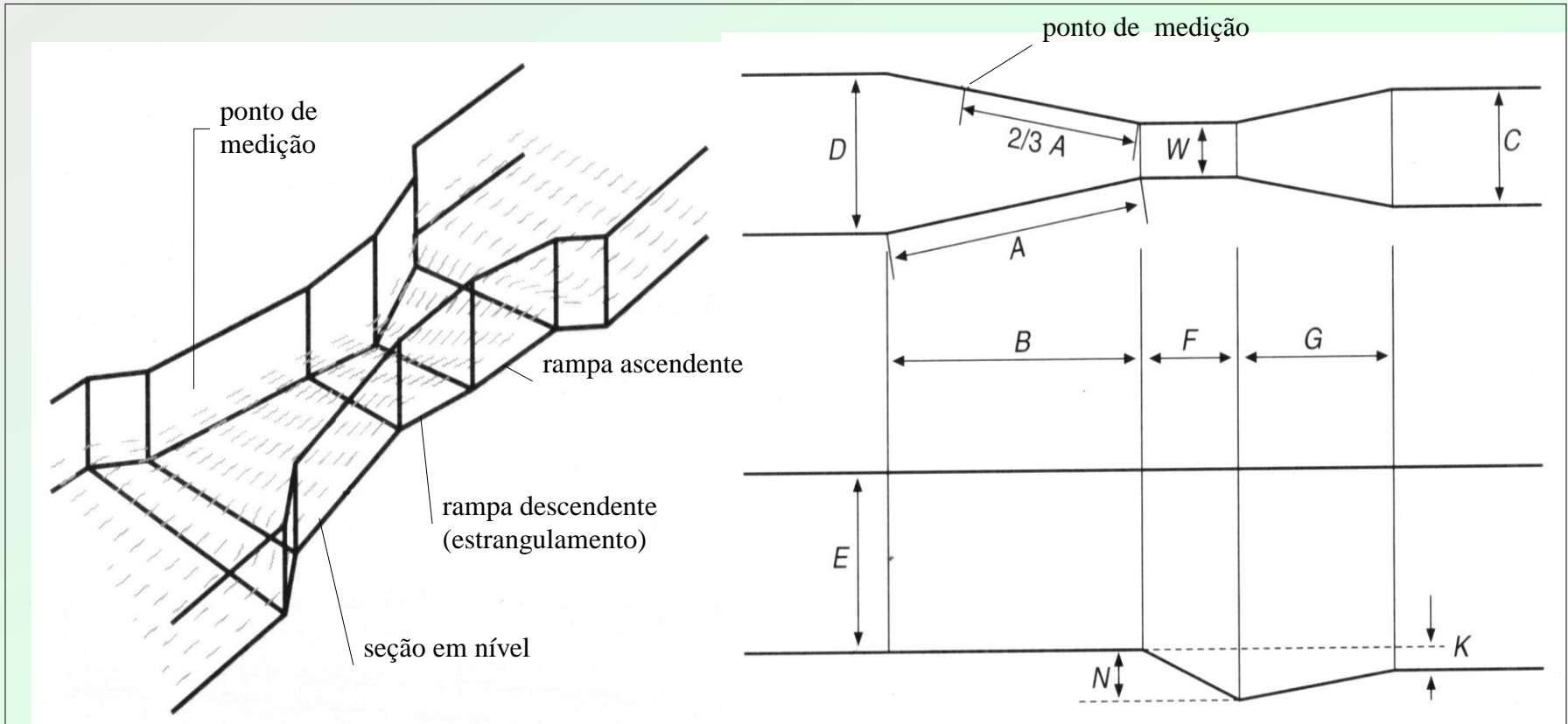
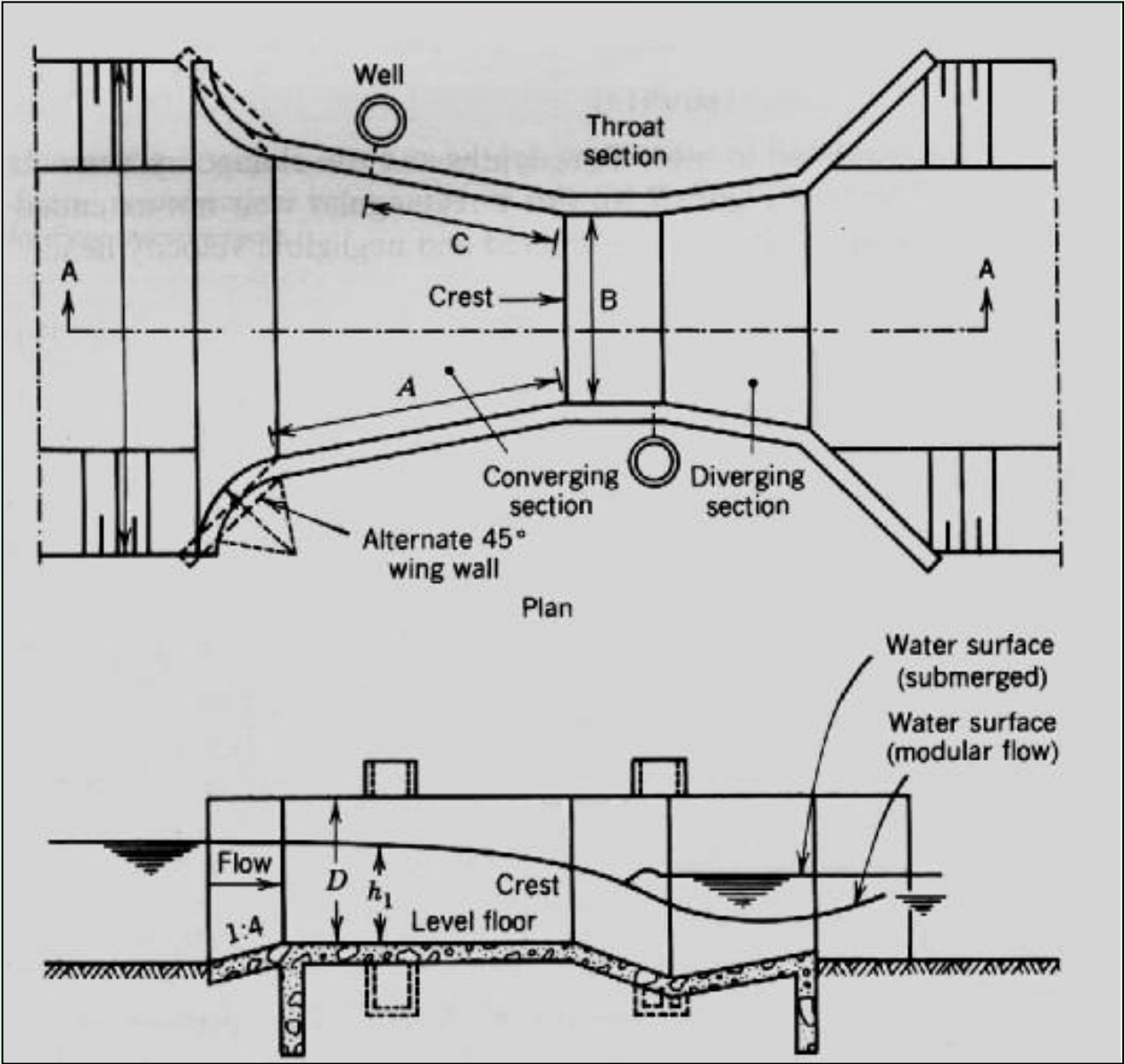


FIGURE 33
Dimensions of a Parshall flume (USDA-SCS 1965)





W		Q(m ³ /s)		Dimensões (mm)									α	β
pol/pés	mm	mínima	máxima	A	B	C	D	E	F	G	K	N		
1"	25,4	0,00009	0,0054	363	242	93	167	229	76	203	19	29	0,0604	1,55
2"	50,8	0,00018	0,0132	414	276	135	214	254	114	254	22	43	0,1207	1,55
3"	76,2	0,00077	0,0321	467	311	178	259	457	152	305	25	57	0,1771	1,55
6"	152,4	0,0015	0,111	621	414	394	397	610	305	610	76	114	0,3812	1,58
9"	228,6	0,0025	0,251	879	587	381	575	762	305	457	76	114	0,5354	1,53
1'	304,8	0,00332	0,457	1372	914	610	845	914	610	914	76	229	0,6909	1,522
1 ½ '	457,2	0,00480	0,695	1448	965	762	1026	914	610	914	76	229	1,056	1,538
2'	609,6	0,0121	0,937	1524	1016	914	1206	914	610	914	76	229	1,428	1,550
3'	914,4	0,0176	1,427	1676	1118	1219	1572	914	610	914	76	229	2,184	1,566
4'	1219,2	0,0358	1,923	1829	1219	1524	1937	914	610	914	76	229	2,953	1,578
5'	1524,0	0,0441	2,424	1981	1321	1829	2302	914	610	914	76	229	3,732	1,587
6'	1828,8	0,0741	2,929	2134	1422	2134	2667	914	610	914	76	229	4,519	1,595
7'	2133,6	0,0858	3,438	2286	1524	2438	3032	914	610	914	76	229	5,312	1,601
8'	2438,4	0,0972	3,949	2438	1626	2743	3397	914	610	914	76	229	6,112	1,607
10'	3048	0,16	8,28	-	1829	3658	4756	1219	914	1829	152	343	7,463	1,60
12'	3658	0,19	14,68	-	2032	4470	5607	1524	914	2438	152	343	8,859	1,60
15'	4572	0,23	25,04	-	2337	5588	7620	1829	1219	3048	229	457	10,96	1,60
20'	6096	0,31	37,97	-	2845	7315	9144	2134	1829	3658	305	686	14,45	1,60
25'	7620	0,38	47,14	-	3353	8941	10668	2134	1829	3962	305	686	17,94	1,60
30'	9144	0,46	56,33	-	3861	10566	12313	2134	1829	4267	305	686	21,44	1,60
40'	12192	0,60	74,70	-	4877	13818	15481	2134	1829	4877	305	686	28,43	1,60
50'	15240	0,75	93,04	-	5893	17272	18529	2134	1829	6096	305	686	35,41	1,60





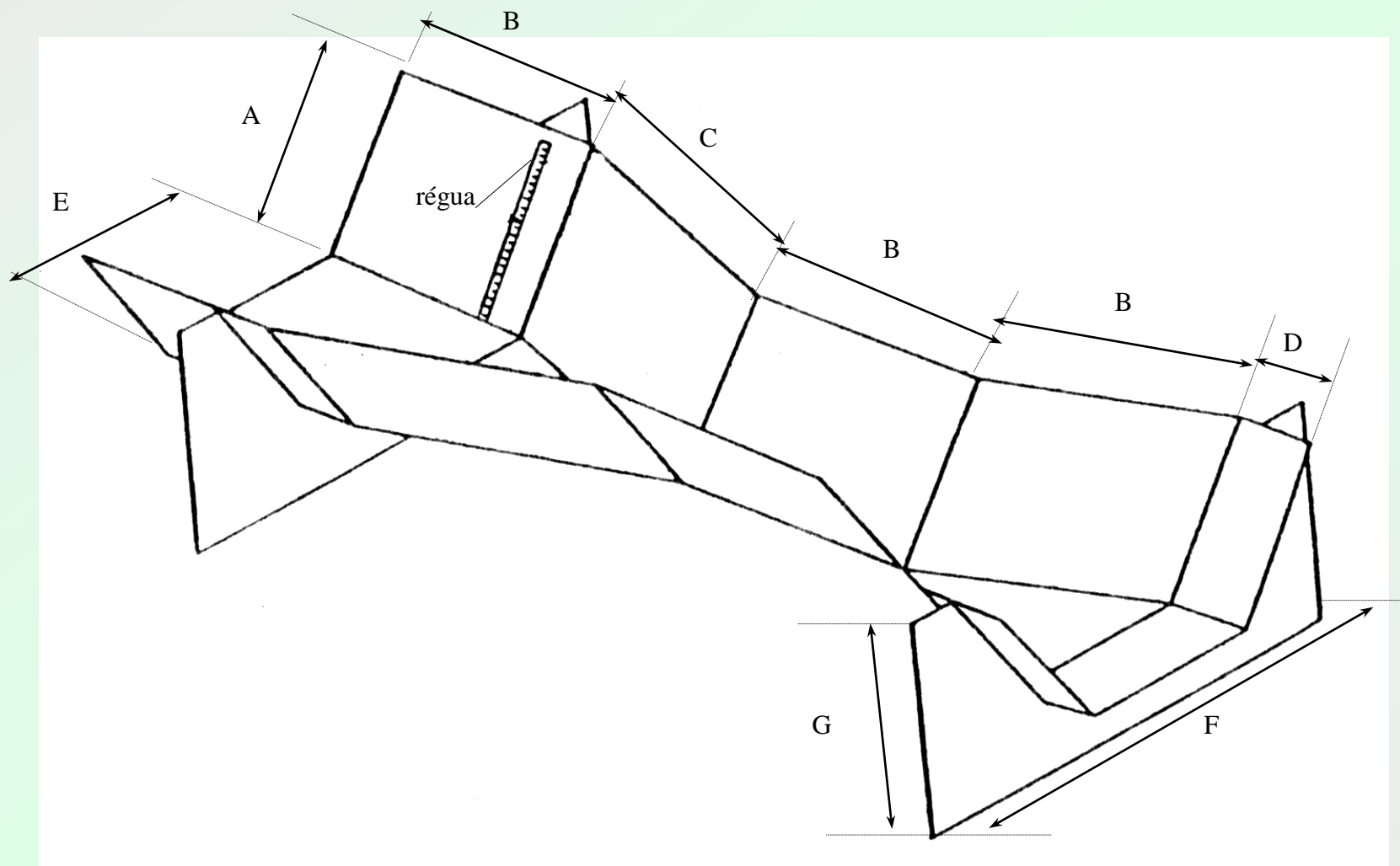
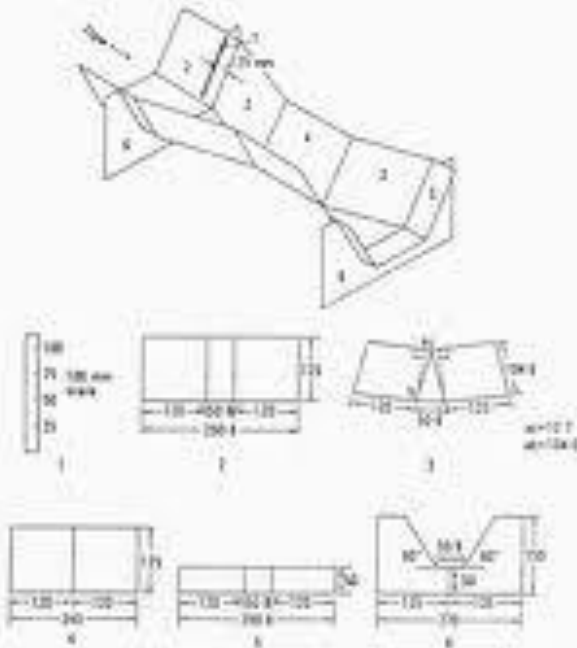




FIGURE 36
The Washington State College flume: Dimensions in millimeters (metric conversion of details from USDA-SCS 1965)

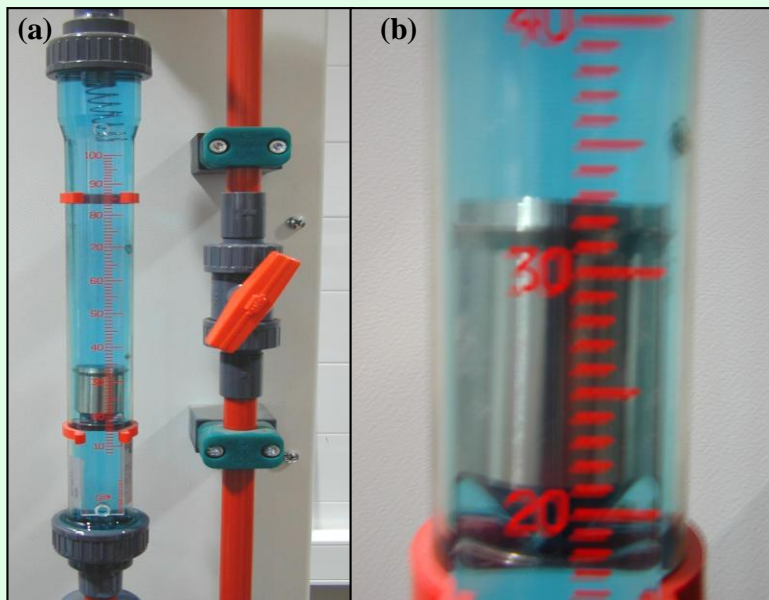


ROTÂMETRO



É um aparelho constituído por um tubo cônico transparente posicionado vertical-mente com a seção maior voltada para cima. Dentro do tubo existe um “flutuador” cali-brado com a escala de vazão impressa nele que se desloca com o fluxo, estabilizando-se a uma certa altura cuja seção de passagem seja suficiente para a vazão em ques-tão. Neste ponto é feita a leitura da vazão na escala do tubo. Na verdade, o “flutuador” é um pouco mais denso que a água, porém devido à perda de carga ocorrida no trecho do flutuador, o empuxo exercido na seção inferior do flutuador iguala-se à soma do peso com o empuxo exercido na seção superior.

Este dispositivo é mais utilizado para medição de pequenas vazões.



ELETROMAGNÉTICOS



São medidores que se baseiam no princípio que um condutor elétrico ao deslocar-se através de um campo eletromagnético induz em si uma força eletromotriz proporcional a sua velocidade. No caso, o condutor é a própria água e o campo eletromagnético é formado por espiras em volta do tubo. A força eletromotriz é medida por meio de eletrodos que mantêm contato com o líquido. A corrente gerada é muito pequena, uma vez que a água não é um bom condutor de eletricidade, e está sujeita a “ruídos” (interferências) que devem ser filtrados para, em seguida, ser feita a amplificação dos sinais. É necessário, também, que o material envoltório seja bem isolado.

Os medidores eletromagnéticos tem um custo relativamente alto, porém tem a vantagem de não causar perdas de carga, sendo produzidos para tubulações de diversos diâmetros (50 a 900 mm).

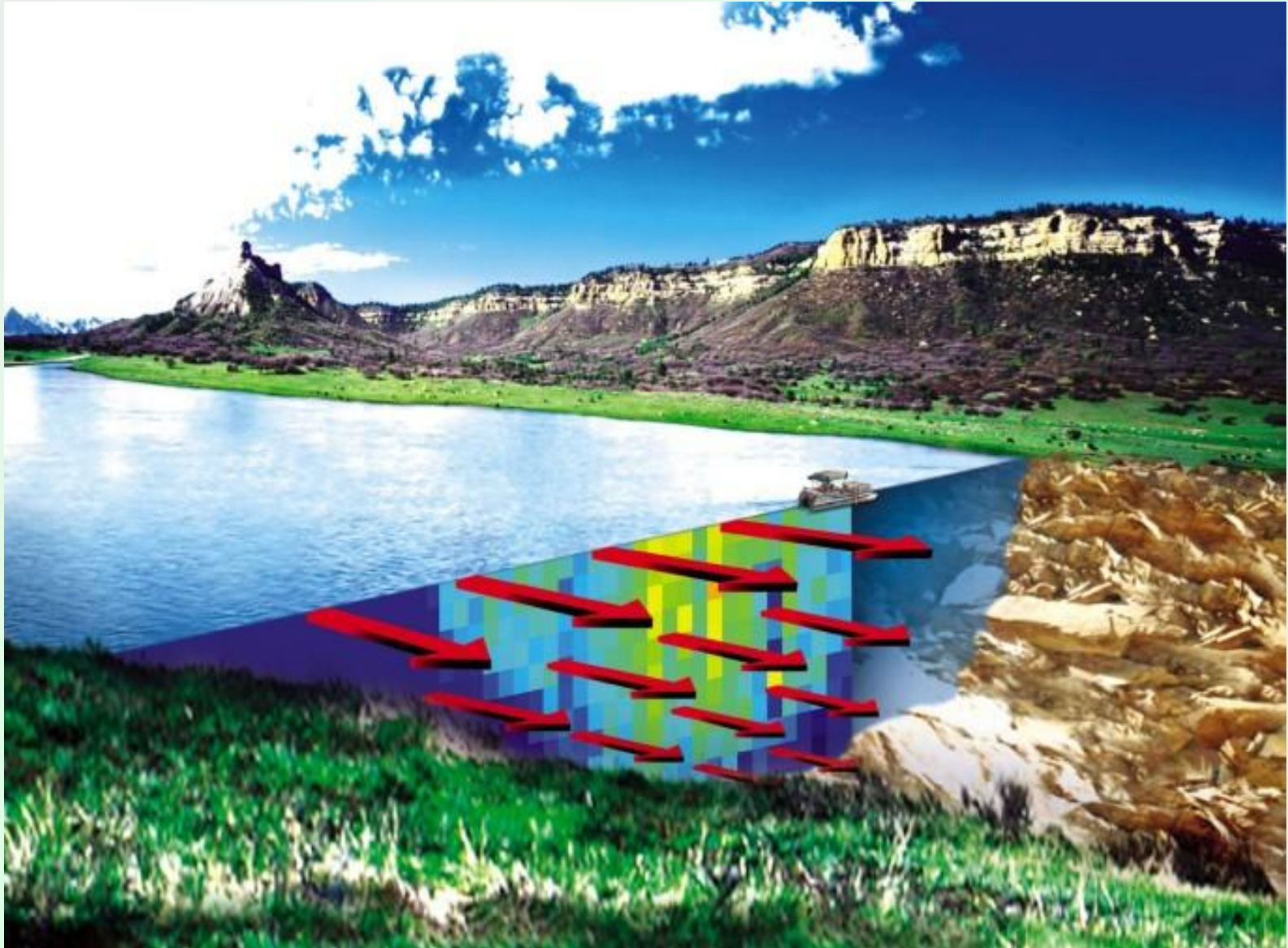


ULTRASÔNICOS

São os medidores de vazão mais modernos, que podem ser utilizados tanto em tubulações (10 a 1200 mm de diâmetro ou mais) como em canais prismáticos. A medição baseia-se no princípio que o tempo de trânsito de um sinal acústico num percurso conhecido é alterado pela velocidade do fluido presente. Um sinal acústico de alta frequência (ultrasom) enviado no sentido contrário ao fluxo possui menor velocidade que um sinal enviado no sentido do fluxo. Medindo-se com precisão os tempos de trânsito dos sinais enviados em ambas as direções ao longo de um percurso diagonal, bem como o ângulo de propagação do sinal, a velocidade axial (do fluido) pode ser calculada.

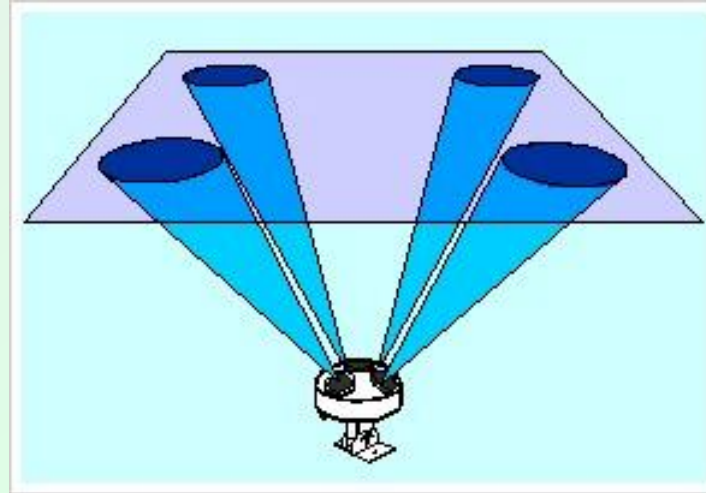


ADCP - Acoustic Doppler Current Profile



ADCP - Acoustic Doppler Current Profile

O aparelho da figura 6 baseia-se em outro princípio, o efeito Doppler.

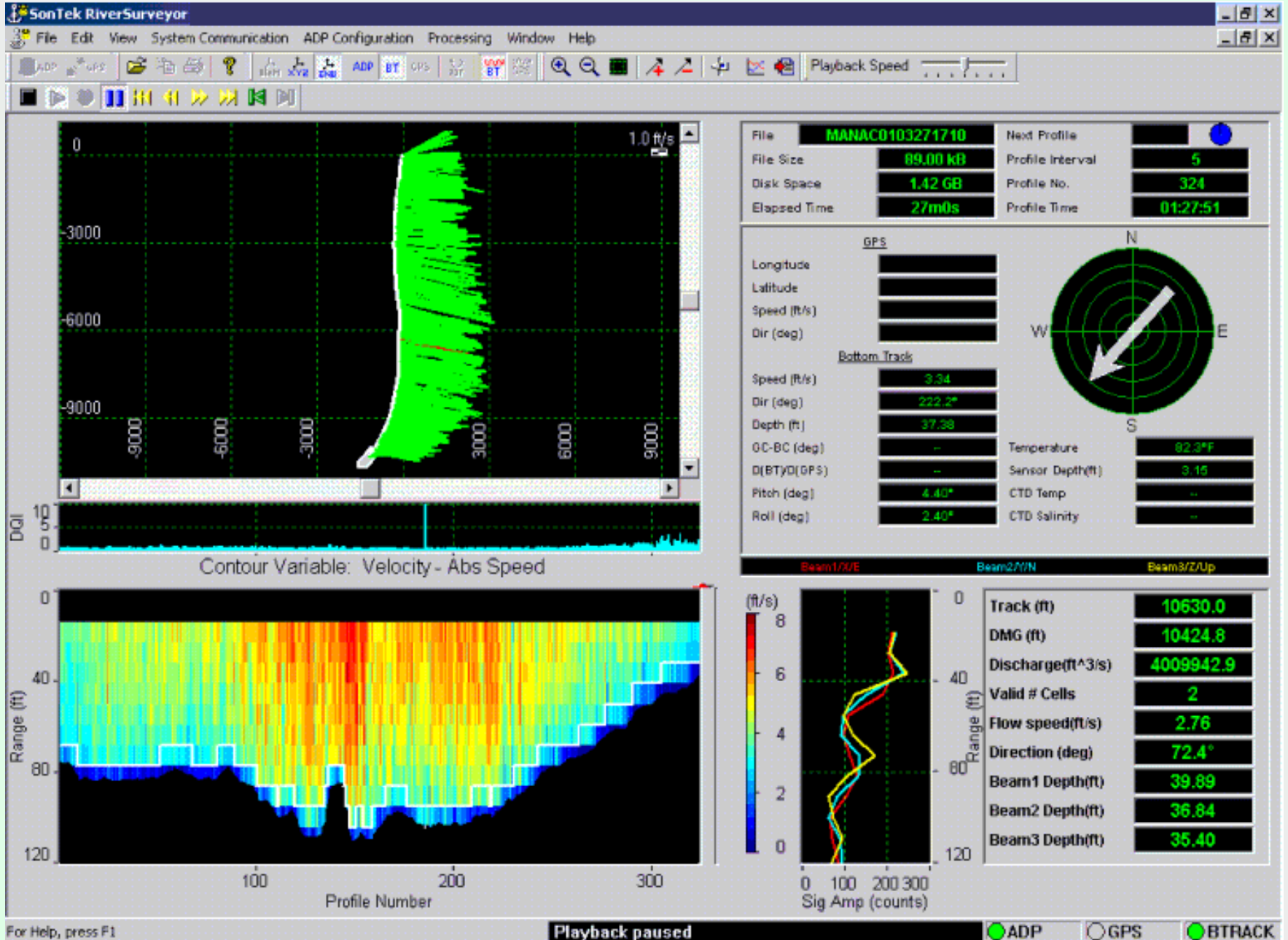


Possui emissores e receptores apontados para diversas direções. O pulso de ultrassom emitido pelo aparelho é refletido por partículas presentes na água. Assim, o pulso **refletido** por uma partícula que caminha ao encontro do aparelho é captado por este com uma frequência maior à que foi emitida. Por outro lado, o pulso refletido por uma partícula que se afasta do equipamento chega com velocidade e frequência menores que as emitidas. Com base nesta diferença de frequência produzida pelo efeito Doppler, o aparelho calcula diretamente a vazão do rio. Este equipamento possui um alcance de mais de 22 m e é bastante utilizado para monitorar a vazão de forma permanente, sendo fixado, por exemplo, em pilares de pontes.

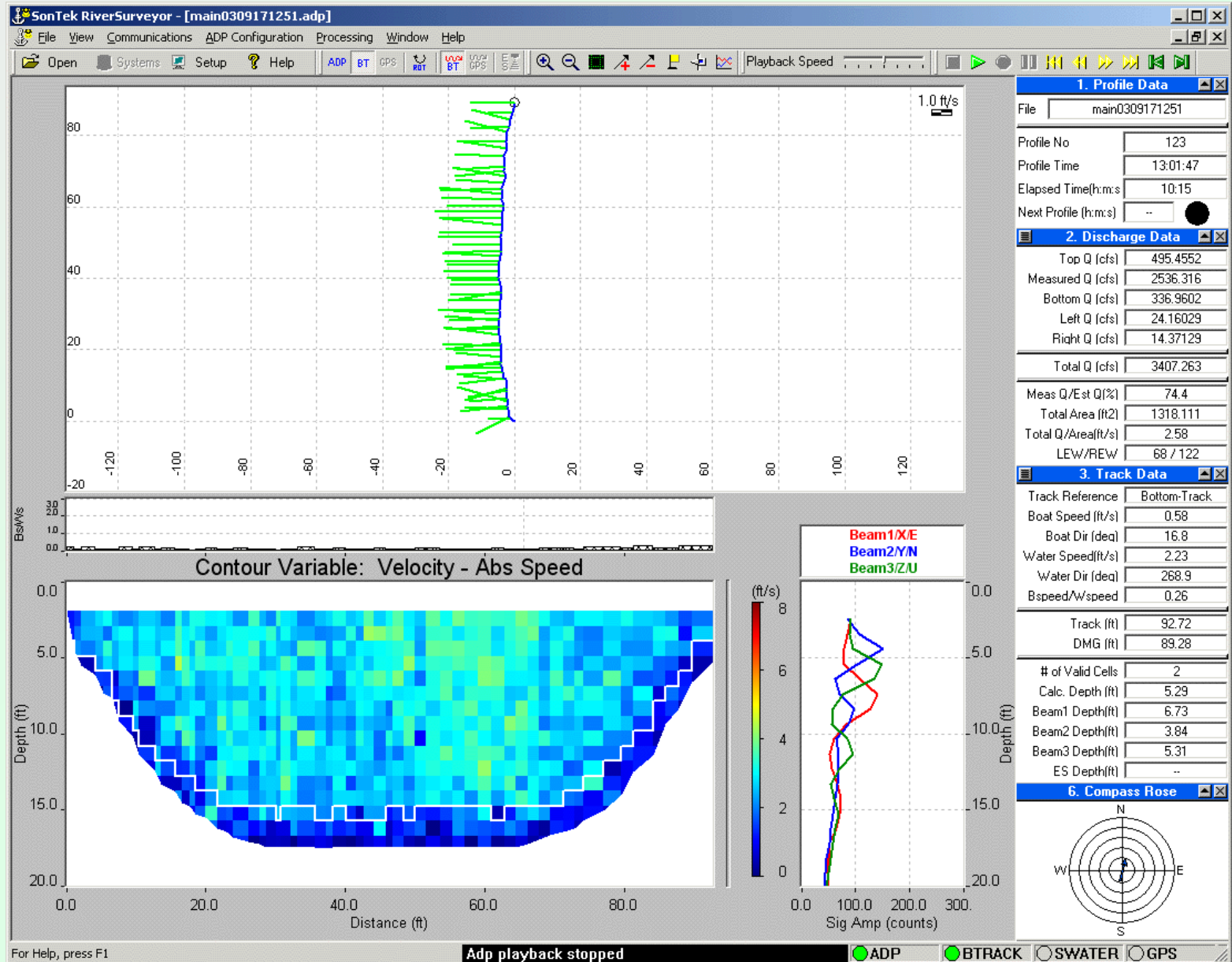
ADCP



ADCP



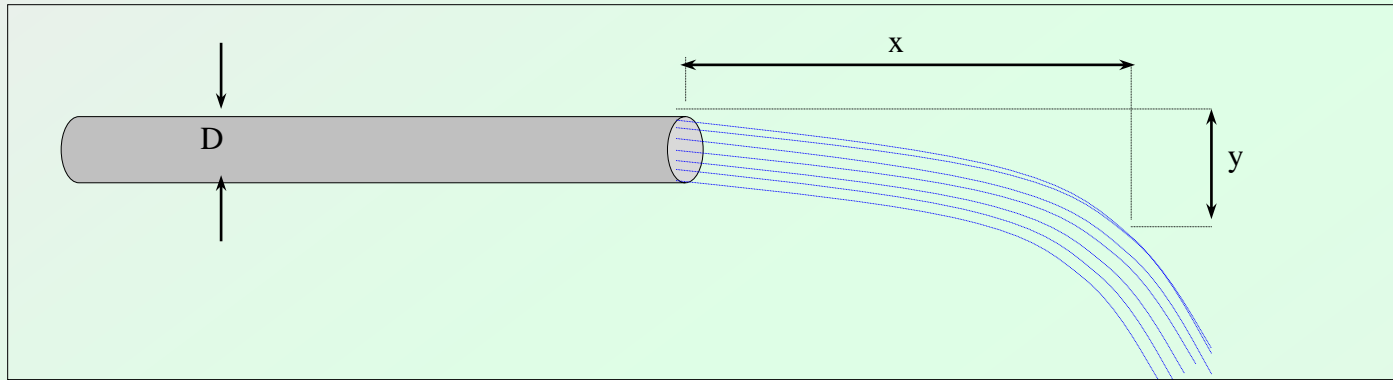
ADCP



MÉTODO DAS COORDENADAS



Este método, bastante simples, é utilizado para medir vazão em tubos sob descarga livre.



Conforme o esquema, no intervalo de tempo t um elemento de volume da veia líquida, ao sair da tubulação, percorreu uma distância x na direção horizontal e uma distância y na vertical. As equações desses movimentos são:

$$x = v \cdot t \quad \dots\dots(a) \text{ (Movimento Uniforme)} \quad y = \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2 \quad \dots\dots(b) \text{ (Movimento Acelerado)}$$

Isolando-se t em (a) e substituindo-se em (b), tem-se: $v = x \cdot \sqrt{\frac{g}{2 \cdot y}} \quad \dots\dots(c)$

Substituindo-se (c) na Equação da Continuidade, a vazão obtêm-se por:

Sendo Q em m^3/s , g em m/s^2 , D , x e y em m .

$$Q = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot x \cdot \sqrt{\frac{g}{2 \cdot y}}$$

MÉTODOS QUÍMICO, COLORIMÉTRICO E RADIOATIVO

Estes métodos são menos utilizados e para ser aplicado de modo satisfatório, o escoamento deve ser turbulento (passagem por bombas ou turbinas, por exemplo) para garantir uma adequada mistura da solução injetada na corrente líquida a ser medida.

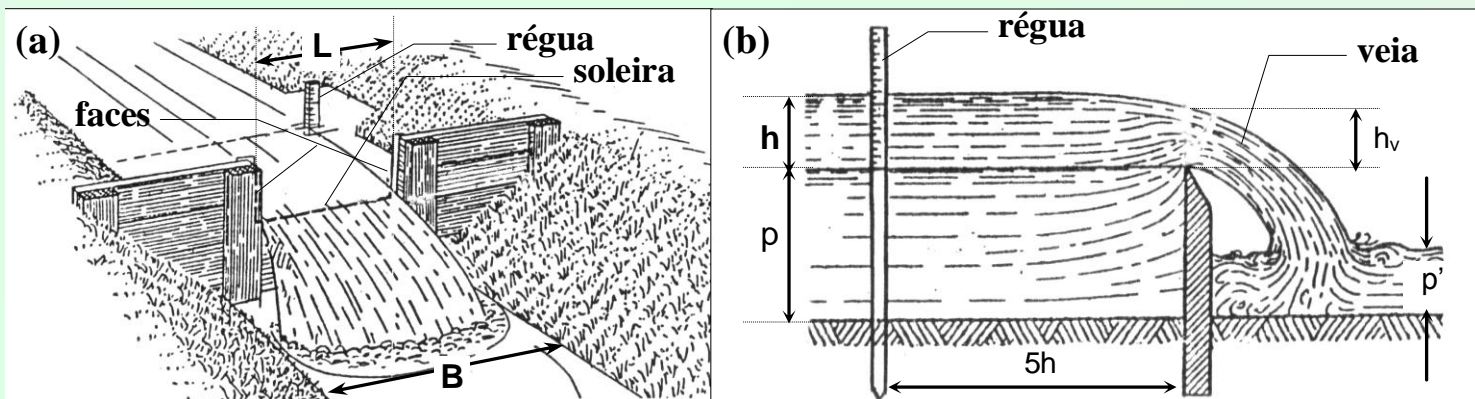
O **método químico** consiste em se injetar na corrente, uma solução concentrada de sal conhecida C_1 , com uma vazão constante q . Essa solução dilui-se na corrente que também possui uma concentração inicial C_0 , alterando-a para uma concentração final C_2 . Determinando-se a concentração final C_2 obtém-se a vazão procurada. Portanto, a vazão é obtida pela equação:

$$Q = \frac{q \cdot (C_1 - C_2)}{C_2 - C_0}$$

O **método colorimétrico** é semelhante ao químico, porém difere no fato que ao invés de utilizar uma solução salina, utiliza-se um corante, sendo a avaliação da concentração feita por espectrofotometria. Já no **método radioativo** ao invés de utilizar corante ou solução salina, utiliza-se isótopos radioativos (traçadores), sendo que este método bastante útil, também, para estudar o movimento da água no solo.

VERTEDORES

Os vertedores podem ser interpretados como grandes orifícios sem borda superior. O termo também é aplicado aos obstáculos à passagem da corrente e aos extravasores das represas. São utilizados largamente em hidrometria, tanto em laboratórios como em condições naturais, como medição da vazão de pequenos cursos de água. Podem ser feitos de chapas metálicas, madeira, alvenaria, concreto e outros materiais. A terminologia para o caso de um vertedor retangular com contração lateral é mostrada na Figura 81. A carga do vertedor h_v é a altura atingida pela água acima da soleira. Devido ao rebaixamento da veia no vertedor (carga cinética), a carga h deve ser medida à montante a uma distância igual ou superior a $5h$.



DISPONIBILIDADE DE ÁGUA



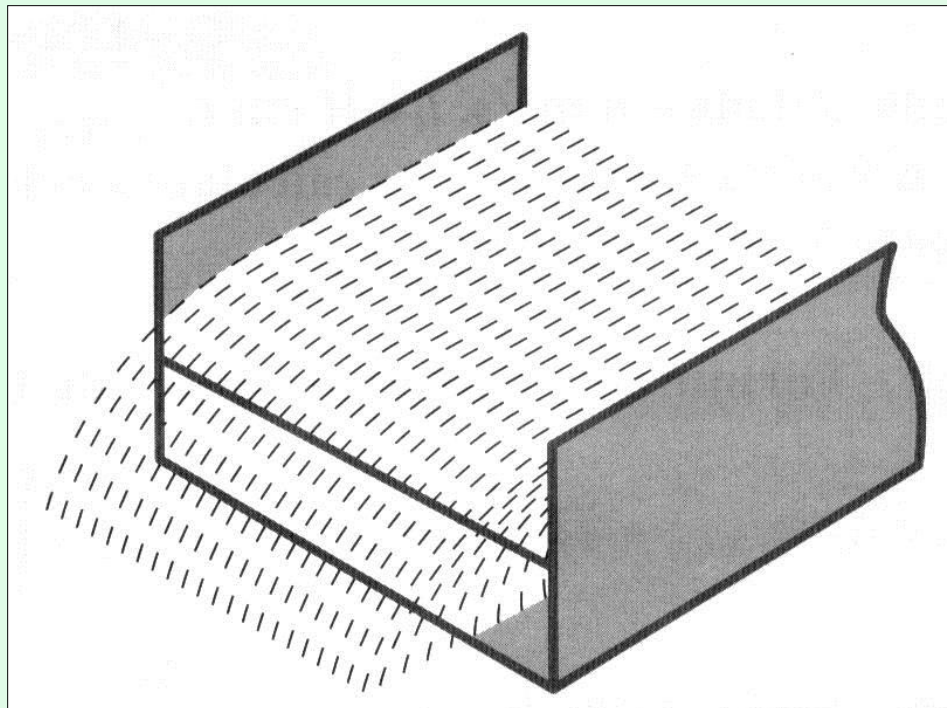
VERTEDORES

Os vertedores podem ser classificados sob diversos aspectos:

- i)** Quanto à forma: retangular, triangular, trapezoidal, circular,;
- ii)** Quanto à altura relativa da soleira:
 - completos ou livres: quando $p > p'$;
 - incompletos ou afogados: quando $p < p'$;
- iii)** Quanto à espessura da parede:
 - delgada ou chanfrada;
 - espessa ($e > 2/3 h$);
- iv)** Quanto à largura relativa:
 - sem contração lateral: quando $L = B$;
 - com contração lateral: quando $L < B$;

VERTEDOR RETANGULAR

O vertedor retangular de parede delgada sem contração lateral foi o vertedor mais estudado no tempo. Trata-se de uma placa delgada ou chanfrada, com soleira horizontal instalada perpendicularmente ao escoamento, ocupando toda a largura do canal (ausência de contrações laterais) e com o espaço sob a lâmina vertente ocupado pelo ar à pressão atmosférica. Nessas condições, o vertedor pode ser utilizado para medidas de vazão com boa precisão, sendo também denominado de descarregador Basin (Henri-Emile Bazin, engenheiro francês, 1829-1917).



VERTEDOR RETANGULAR

A equação de vazão do vertedor retangular de parede delgada sem contração lateral (Figura 82) é deduzida da equação de vazão dos orifícios de grandes dimensões, ou seja:

$$Q = \frac{2}{3} \cdot C_d \cdot A \cdot \sqrt{2 \cdot g} \cdot \left(\frac{h_2^{3/2} - h_1^{3/2}}{h_2 - h_1} \right)$$

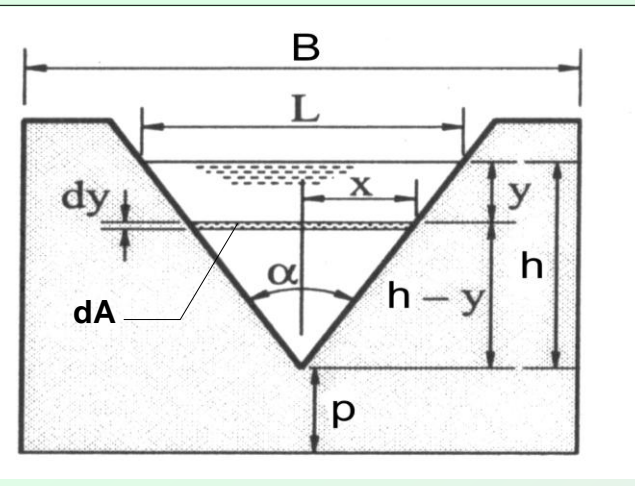
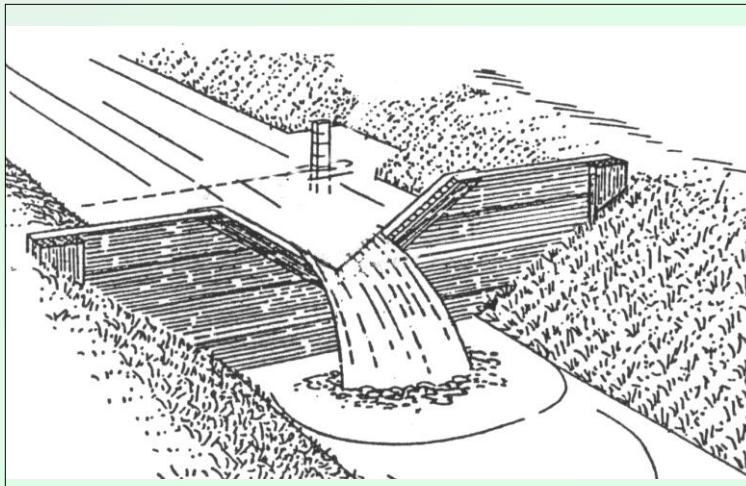
Como se trata de vertedor: $h_1 = 0$ e $h_2 = h$. Sendo $A = L \cdot h$, com L e h em metros e g em m/s^2 , então Q , em m^3/s , é:

$$Q = \frac{2}{3} \cdot \sqrt{2 \cdot g} \cdot C_d \cdot L \cdot h^{3/2}$$

Na situação mais comum, o coeficiente de descarga C_d vale 0,623.

VERTEDOR TRIANGULAR

O vertedor triangular de parede delgada é particularmente recomendado para medição de vazão abaixo de 30 l/s, com cargas entre 0,06 e 0,50 m. É um vertedor tão preciso quanto os retangulares na faixa de 30 a 300 l/s. Na prática, somente são utilizados os de forma isósceles, sendo mais comuns os de ângulo de abertura $\alpha = 90^\circ$.



Como o vertedor triangular mais usado na prática é o que possui $\alpha = 90^\circ$, e considerando-se um coeficiente de descarga $C_d = 0,593$, a Eq.118 passa a ser:

$$Q = 1,4 \cdot h^{5/2} \quad (\text{fórmula de Thomson})$$

sendo válida para: $0,05 < h < 0,38$ m; $p > 3h$; $B > 6h$; com h em metros.



UNESP Ilha Solteira



UNESP Ilha Solteira



UNESP II



UNESP Ilha Solteira



VERTEDOR TRAPEZOIDAL



O vertedor trapezoidal não possui aplicação tão ampla quanto o retangular e o triangular. Destaque é dado somente ao denominado de Cipoletti, cuja forma de um trapézio isósceles apresenta um valor de inclinação das faces que compensa a diminuição de vazão causada pelas contrações laterais que um vertedor retangular de mesma soleira possuiria. Para tanto, a inclinação das faces deve seguir a proporção de 1 (horizontal): 4 (vertical), conforme a Figura 84.

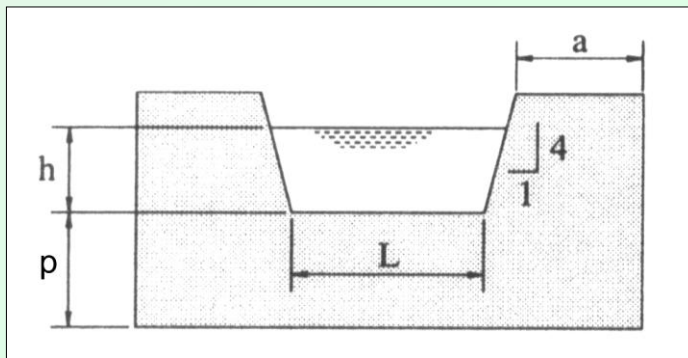


Figura 84. Vertedor trapezoidal de Cipoletti.

A vazão para o vertedor trapezoidal de Cipoletti, considerando um coeficiente de descarga $C_d = 0,63$, é obtido pela equação:

$$Q = 1,861.L.h^{3/2}$$

sendo válida para: $0,08 < h < 0,60$ m; $a > 2h$; $L > 3h$; com L e h em metros.

VERTEDOR CIRCULAR

O vertedor de seção circular é raramente utilizado, porém oferece a vantagem de ser facilmente executado e não requer o nivelamento da soleira. A vazão (em m^3/s), conforme a Figura 85, para uma altura h e diâmetro D (ambos em metros), é obtida pela equação:

$$Q = 1,518.D^{0,693}.h^{1,807}$$

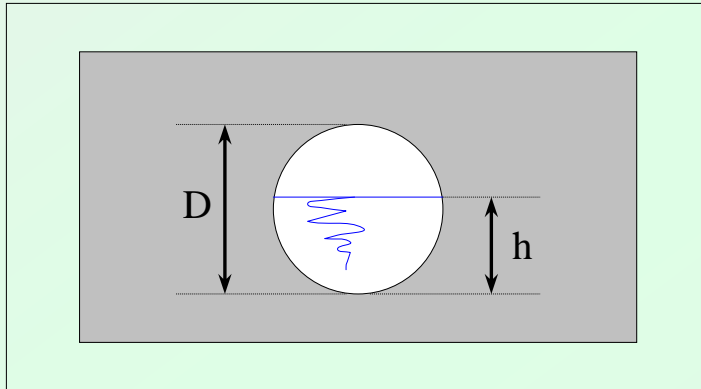


Figura 85. Vertedor circular.

VERTEDOR DE PAREDE ESPESSA HORIZONTAL



Um vertedor é considerado de parede espessa quando ocorre o paralelismo dos filetes da veia aderente, após uma depressão da mesma próximo ao bordo de montante, conforme a Figura 86. A vazão é obtida pela equação:

$$Q = 1,704.C_d.L.h^{3/2}$$

O coeficiente de descarga da é função das relações h/P , h/e , da rugosidade da crista e da forma da aresta do bordo de ataque (ângulo vivo ou arredondada). Com isso, o valor do C_d varia consideravelmente.

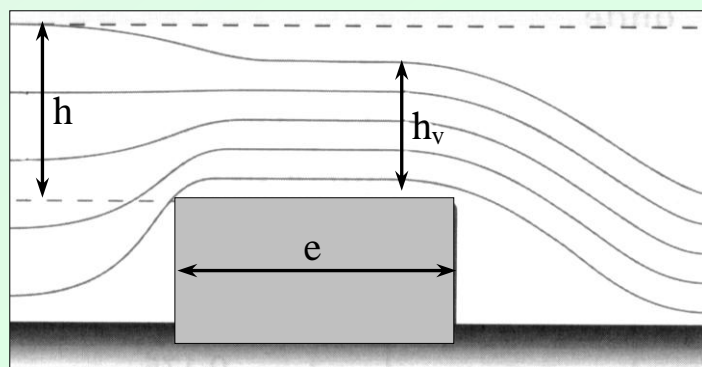


Figura 86. Vertedor de soleira espessa horizontal.

