

PARTE

01

GRUPO



CONTIMETRA



SISTIMETRA

WEBINAR

AFLUÊNCIAS INDEVIDAS

A IMPORTÂNCIA DA QUALIDADE DA MEDIÇÃO

O GRUPO

DEPARTAMENTOS

INDÚSTRIA E AMBIENTE

AR CONDICIONADO

CONTROLO, SISTEMAS E
GESTÃO TÉCNICA CENTRALIZADA

QUÍMICOS E FERRAMENTAS

GRUPO



CONTIMETRA

LISBOA - 1964



SISTIMETRA

PORTO - 1983

DEPARTAMENTO INDÚSTRIA E AMBIENTE EQUIPAMENTO E PRESTAÇÃO DE SERVIÇOS

Medição, Controlo, Monitorização de

Nível, Caudal, Parâmetros de Qualidade, Pressão, Temperatura, etc.

Telemetria e Telegestão

Deteção de fugas de água

Controlo de perdas

Tratamento de Águas e Águas residuais

Deteção de gases

Instrumentação geral

A NOSSA EXPERIÊNCIA



14 ANOS | MEDIÇÃO EM ESCOAMENTOS EM SUPERFÍCIE LIVRE

EQUIPA MULTIDISCIPLINAR

Hidráulica

Eletrônica

Instrumentação

Informática

Higiene e Segurança

EQUIPAMENTOS DE MEDIÇÃO EM REDES DE SANEAMENTO

Instalação

Monitorização

Tratamento e Edição de dados

Comunicações e Portal de Dados

ESTUDO E CONTROLO DE AFLUÊNCIAS INDEVIDAS EM REDES DE DRENAGEM

- 1 AFLUÊNCIAS INDEVIDAS – O VOLUME DO PROBLEMA
- 2 CONCEITOS BÁSICOS DE HIDRÁULICA
- 3 TECNOLOGIAS E SOLUÇÕES DE MEDIÇÃO DE CAUDAL
- 4 VÍDEO: “ULTRASONIC FLOW MEASUREMENT SYSTEMS COMPARISON”

3

AFLUÊNCIAS INDEVIDAS – O VOLUME DO PROBLEMA

Custo de transporte e/ou tratamento do caudal associado às afluências indevidas

Custos operacionais e de investimento nas redes de drenagem e nas Estações de Tratamento de Águas Residuais (ETAR) e a **redução da capacidade de transporte** dos interceptores/coletores e da capacidade de tratamento das ETAR, **potenciando descargas de águas residuais no meio recetor** sem qualquer tratamento.

Na sequência de **eventos de precipitação** a afluência pluvial pode causar a **entrada em carga dos sistemas de drenagem**, constituindo uma das maiores causas de transbordamentos de águas residuais não adequadamente tratadas em ruas, edifícios, propriedades públicas ou privadas e outros cursos de água. Este fenómeno origina potenciais riscos de saúde pública e ambientais e custos de manutenção e financeiros (indemnizações) associados.

Coletivamente, as afluências indevidas podem exercer impactos ao nível técnico, social, ambiental, económico-financeiro e da saúde pública.

PLANO DE MINIMIZAÇÃO DE AFLUÊNCIAS INDEVIDAS

Para um maior conhecimento do problema das afluências indevidas, recomendam-se as seguintes ações:

Completar o **cadastro do subsistema**, considerando os seus elementos físicos (intercetores, câmaras de visita, bacias de drenagem, etc.), permitindo obter um maior conhecimento do subsistema em análise e implementar os métodos de quantificação gráficos;

Expandir a base de dados existente (**registos de caudal, registos de operação e manutenção do subsistema, história da população, dados de águas subterrâneas, dados meteorológicos, etc.**)

Utilização de um conjunto de **caudalímetros** em pontos de medição estratégicos, de forma a obter **conhecimento relativo aos pontos mais críticos** do subsistema e à origem espacial das afluências indevidas;

Os medidores de instalação temporária ou permanente, permitem um controlo progressivamente mais sistematizado das afluências indevidas aos sistemas, uma melhor quantificação e qualidade da medição e conseqüentemente uma melhor quantificação dos custos associados às afluências indevidas.

A MEDIÇÃO DE CAUDAL PERMITE QUANTIFICAR O VOLUME RESULTANTE DAS AFLUÊNCIAS INDEVIDAS

Volume de afluições indevidas, transportado, bombado e tratado **m³**

CUSTOS OPERACIONAIS

Custo de tratamento de águas residuais **€/m³**

Custo de transporte/bombagem de águas residuais **€/m³**

Custos de bombagem e de tratamento, pelo aumento do caudal afluyente às instalações. Incluem-se nestas parcelas os custos energéticos

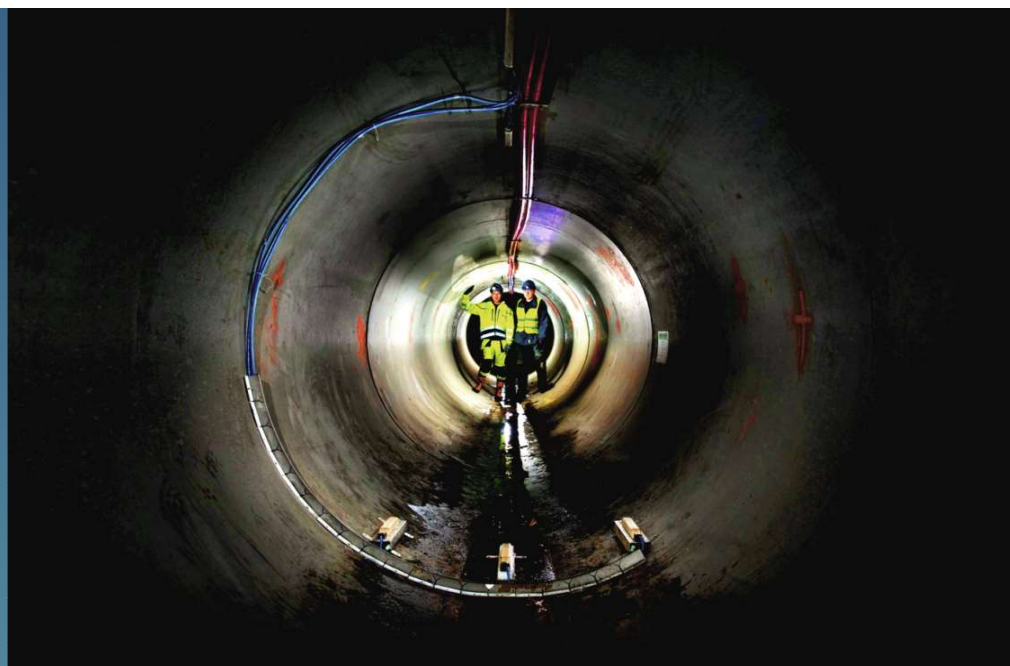
CUSTOS DE MANUTENÇÃO

Custos de reabilitação devido à maior degradação das infraestruturas
Custos de operação / manutenção

MEDIÇÃO DE CAUDAL EM SISTEMAS DE SANEAMENTO DE ÁGUAS RESIDUAIS URBANAS

1

CONCEITOS BÁSICOS DE
HIDRÁULICA



TIPOS E REGIMES DE ESCOAMENTO

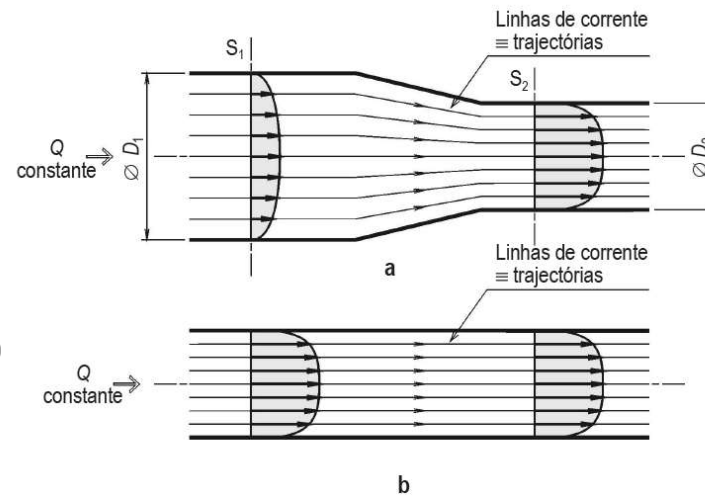
Existem apenas dois tipos de escoamento:

variável

Função da posição e do tempo

permanente

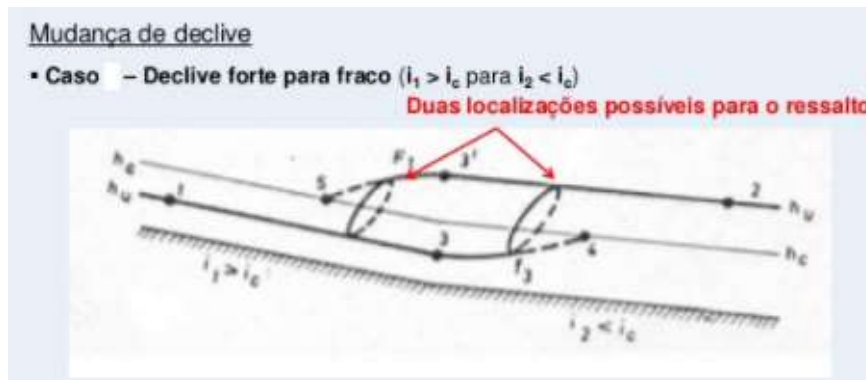
Função da posição



uniforme

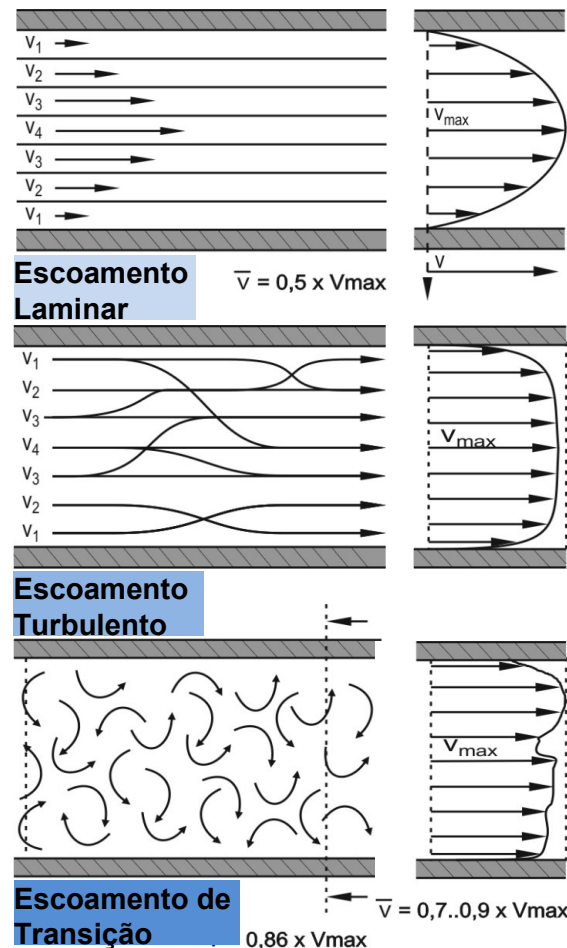
Constante ao longo de cada trajectória

Escoamento uniforme rápido e lento



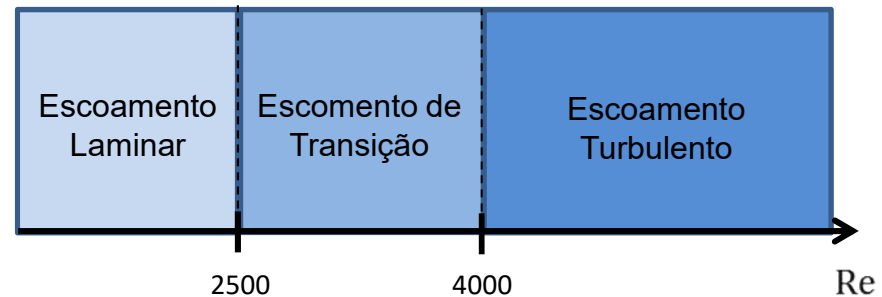
REGIMES DE ESCOAMENTO, PERFIL DE VELOCIDADES E N° DE REYNOLDS

Efeito da rugosidade, velocidade e nível no perfil de velocidades



$$Re = \frac{\bar{v} \cdot D}{\nu}$$

ν = viscosidade cinemática



Valores mais baixos observáveis

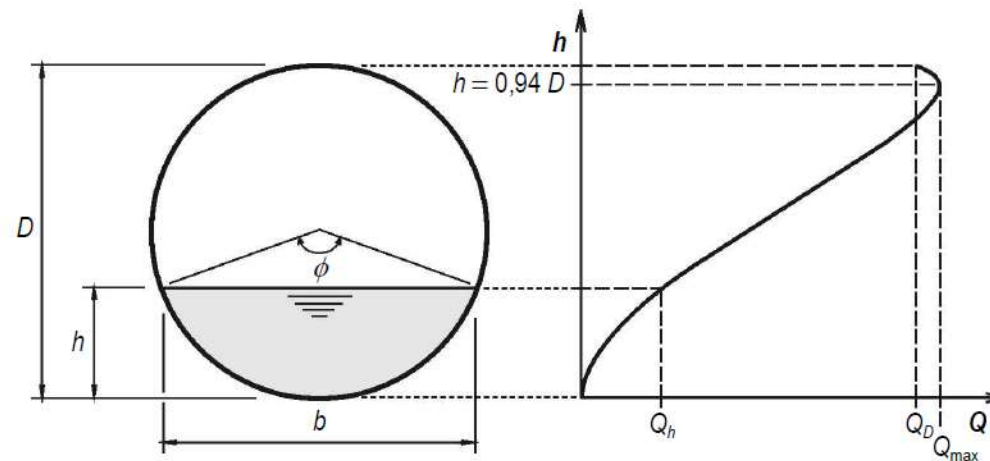
$D = 0.1 \text{ m}$
 $V = 0.1 \text{ m/s}$ } \rightarrow $Re = 10000 \gg 5000$

Escoamento Turbulento

SECÇÕES FECHADAS – ÁREA MOLHADA

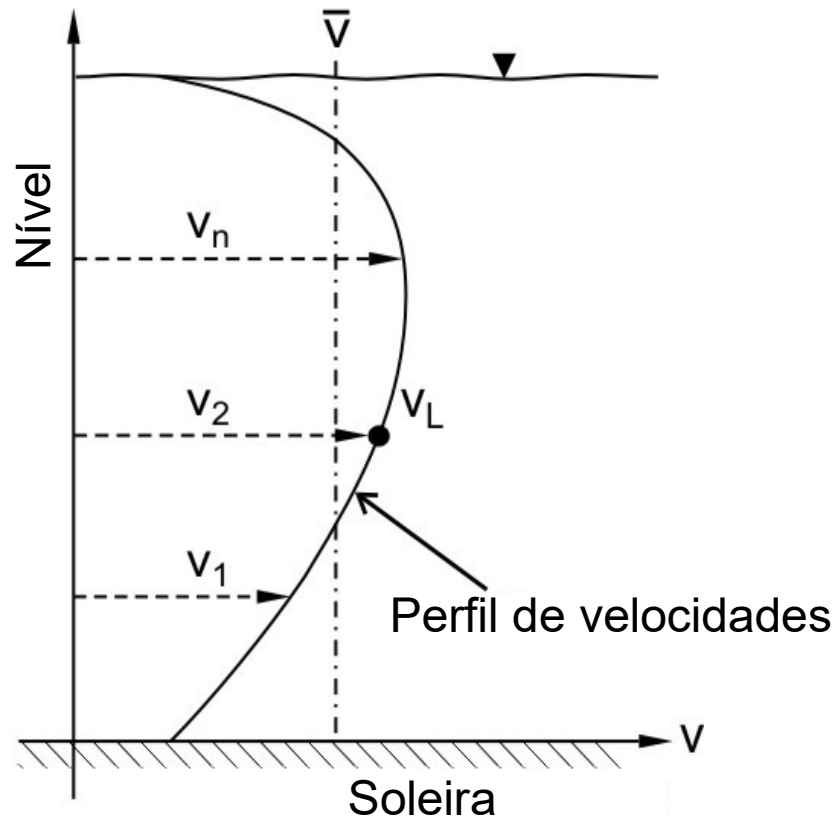
Para canais com secções fechadas superiormente (como o caso de secções circulares e ovoides, muito utilizadas em coletores de águas residuais), a **máxima capacidade de transporte e, conseqüentemente, o máximo caudal transportado em regime uniforme não correspondem à máxima altura da secção.**

Isto deve-se ao facto de que próximo do fecho da abóboda, o aumento da área da secção com altura não compensa a redução do raio hidráulico, que é consequência do acréscimo do perímetro molhado. Para secções circulares, a curva de vazão tem o andamento representado na figura seguinte.



EQUAÇÃO DA CONTINUIDADE

O efeito da rugosidade, nível e velocidade no perfil de velocidades



Distribuição desigual das velocidades

→ Velocidade média do escoamento

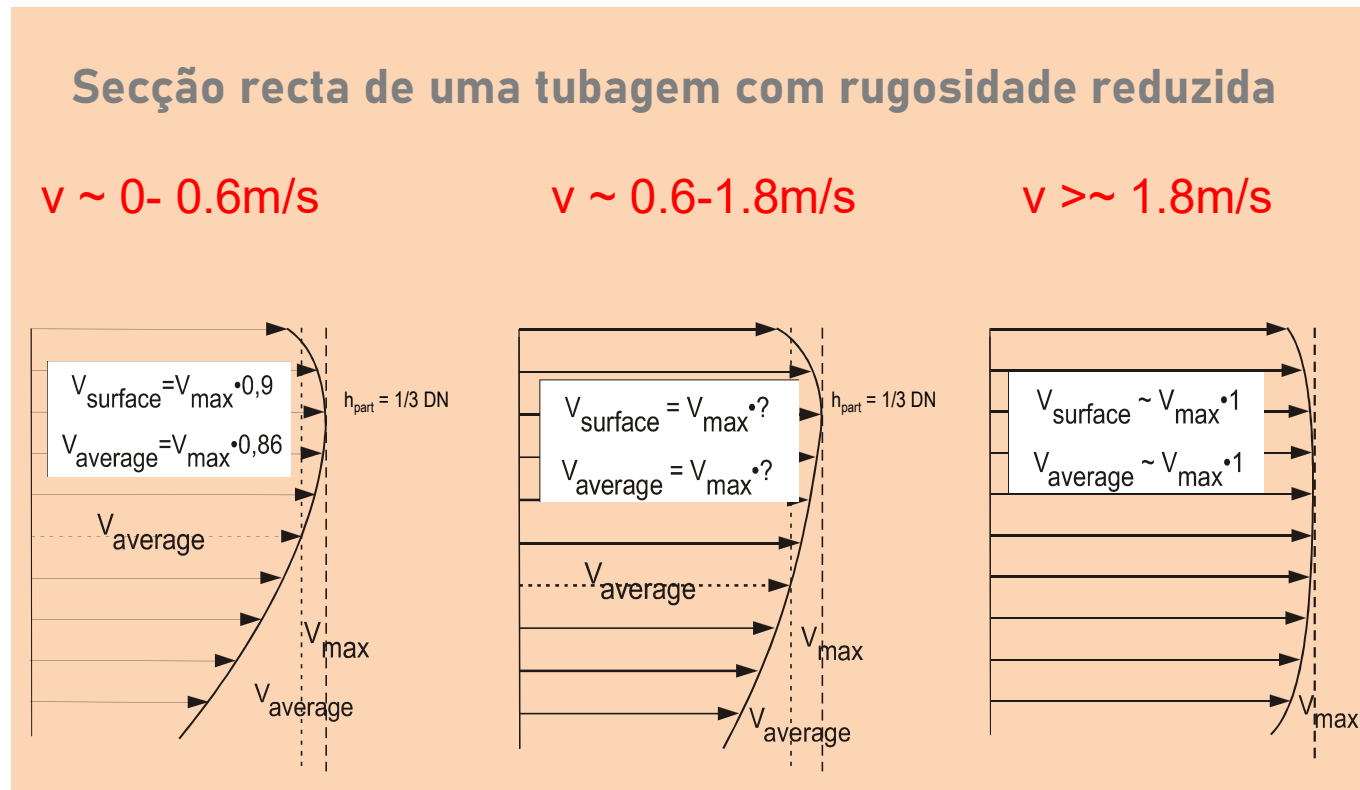
$$Q = \bar{v} \cdot A$$

\bar{v} = Velocidade Média do Escoamento

A = Área Molhada

PERFIL DE VELOCIDADES

O efeito da rugosidade, nível e velocidade no perfil de velocidades

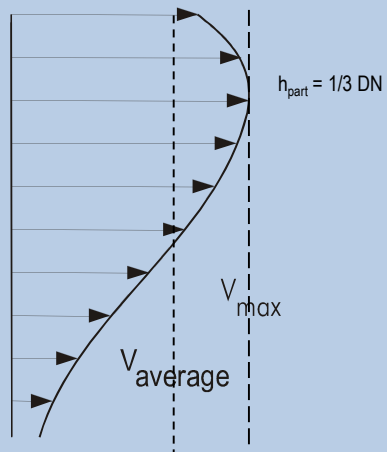


PERFIL DE VELOCIDADES

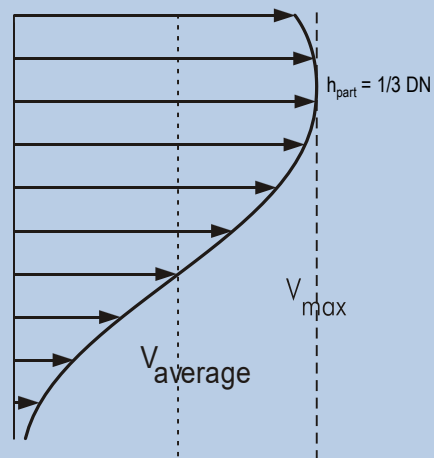
O efeito da rugosidade, nível e velocidade no perfil de velocidades

Secção recta de uma tubagem com elevada rugosidade

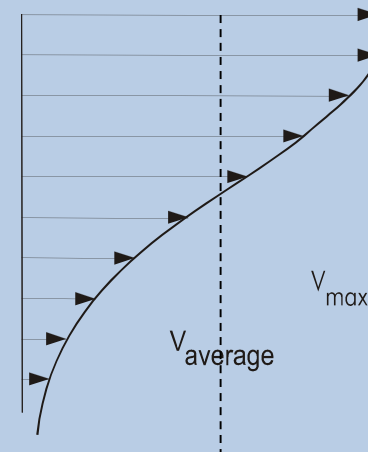
$v \sim 0-0.6\text{m/s}$



$v \sim 0.6-1.8\text{m/s}$



$v > \sim 1.8\text{m/s}$

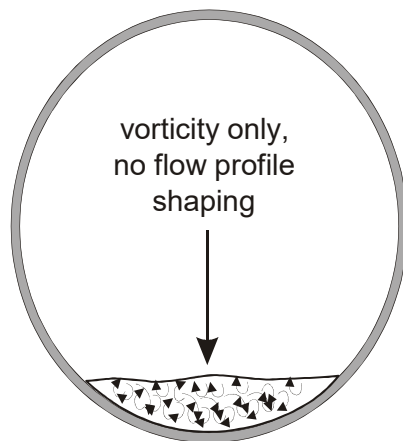


PERFIL DE VELOCIDADES

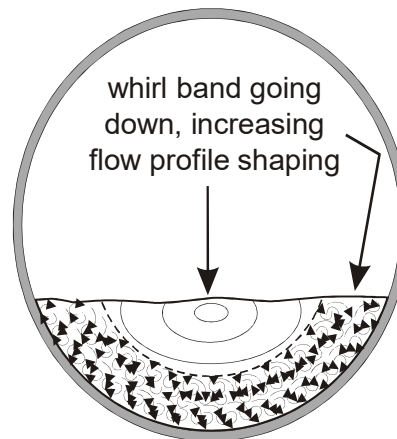
O efeito da rugosidade, nível e velocidade no perfil de velocidades

Definição do perfil de velocidades - rugosidade da tubagem “normal” para diferentes alturas de escoamento

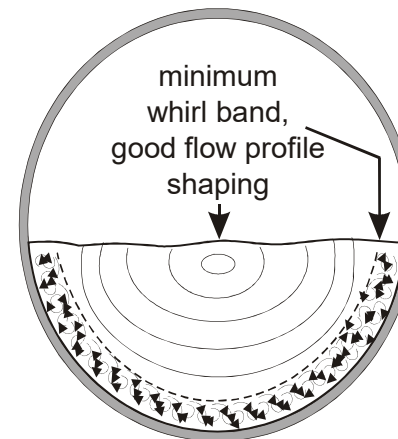
Flow level $h_{part} \ll 1/3 DN$



Flow level $h_{part} < 1/3 DN$



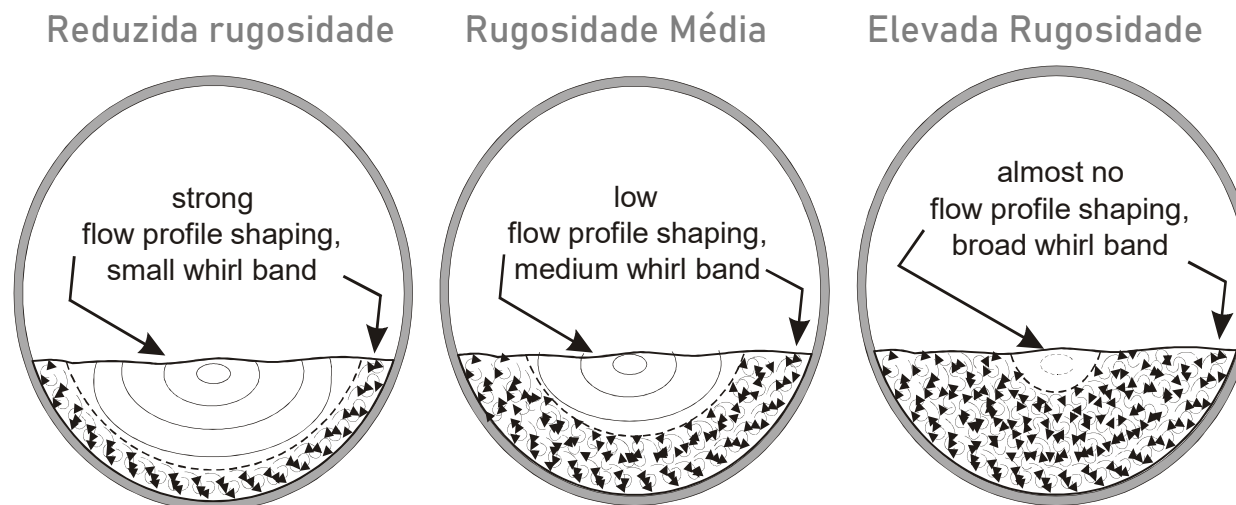
Flow level $h_{part} > 1/3 DN$



PERFIL DE VELOCIDADES

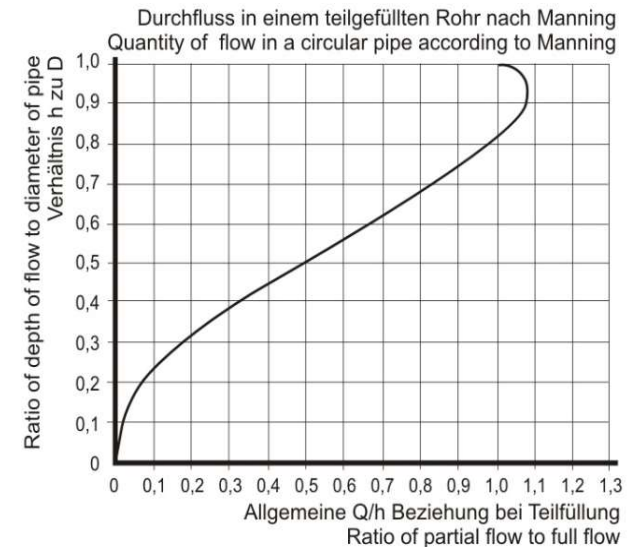
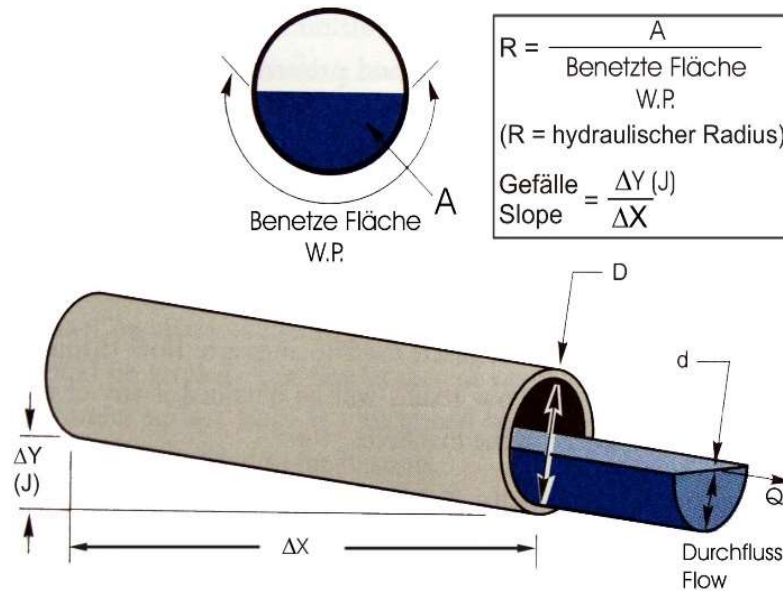
O efeito da rugosidade, nível e velocidade no perfil de velocidades

Definição do perfil de velocidades para diferentes rugosidades da tubagem
Nível do escoamento $h_{part} < 1/3 DN$



EQUAÇÃO DE MANNING-STRICKLER

Relação Q/h – escoamento Uniforme



Valores de Q (l/s) e v (m/s) influenciados por:

Declive do coletor (1:x or ‰)

Rugosidade k_b

Geometria da secção (rectangular, circular, etc)

Altura de escoamento (medido)

Coeficiente de rugosidade de acordo com Manning

EQUAÇÃO DE MANNING-STRICKLER

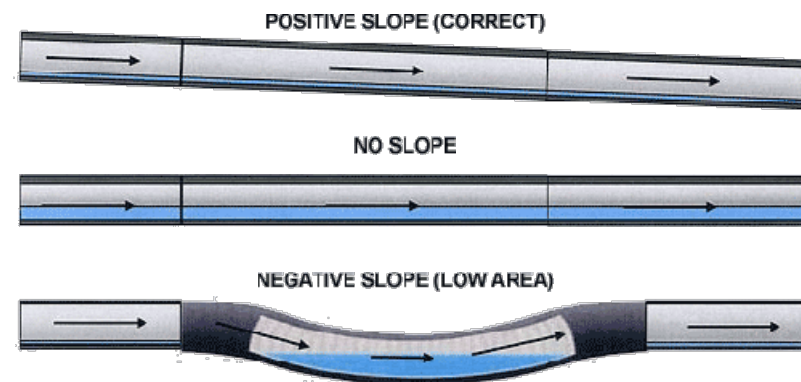
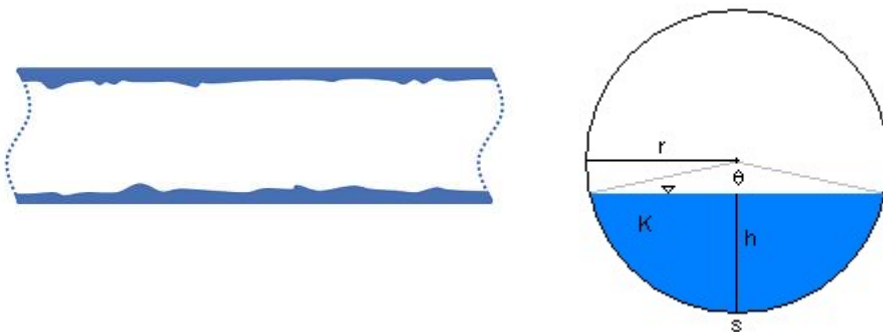
$$\bar{v} = K_s \cdot A \cdot R_h^{2/3} \cdot i^{1/2}$$

K_s é um parâmetro que depende da rugosidade do colector

A é área molhada

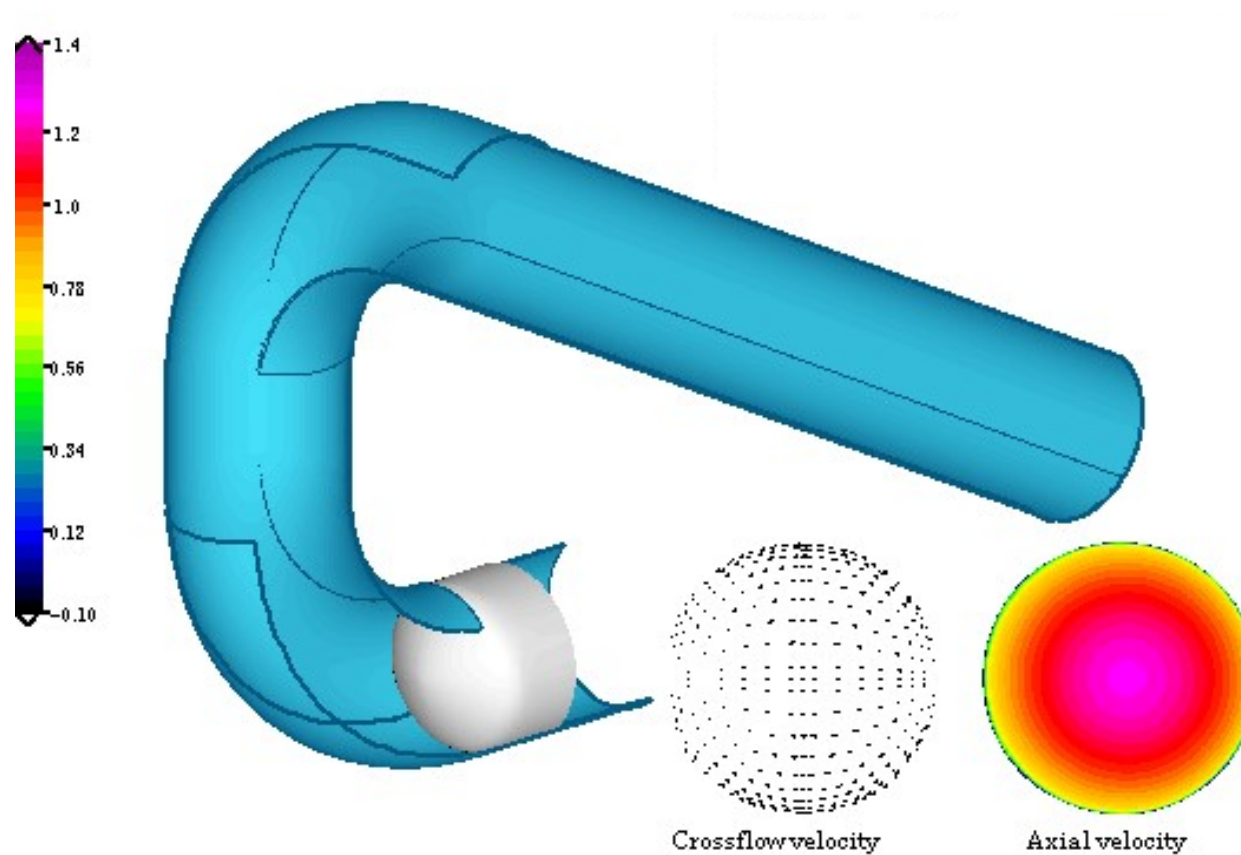
R_h é o raio hidráulico ($\frac{A}{P}$), com $P = \frac{D}{\phi}$

i é a inclinação do colector



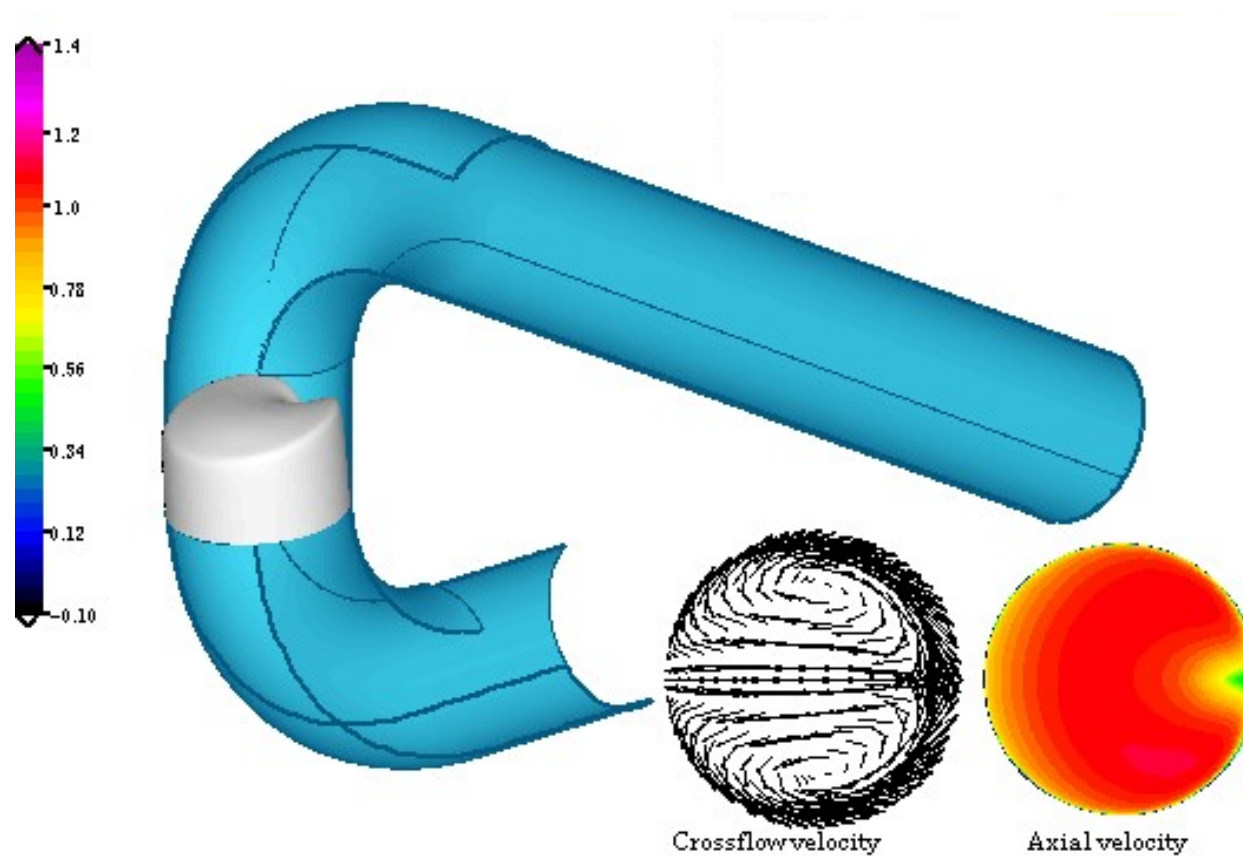
PERFIL DE VELOCIDADES

O efeito de 2 curvas no perfil de velocidades (antes da 1ª curva)



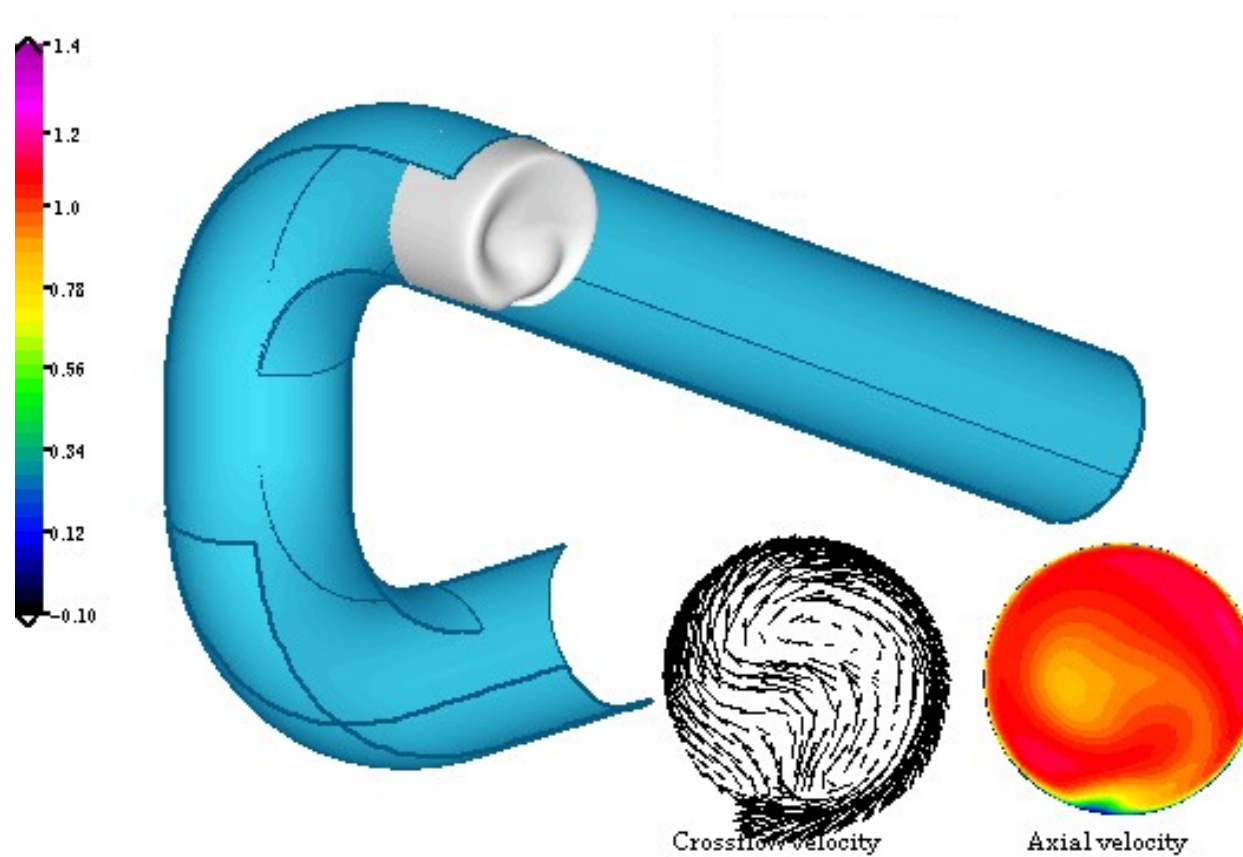
PERFIL DE VELOCIDADES

O efeito de 2 curvas no perfil de velocidades (após a 1ª curva)



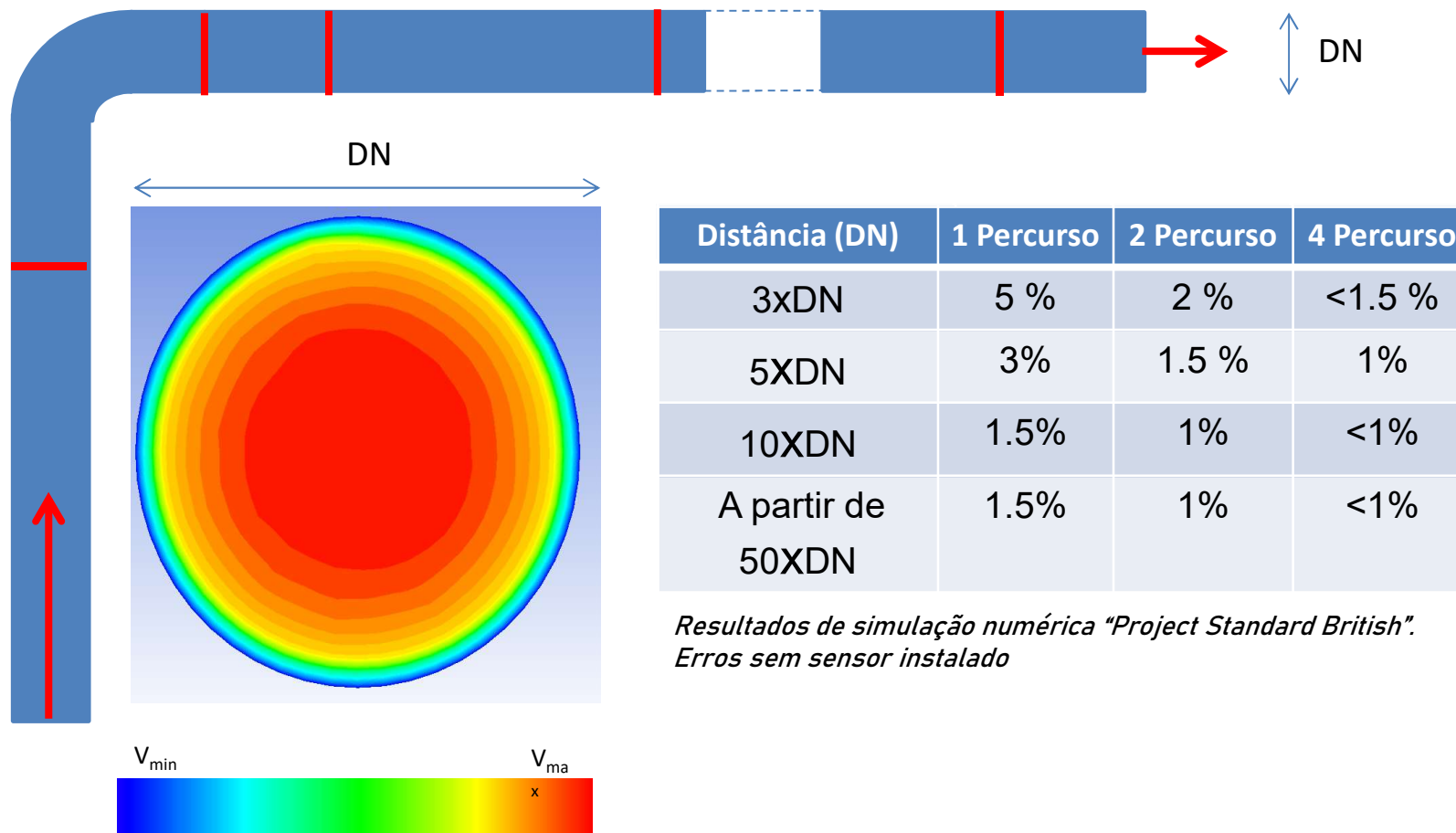
PERFIL DE VELOCIDADES

O efeito de 2 curvas no perfil de velocidades (após a 2ª curva)



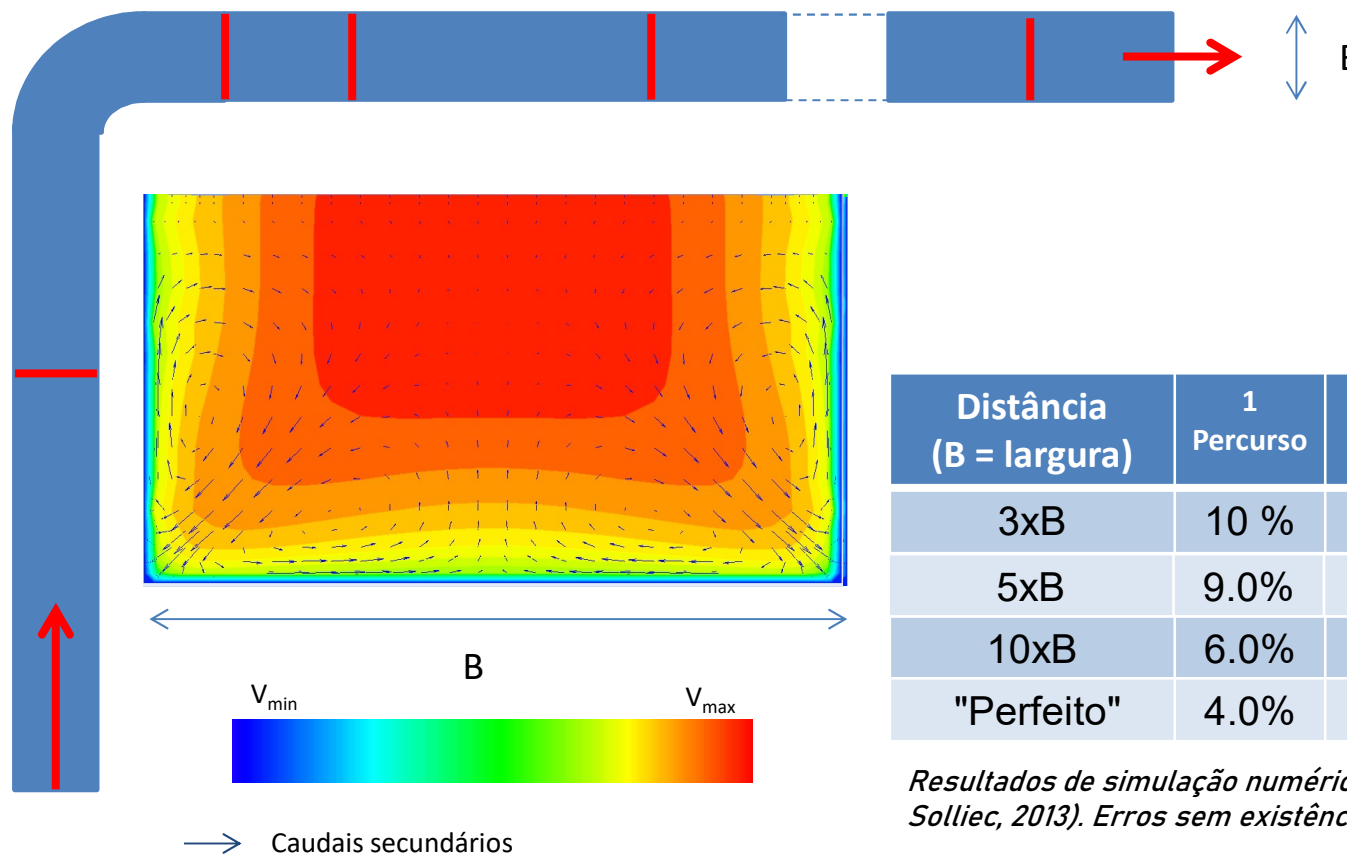
PERFIL DE VELOCIDADES – TUBAGEM CHEIA

Efeito da precisão devido à deformação do perfil de velocidades



PERFIL DE VELOCIDADES – SECÇÃO PARCIALMENTE CHEIA

Efeitos da precisão devido à deformação do perfil de velocidades



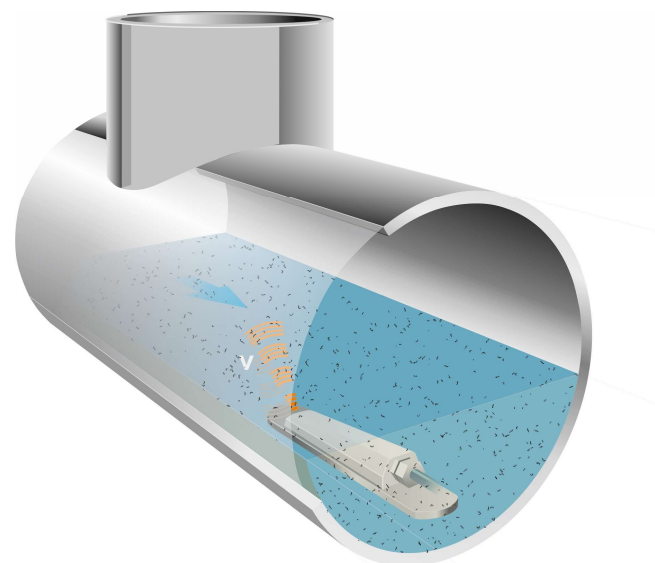
Distância ($B = \text{largura}$)	1 Percurso	2 Percursos	3 Percursos
3xB	10 %	5%	3%
5xB	9.0%	5.0%	2.8%
10xB	6.0%	4.0%	2.5 %
"Perfeito"	4.0%	3.0%	2.0 %

Resultados de simulação numérica (Ph.-D. Laurent Sollic, 2013). Erros sem existência de sensores

MEDIÇÃO DE CAUDAL EM SISTEMAS DE SANEAMENTO DE ÁGUAS RESIDUAIS URBANAS

2

MEDIÇÃO DE CAUDAL EM
ESCOAMENTOS EM SUPERFÍCIE
LIVRE



MEDIÇÃO DE CAUDAL EM SISTEMAS DE SANEAMENTO DE ÁGUAS RESIDUAIS URBANAS – MEDIÇÃO DE CAUDAL



Apresentam-se três tipos de caudalímetros utilizados em escoamentos em superfície livre:

Caudalímetros com Descarregador de soleira delgada (Retangular e Triangular);

Caudalímetros com Caleira (Venturi e Parshall).

Caudalímetros que se baseiam em soluções de **Multissensorização** (diversas tecnologias).

Estes últimos assumem especial relevância, e recorrem a **transduções combinadas**, de **velocidades do escoamento** e de níveis da superfície livre (ou de **alturas do escoamento**) correspondentes, sendo os respetivos valores do caudal calculados a partir dos valores dessas grandezas.

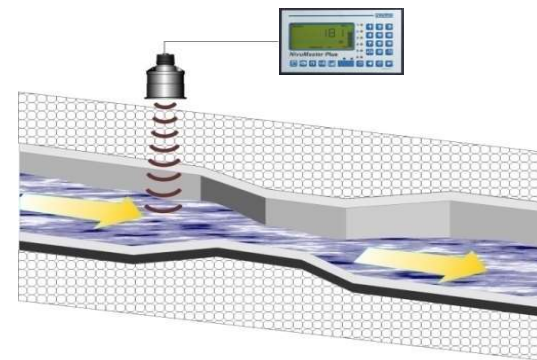
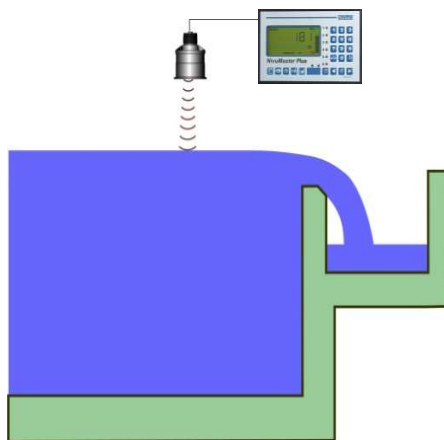
DESCARREGADORES DE SOLEIRA DELGADA E CALEIRAS

Deformações locais no escoamento

O nível eleva-se com o aumento do caudal de uma forma conhecida

Só requerem medição de nível

$$Q = f(h)$$



CAUDALÍMETROS COM CALEIRA

Caudalímetro constituído por:

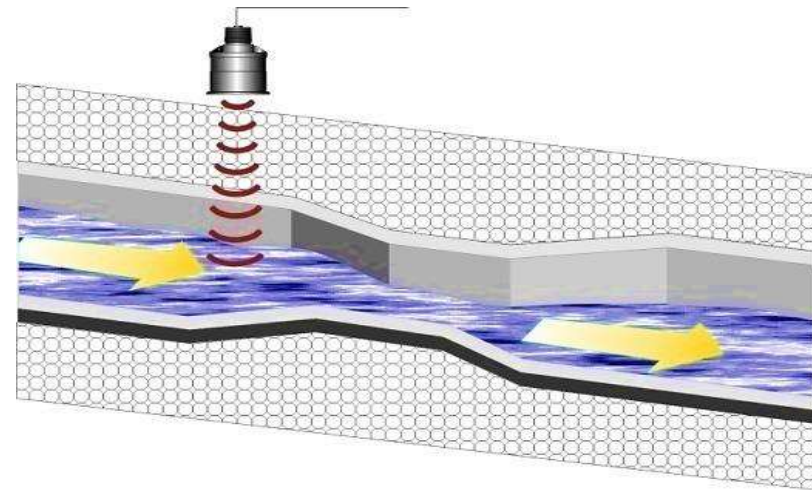
Uma caleira de Medição
Medidor do nível

Os dois tipos de caudalímetros com caleira considerados são:

Caleira Venturi;
Caleira Parshall;

Estreitamento que introduz no canal onde é conjugado com uma sobreelevação existente no seu fundo (a soleira), a caleira força o escoamento, obrigatoriamente lento a montante dela, a passar com altura crítica numa determinada secção transversal do seu colo.

Diz-se que a caleira funciona então em descarga livre, situação em que o **caudal é função apenas da altura do escoamento** no canal de alimentação.



CAUDALÍMETROS COM MULTISSENSORIZAÇÃO

Métodos de transdução de velocidade

- Ultrassónico por efeito Doppler Contínuo
- Ultrassónico por efeito Doppler Pulsado
- Radar por efeito Doppler
- Ultrassónico por princípio de Correlação Cruzada
- Indução eletromagnética

Métodos de transdução de nível

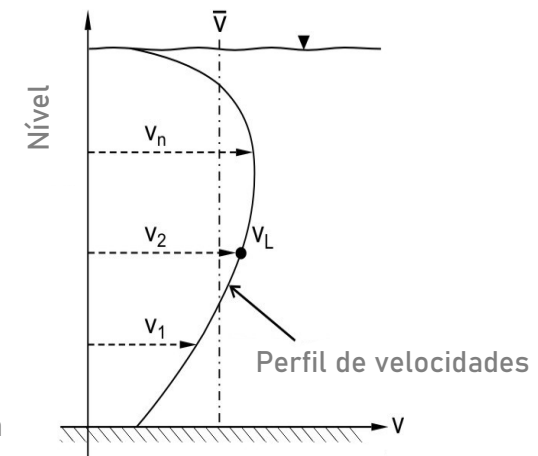
- Ultrassónicos por tempo de propagação
- Radar
- Pressão hidrostática

São de fácil instalação e sem necessidade de obras de construção civil, exceto o método de indução magnética.

O método de medição da velocidade difere da tecnologia adotada. O cálculo do caudal é realizado utilizando a **equação da continuidade**.

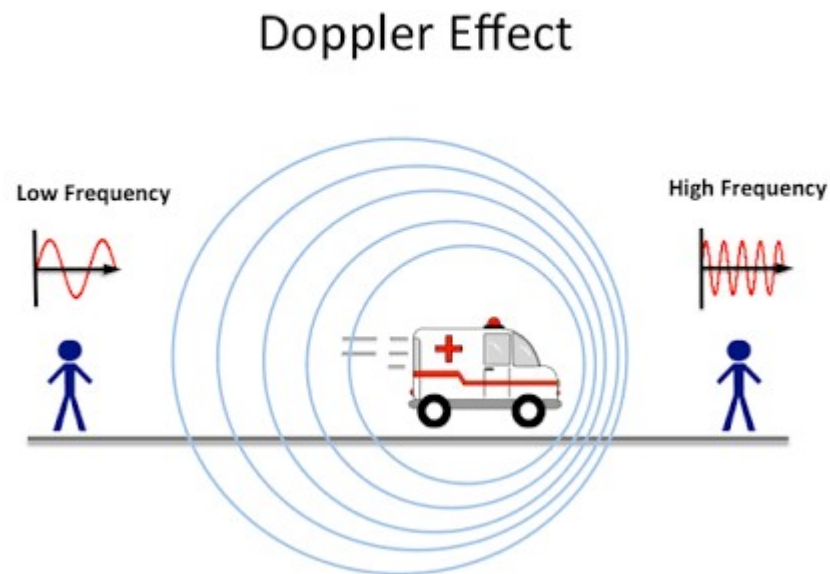


$\frac{A}{\bar{v}}$ = Área Molhada
= Velocidade Média



EFEITO DE DOPPLER

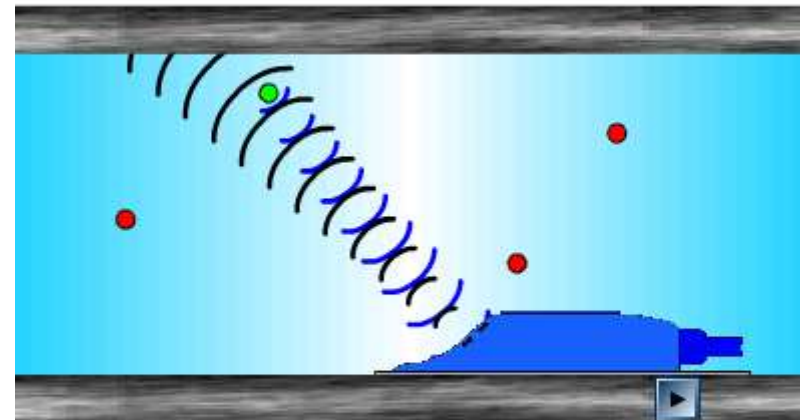
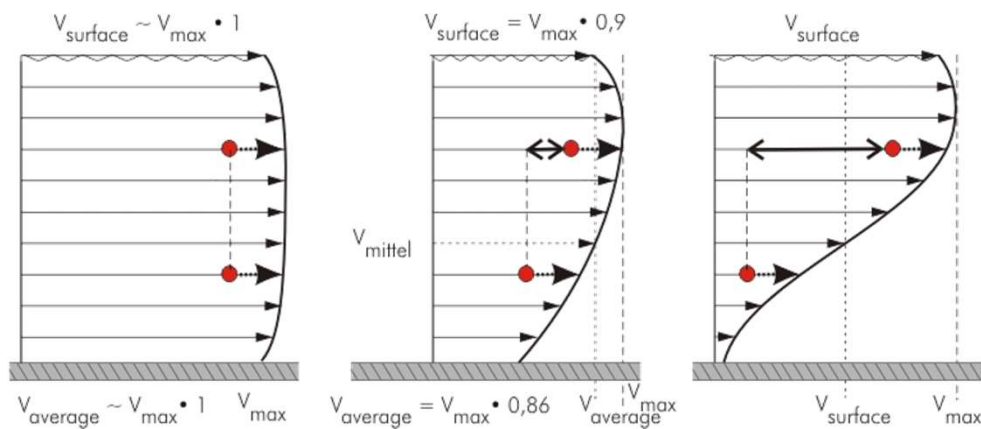
Sirene a passar:



Durante a aproximação, os intervalos entre as frentes de onda são mais curtos

Ao se afastar, os intervalos entre as frentes de onda são mais longos

DOPPLER – ONDA CONTÍNUA



Desvantagens

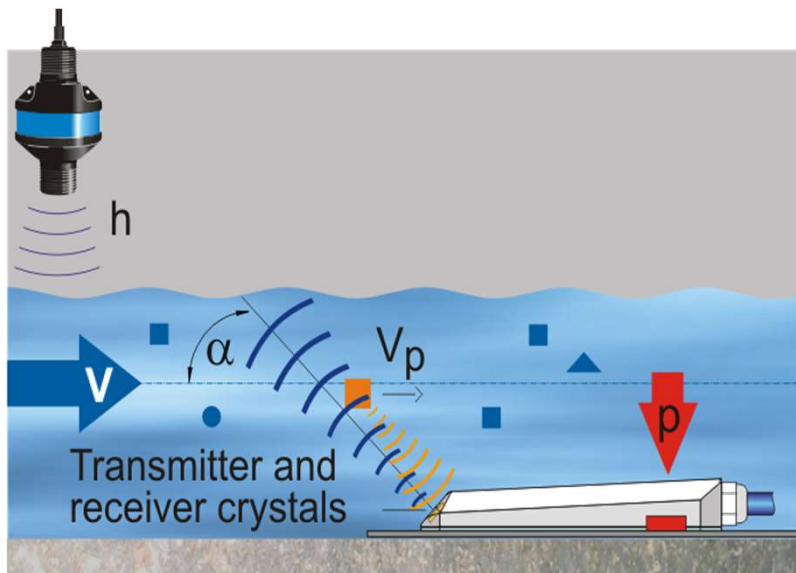
Sem localização espacial das velocidades

Calibração da velocidade necessária com outro equipamento para comparação

MEDIÇÃO DA VELOCIDADE – DOPPLER CONTÍNUO

O sensor envia uma onda ultrassônica de frequência conhecida e a onda é refletida com um desvio da frequência.

Em seguida, a velocidade da partícula na qual a onda foi devolvida pode ser deduzida a partir desta mudança na frequência.



Principais vantagens:

Preço reduzido.

Possíveis limitações:

Baixa precisão, nomeadamente para velocidades reduzidas e quando existem grandes variações de caudal;
Não permite traçar o perfil de velocidades.

Aplicações e condições de montagem:

O sensor é geralmente instalado no troço a montante de uma câmara de visita através de uma abraçadeira de fixação.

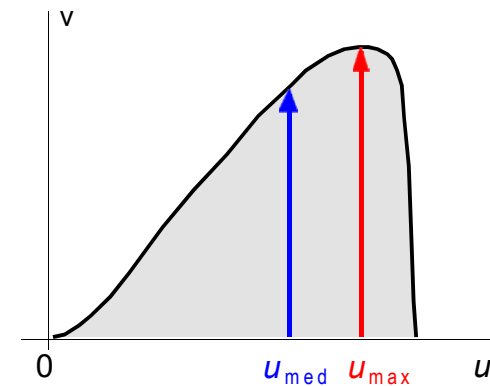
EFEITO DOPPLER DE ONDA CONTÍNUA – MEDIÇÃO DE VELOCIDADES NUM ESCOAMENTO

Determinação da velocidade média do escoamento a partir da distribuição espectral obtida

Variante 1: a **velocidade média do espectro** multiplicada por um **fator** (a determinar empiricamente).

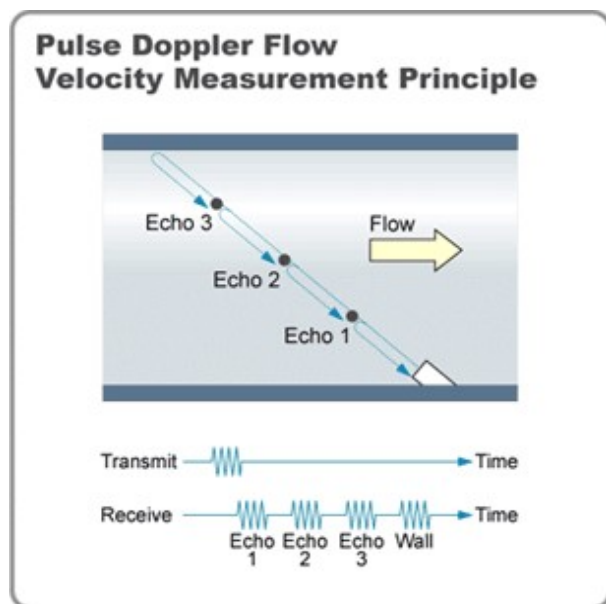
Variante 2: a **velocidade máxima** do espectro multiplicada por outro **fator** adequado.

Os fatores dependem do padrão de escoamento na geometria da área molhada
=> **variam com a altura de água** na conduta.



DOPPLER PULSADO

A tecnologia de Doppler de onda pulsada utiliza um método mais sofisticado para determinação da velocidade média do escoamento. Estes sensores ultrassônicos enviam pulsos de ondas ultrassônicas em intervalos e assim são criadas janelas temporais. Esta tecnologia permite determinar um perfil de velocidades com maior precisão, no entanto continua a ter limitações aquando de velocidades inferiores a 0,30m/s, resultando em erros potenciais superiores a $\pm 25\%$ e/ou muito pouco fiáveis.



Principais vantagens:

Permite obter as velocidades de deslocamento de partículas em diversas janelas temporais.

Possíveis limitações:

Baixa precisão para velocidades inferiores a 0,3m/s;
Necessidade de uma lâmina líquida mínima (aprox.3cm) para medir a velocidade;

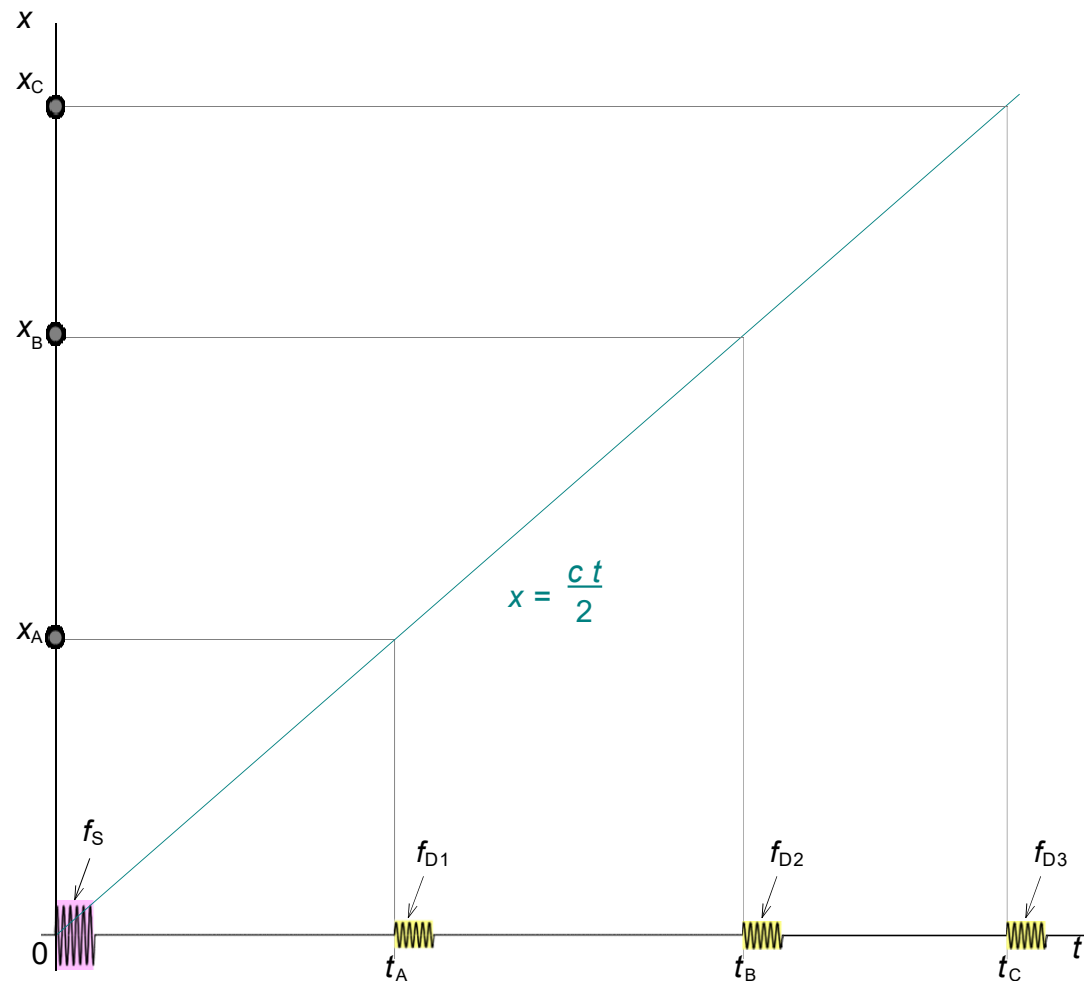
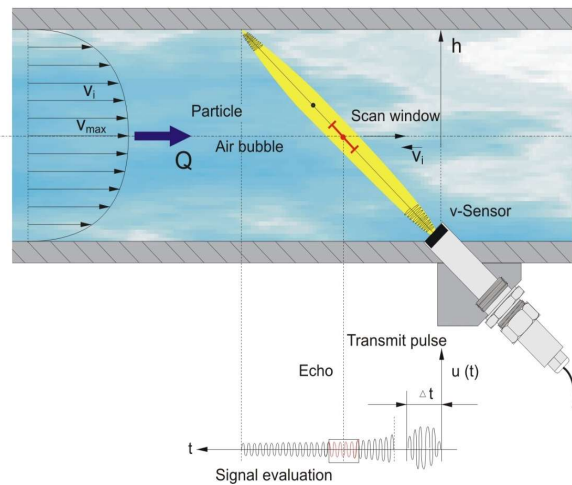
Aplicações e condições de montagem:

O sensor é geralmente instalado no troço a montante de uma câmara de visita através de uma abraçadeira de fixação.

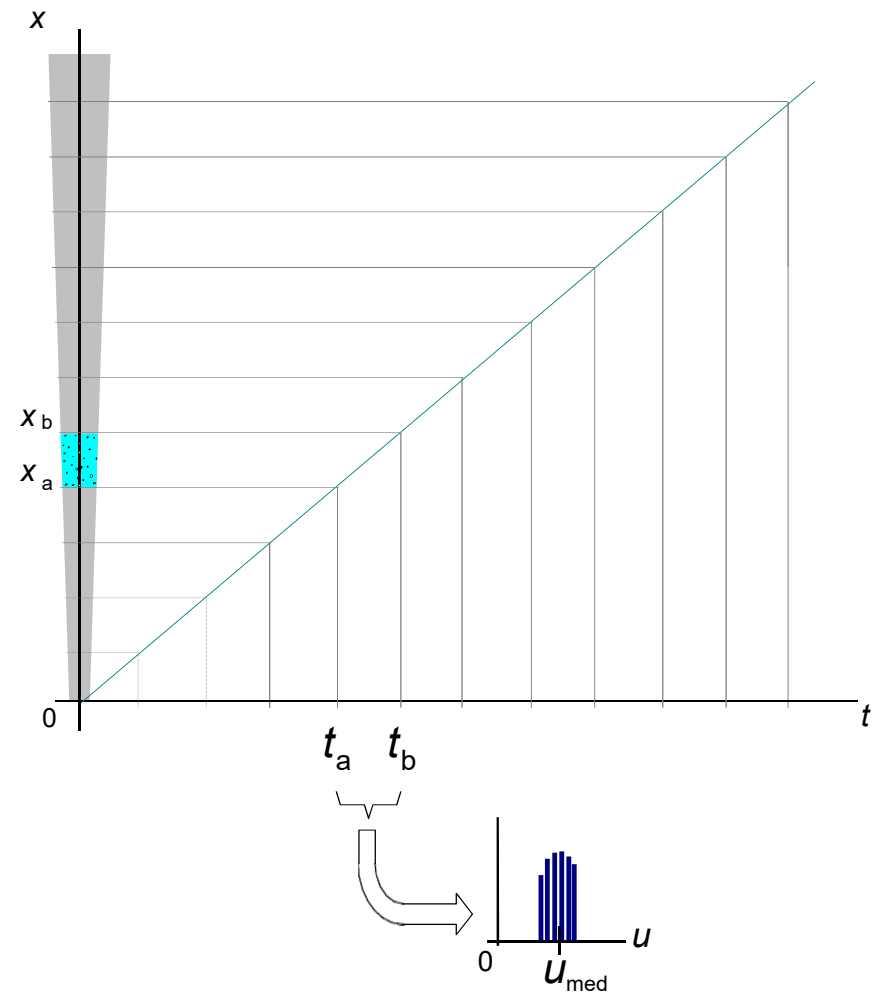
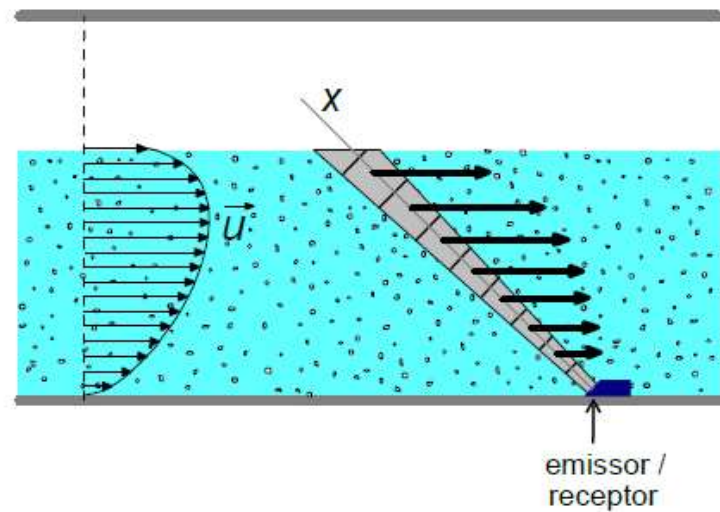
EFEITO DOPPLER DE ONDA PULSADA – PRINCÍPIO BÁSICO

Os instantes de chegada das ondas refletidas são proporcionais às distâncias aos alvos

As frequências recebidas permitem determinar as velocidades dos alvos



EFEITO DOPPLER DE ONDA PULSADA – MEDIÇÃO DE VELOCIDADES NUM ESCOAMENTO

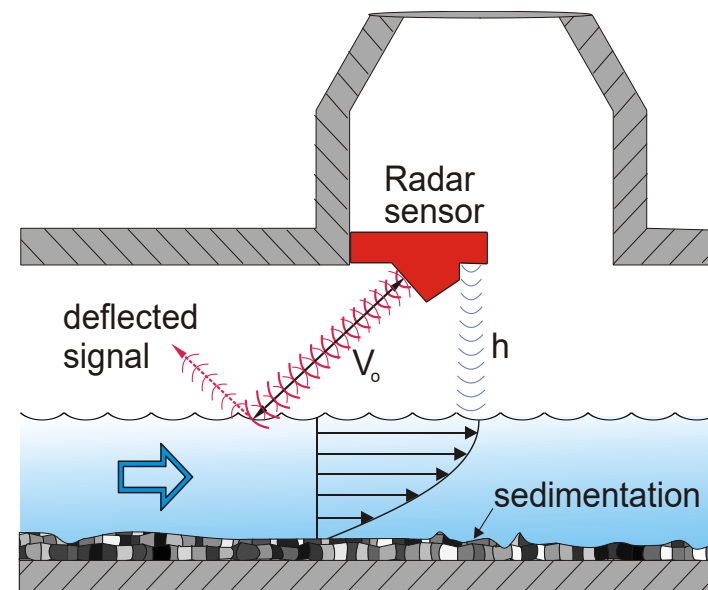
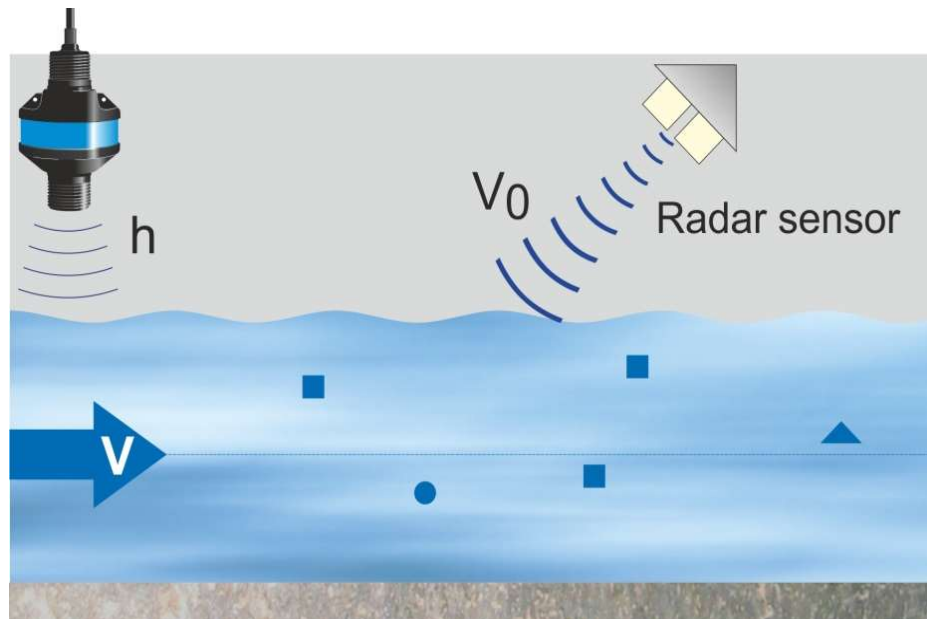
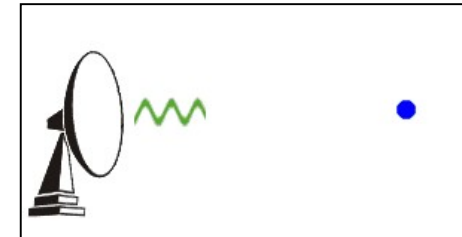


1 espectro por célula

toma-se a velocidade média por célula
rebate-se para a horizontal e obtém-se um perfil de velocidades do escoamento

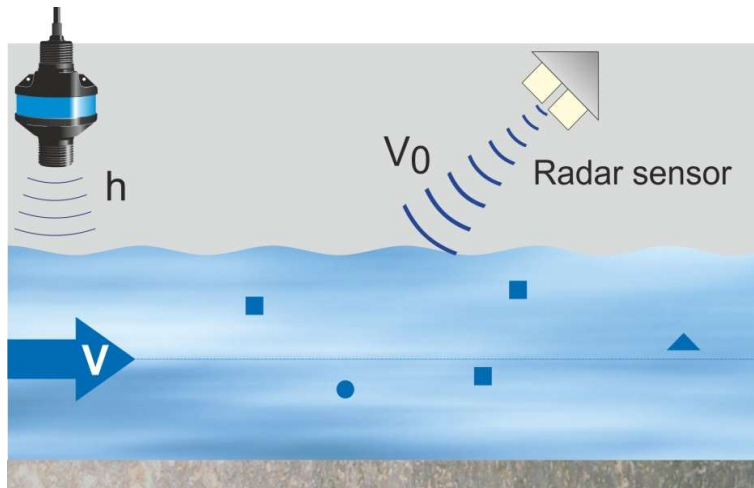
RADAR – ONDA CONTÍNUA

O sensor Radar não está em contacto com o escoamento
O escoamento tem que ter ondulações para poder ser medida a velocidade superficial
É difícil calcular a velocidade média



MEDIÇÃO DA VELOCIDADE – RADAR

A velocidade de superfície da água é medida com tecnologia de radar que consiste no envio de um feixe de radar que é transmitido pelo sensor para a superfície da água no centro do coletor/canal. Uma parte do sinal é refletida de volta numa frequência um pouco diferente. A diferença na frequência, é diretamente proporcional à velocidade do fluxo.



Principais vantagens:

Sem contacto com o fluído – menos imune a ser danificado por pedras ou a ficar sujo;
Medição com baixas alturas de escoamento.

Possíveis limitações:

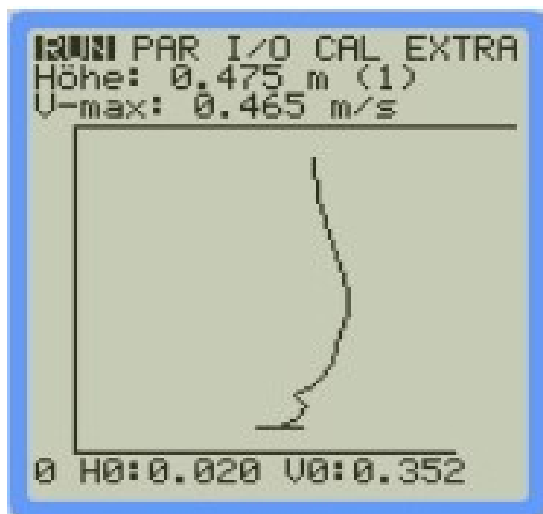
Baixa precisão, nomeadamente para velocidades mais elevadas e quando existem grandes variações de caudal. Mede apenas a velocidade superficial;
É “cego” perante a presença de sedimentação;
Não permite medir em tubagem cheia;
O escoamento tem de ter ondulações para as ondas de radar serem refletidas.

Aplicações e condições de montagem:

Os sensores de velocidade e nível são geralmente instalados no interior de uma câmara de visita ou em canal aberto através de um sistema de fixação.

TECNOLOGIA DE CORRELAÇÃO CRUZADA

A tecnologia de medição da velocidade de Correlação Cruzada envolve a implementação de ondas pulsadas e de janelas de leitura. Enquanto a tecnologia de doppler opera no domínio da mudança de frequência da onda refletida, a correlação cruzada opera no domínio do tempo. A correlação cruzada é uma tecnologia mais abrangente na medição da velocidade de escoamento em situações de baixas velocidade, situações em que a tubagem está quase cheia e grandes variações de caudal. A tecnologia permite definir um perfil de velocidades e assim determinar com maior precisão a velocidade média do escoamento.



Principais vantagens:

Mede até 16 janelas e assim permite traçar o perfil de velocidades – Elevada precisão;
O sensor de velocidade não necessita de calibração;
Mede velocidades muito reduzidas.

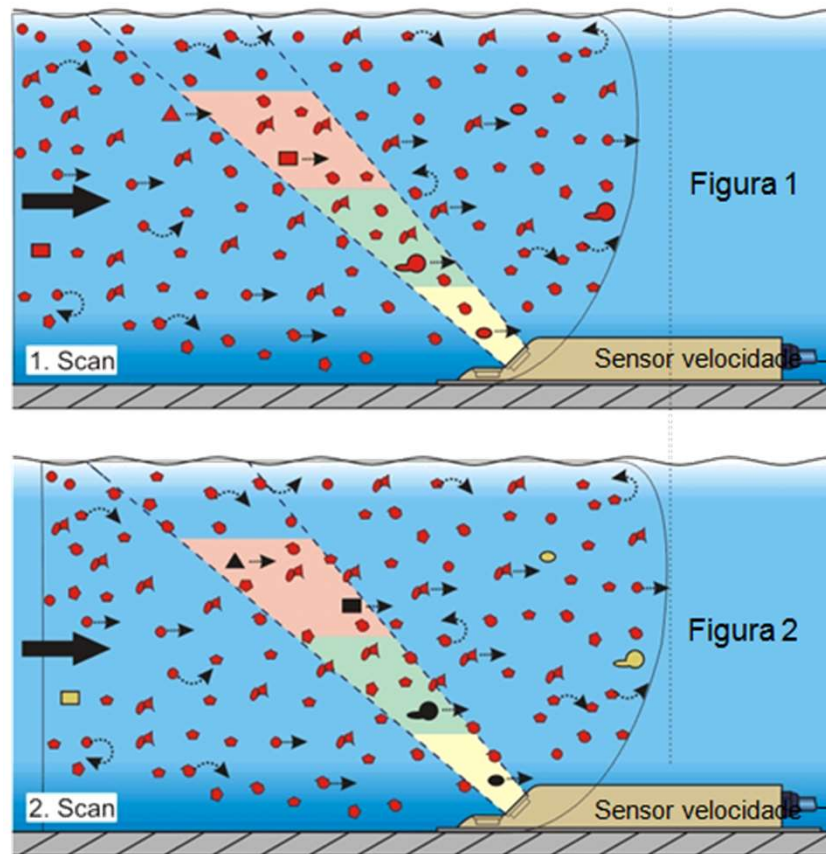
Possíveis limitações:

Necessidade de uma lâmina líquida mínima de 3cm para medir a velocidade.

Aplicações e condições de montagem:

O sensor é geralmente instalado no troço a montante de uma câmara de visita através de uma abraçadeira de fixação.

TECNOLOGIA DE CORRELAÇÃO CRUZADA

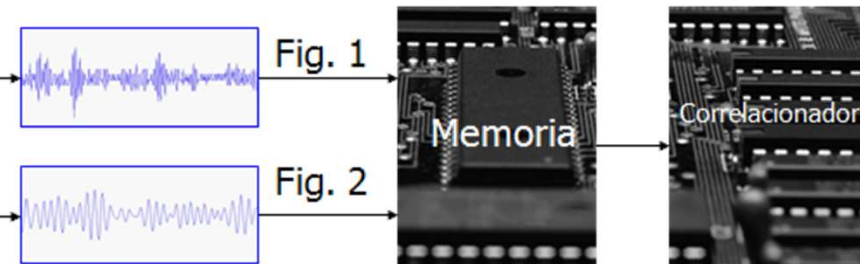


Correlação Cruzada

Comparação entre duas amostras

$$V_{gate} = \frac{c \cdot \Delta t}{T_{PRF} \cdot \cos \alpha}$$

c : Velocidade do som na água[m/s]
 Δt : Diferença de tempo medida
 α : Ângulo do feixe[°]
 T_{PRF} : Impulse repeat frequency

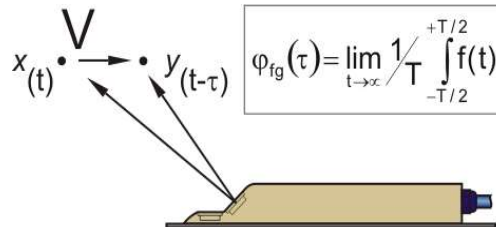


A velocidade do escoamento pode ser calculada a partir do movimento das partículas refletoras.

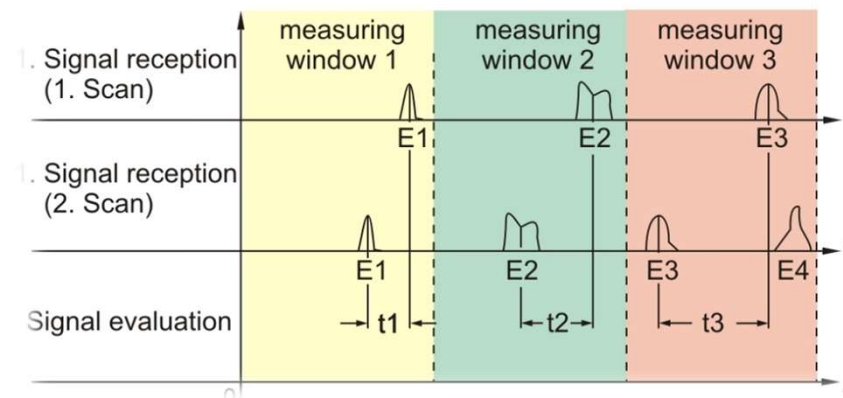
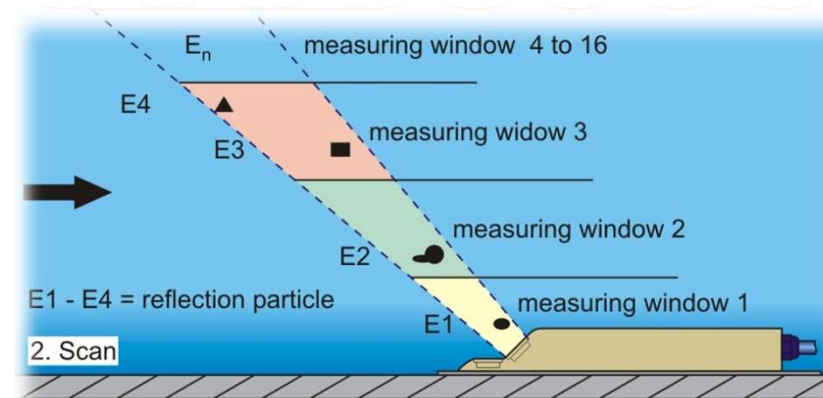
TECNOLOGIA DE CORRELAÇÃO CRUZADA

- 1º Scan das partículas;
- 2º Scan das partículas;
- A sobreposição das duas “*imagens*” permite saber o intervalo de tempo que cada partícula leva da posição inicial à posição final.

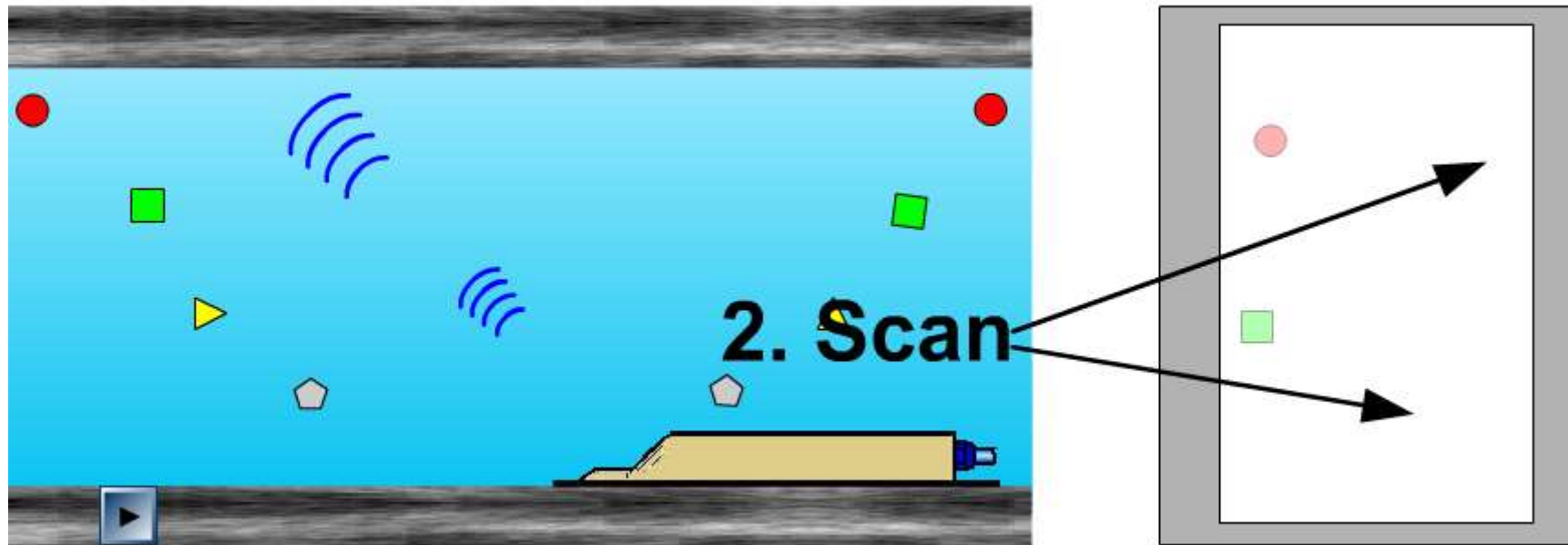
As partículas estão continuamente a ser digitalizadas pelo sensor;
As reflexões são guardadas como imagens;
As partículas são identificadas como uma assinatura acústica.



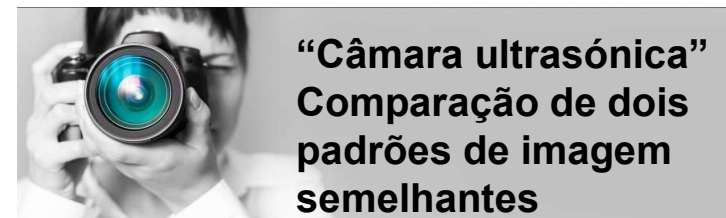
$$\varphi_{fg}(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{+T/2} f(t) \cdot g(t + \tau) dt$$



TECNOLOGIA DE CORRELAÇÃO CRUZADA

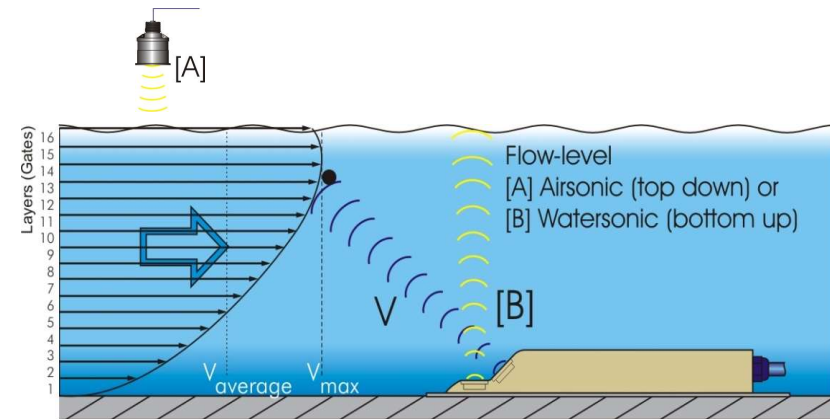


Os padrões de imagem são registrados e comparados uns com os outros em milissegundos



TECNOLOGIA DE CORRELAÇÃO CRUZADA

- Deteção espacial da velocidade de escoamento
- Precisão de medição facilmente verificável
- Indicação gráfica do perfil de velocidade real



Gates			
	Position	v average	v raw
1	0.065 m	0.392 m/s	0.423 m/s
2	0.074	0.403	0.421
3	0.080	0.399	0.379
4	0.088	0.410	0.393
5	0.096	0.436	0.441
6	0.106	0.481	0.507
7	0.117	0.499	0.490
8	0.129	0.522	0.504
9	0.144	0.532	0.512
10	0.160	0.542	0.522
11	0.179	0.560	0.526
12	0.201	0.546	0.512
13	0.226	0.555	0.510
14	0.257	0.547	0.502
15	0.292	0.540	0.500
16	0.333	0.531	0.503

v-Sensor 1


1 2 3

Art.-No. POA-V2U1KT030L0

Firmware version V1.62 11/10/13

Serial No. 1350PK31269

Velocity 0.493 m/s



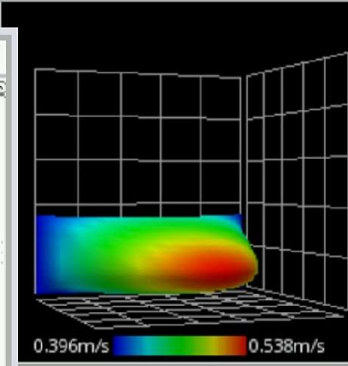
0.400m/s 0.900m/s

Gates →

Flow profile →

Back Tab

Flow profile

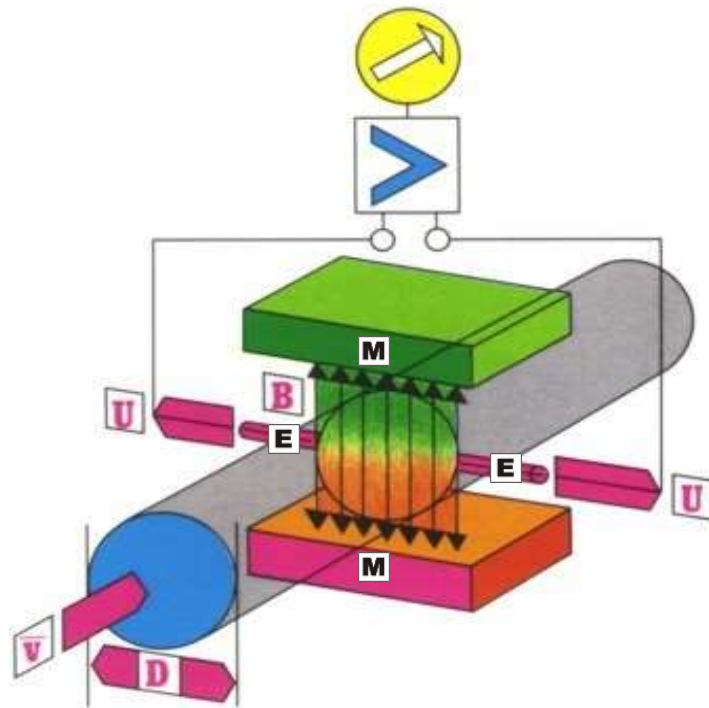


0.396m/s 0.538m/s

view perspective

Back

INDUÇÃO ELETROMAGNÉTICA



$$U = k \cdot B \cdot D \cdot v$$

Funcionalidade

Uso da **Lei de Faraday (1832)** de indução eletromagnética

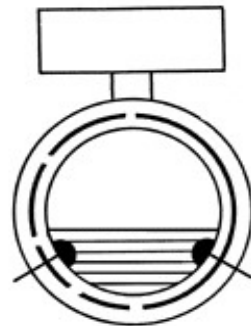
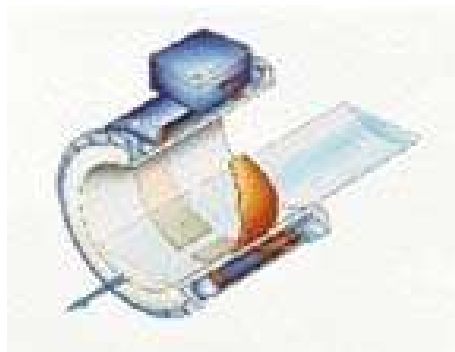
O escoamento de líquido condutor através do campo magnético causa um sinal de tensão. A tensão gerada é proporcional à velocidade do escoamento.

Transmissor converte o sinal de tensão em unidades de caudal Q.

- M = Bobina magnética
- B = Força do campo magnético
- E = Eléttodos
- D = Diâmetro interno do tubo
- U = Tensão induzida
- K = Constante

INDUÇÃO ELETROMAGNÉTICA

O medidor de velocidade eletromagnético para tubagens parcialmente utiliza a Lei de Faraday da indução eletromagnética, da mesma forma como medidores de caudal eletromagnéticos para tubagens em pressão. Quando um fluido condutor se move através de um campo magnético gera uma tensão proporcional à sua velocidade.



Principais vantagens:

Não cria obstruções ao escoamento, minimizando as perturbações no escoamento e as manutenções.

Possíveis limitações:

Necessita de construção civil para realizar-se a instalação;

Difícil verificação/aferição in situ

Equipamento pesado, menos versátil e mais difícil instalação;

Manutenções de difícil execução;

Não mede a velocidade de escoamento para alturas de escoamento $< 10\%DN$.

Preço elevado (equipamento+construção civil)

Aplicações e condições de montagem:

O primário é instalado geralmente no interior numa câmara de visita preparada para a sua instalação.

SOLUÇÕES DE MEDIÇÃO – CAUDAIS REDUZIDOS

Secção transversal bem definida.

Escoamento é feito em secção cheia.

Esta solução tem menos incertezas na medição e, em regra, apresenta muito bons resultados.

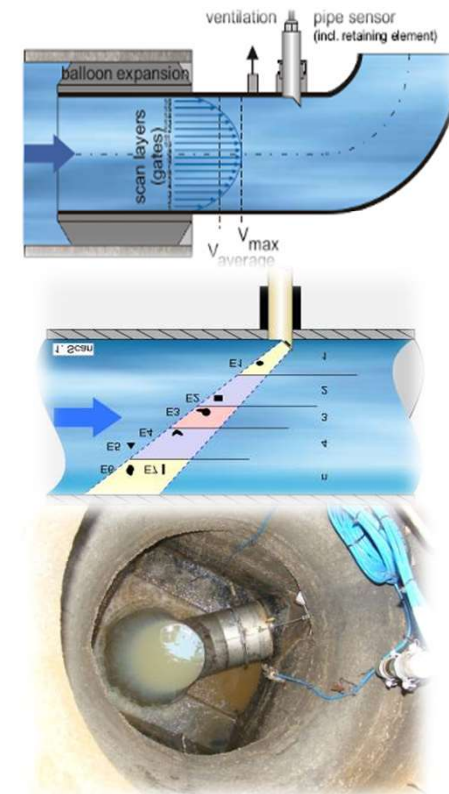
Necessário assegurar a boa operacionalidade do coletor, uma vez que este ficará em secção cheia a montante.

Deverá ser tido em consideração o caudal máximo e o mínimo, pois o sensor pode não ter uma resolução que permita uma correta medição de velocidades baixas ou de velocidades muito elevadas.

Os medidores “tipo cachimbo” também podem ser concebidos com medidores eletromagnéticos:

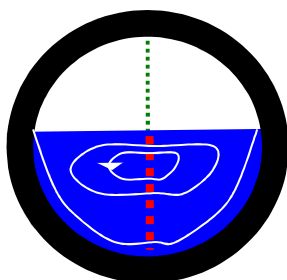
Vantagem: Preço mais reduzido

Desvantagem: Não mede baixos caudais com boa precisão



EXEMPLOS DE APLICAÇÃO

Correlação Cruzada



Radar

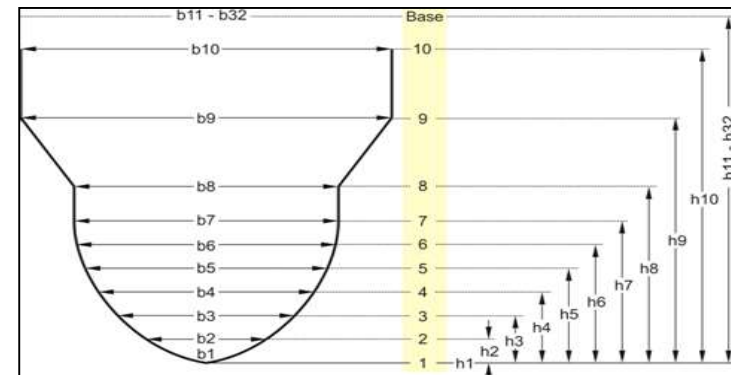


GEOMETRIA E DIMENSÕES

Parametrização da secção transversal

Dimensões

Sedimentação



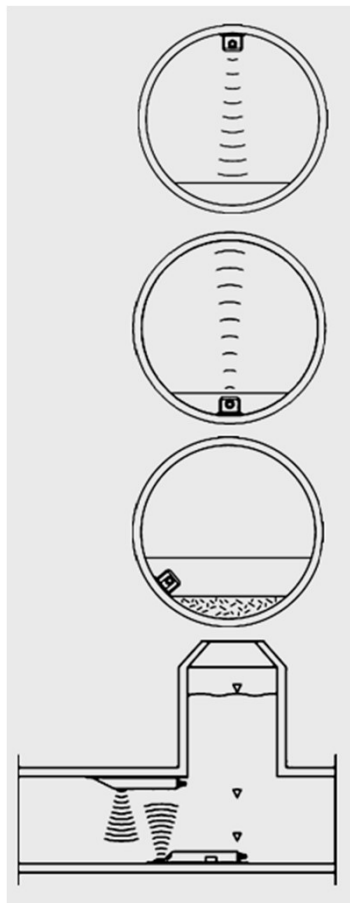
```
RUN IPAR I/O CAL EXTRA
measurement place
name
subdivide geometry
channel shape(s)
channel geometry

Qmin 0.000 l/s
|h= 0.500 m
|hb= 0.300 m
|
|---b---| sludge level
0.000 m
```

```
RUN IPAR I/O CAL EXTRA
measurement place
channel shape(s)
round pipe
3r egg
rectangular
U-profile
trapezoid
custom shape
2r egg
```


MEDIÇÃO DE CAUDAL EM SISTEMAS DE SANEAMENTO DE ÁGUAS RESIDUAIS URBANAS – TRANSDUÇÃO DE NÍVEL

Diferentes formas de medição de nível em secções parcialmente cheias:

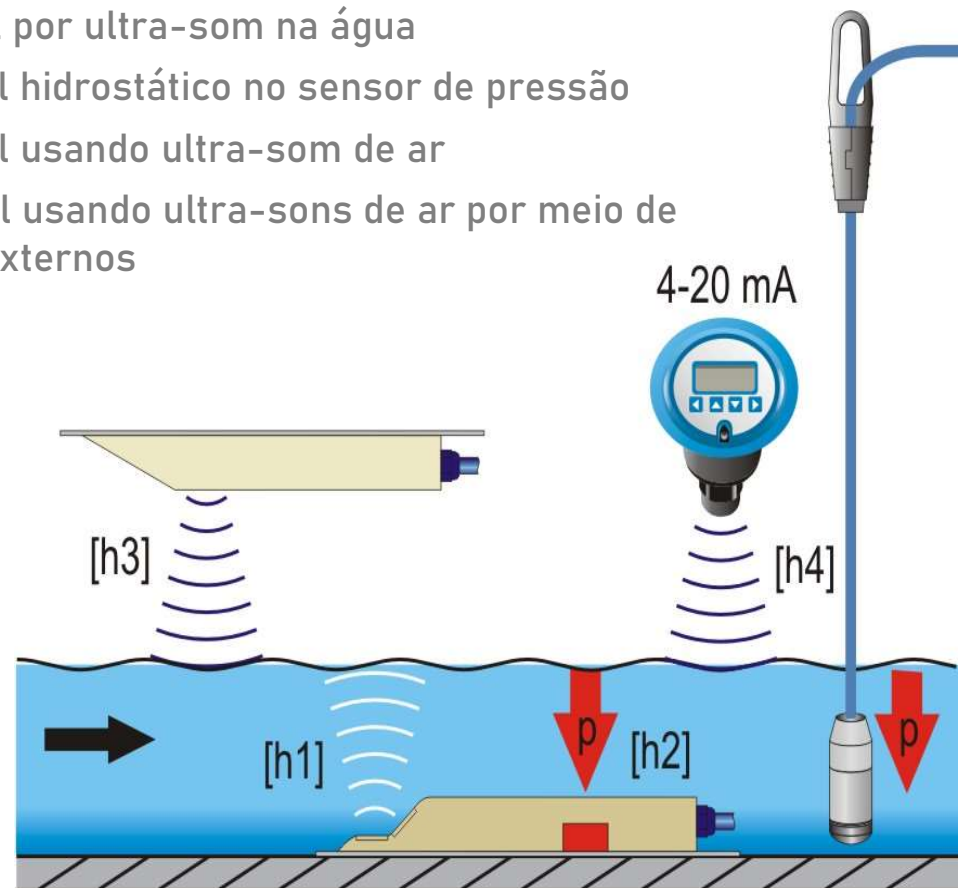


h1 mede o nível por ultra-som na água

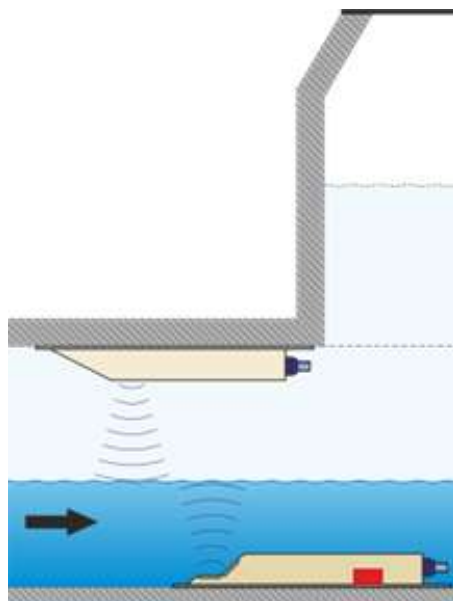
h2 mede o nível hidrostático no sensor de pressão

h3 mede o nível usando ultra-som de ar

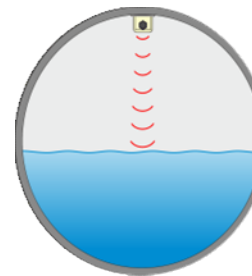
h4 mede o nível usando ultra-sons de ar por meio de instrumentos externos



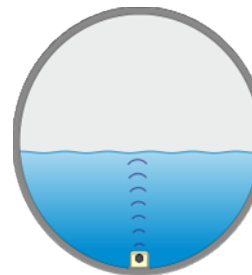
ULTRASSÔNICO POR TEMPO DE PROPAGAÇÃO



$$x = \frac{c \Delta t}{2}$$



Ultrassônico de Ar
Para pequenas alturas de escoamento

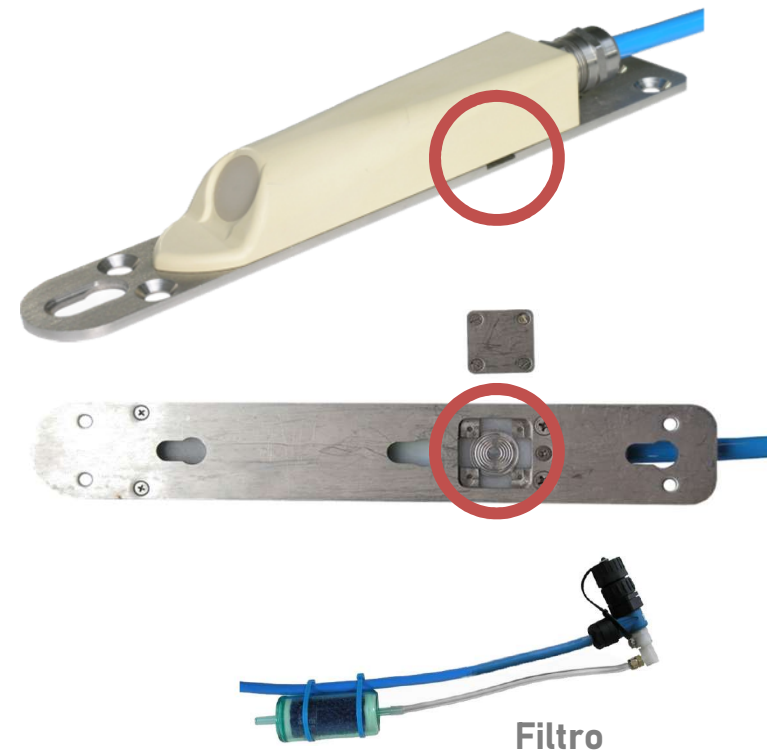
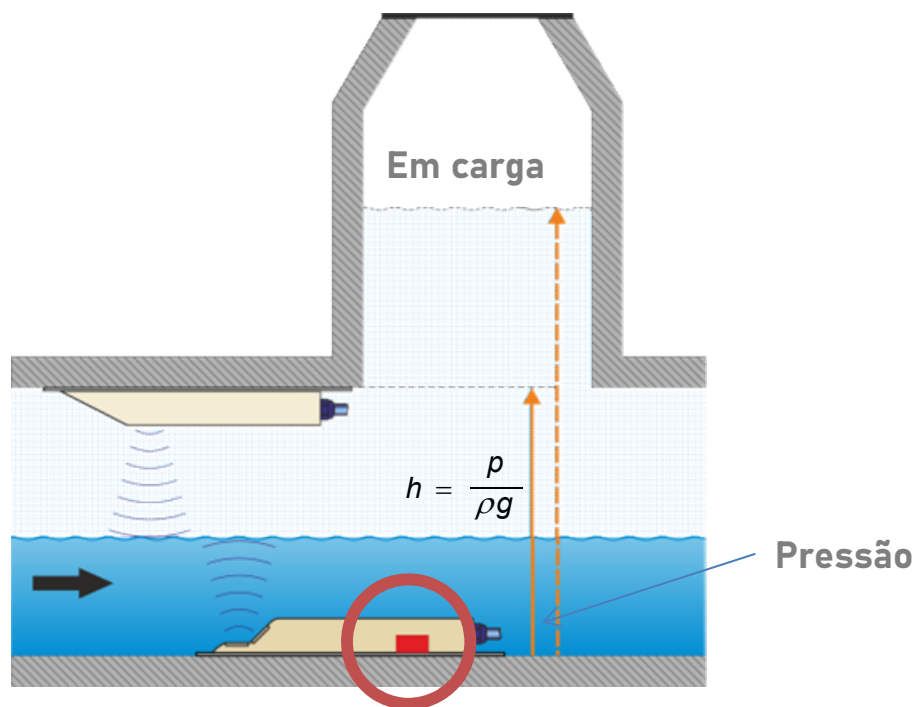


Ultrassônico na Água
para elevadas alturas de escoamento e tubagem cheia

Sensível à temperatura e à ondulação da superfície

Solução: **redundância** de sensores (feixes).

MEDIÇÃO DE PRESSÃO HIDROSTÁTICA



Transdutores de membrana

Problemas: tomada de pressão atmosférica, obstrução da membrana, deriva

UNIDADES DE CONDICIONAMENTO DE SINAL (CONVERSORES)

Alimentação, excitação, amplificação, filtragem
Processamento
Aquisição (*logging*) de dados; transmissão

Elementos: *primários* (sensores)



conversores

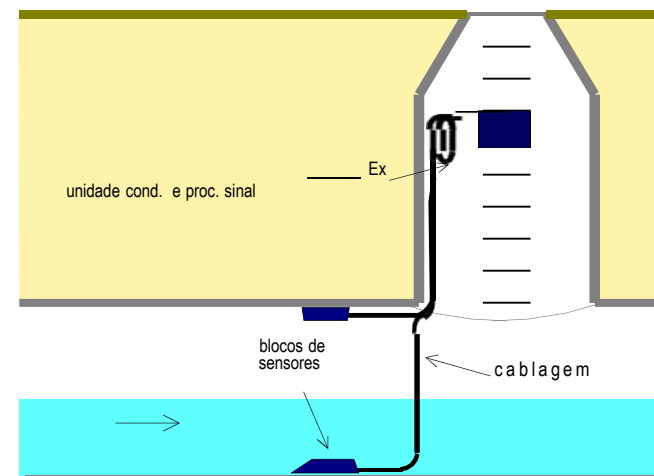
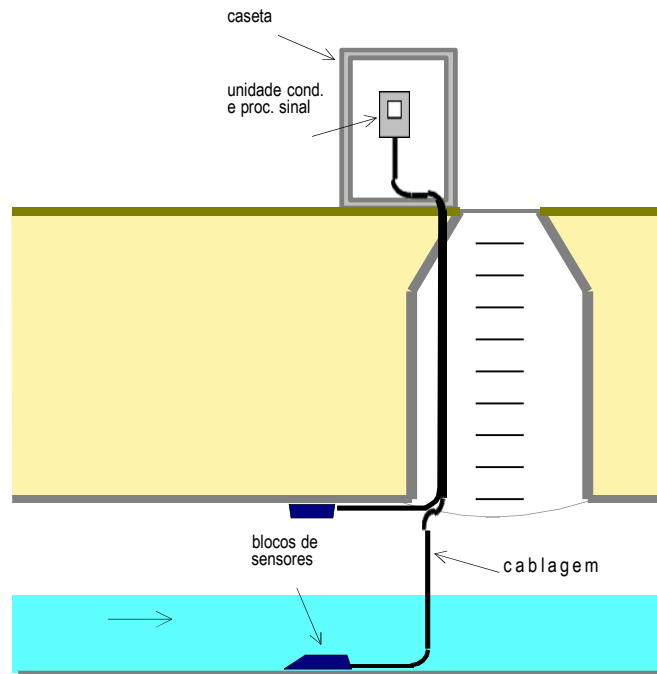


MEDIÇÃO DE CAUDAL EM SISTEMAS DE SANEAMENTO DE ÁGUAS RESIDUAIS URBANAS – UNIDADES DE CONDICIONAMENTO DE SINAL

UNIDADES DE CONDICIONAMENTO DE SINAL



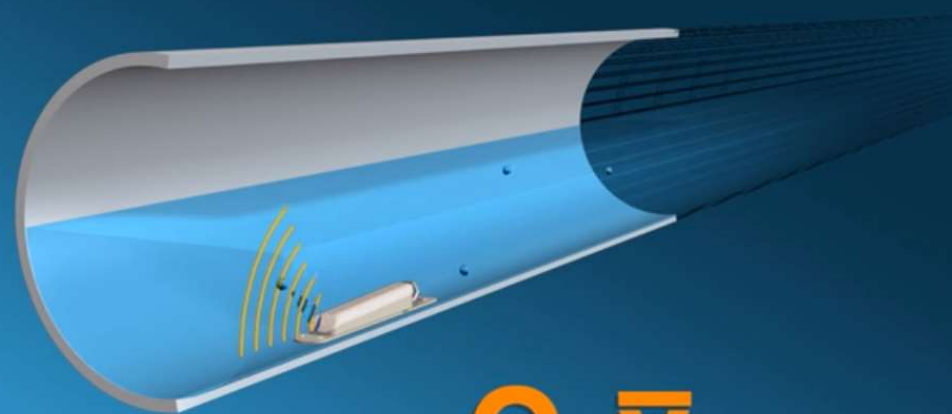
adequação ambiental
risco de explosão – Diretiva Atex



3

VÍDEO: "ULTRASONIC FLOW MEASUREMENT SYSTEMS COMPARISON"

Measuring the average flow velocity \bar{v}
using the velocity of particles



$$Q = \bar{v} \cdot A$$