



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS - UFPEL
CENTRO DE ENGENHARIAS - CENG
DISCIPLINA: SISTEMAS URBANOS DE ÁGUA

ADUTORAS

Prof. Hugo Alexandre Soares Guedes
E-mail: hugo.hydro@gmail.com
Website: wp.ufpel.edu.br/hugoguedes/

CLASSIFICAÇÃO DAS ADUTORAS

- **Quanto à natureza da água transportada**
 - Adutoras de água bruta
 - Adutoras de água tratada
- **Quanto à energia para a movimentação da água**
 - Adutora por gravidade (conduto livre ou forçado)
 - Adutora por recalque
 - Adutoras mistas

ADUTORAS POR GRAVIDADE

Conduto Forçado



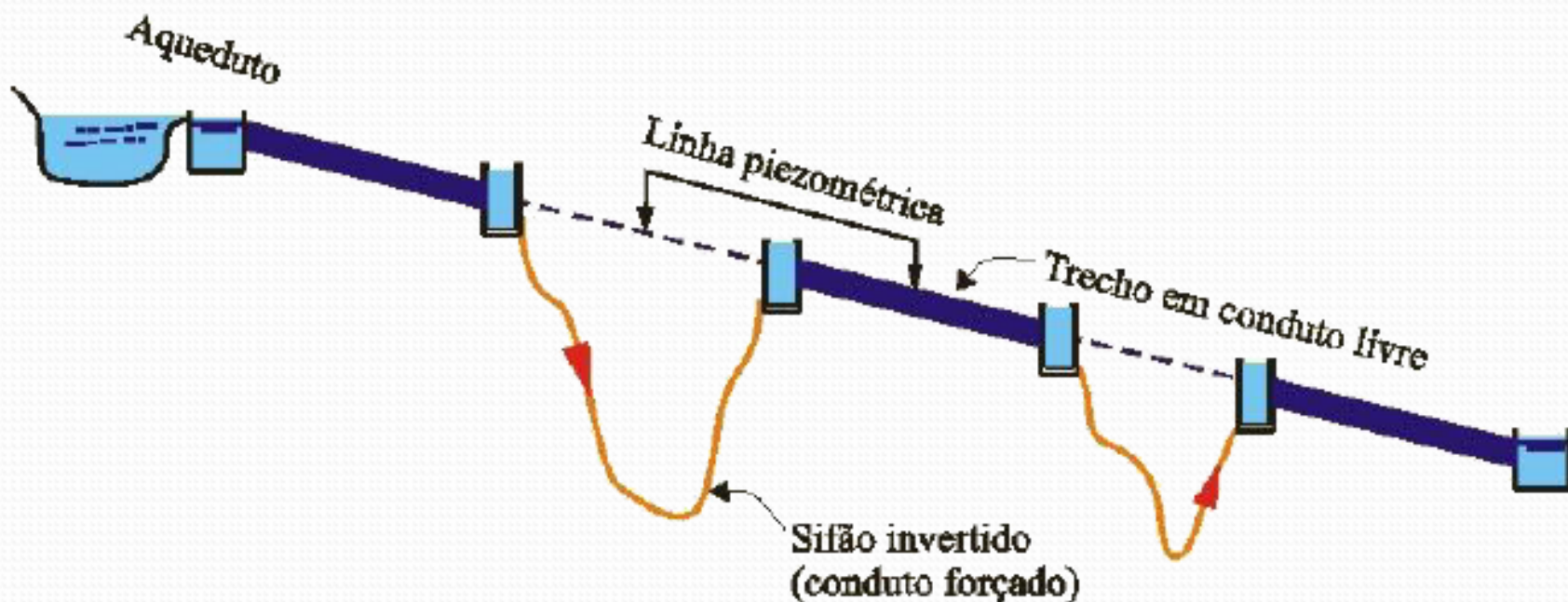
ADUTORAS POR GRAVIDADE

Conduto Livre



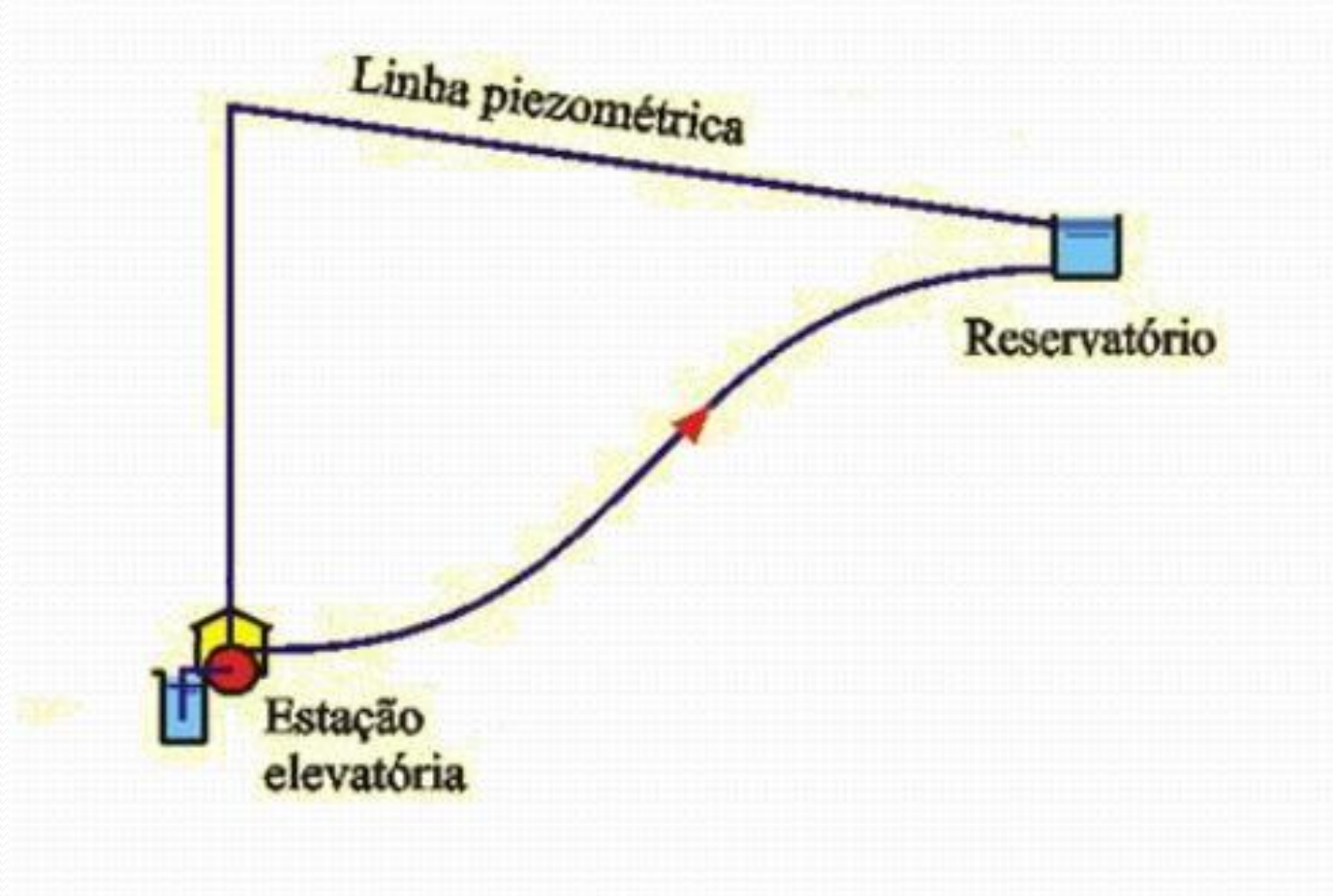
ADUTORAS POR GRAVIDADE

Trechos em Conduto Livre e Forçado



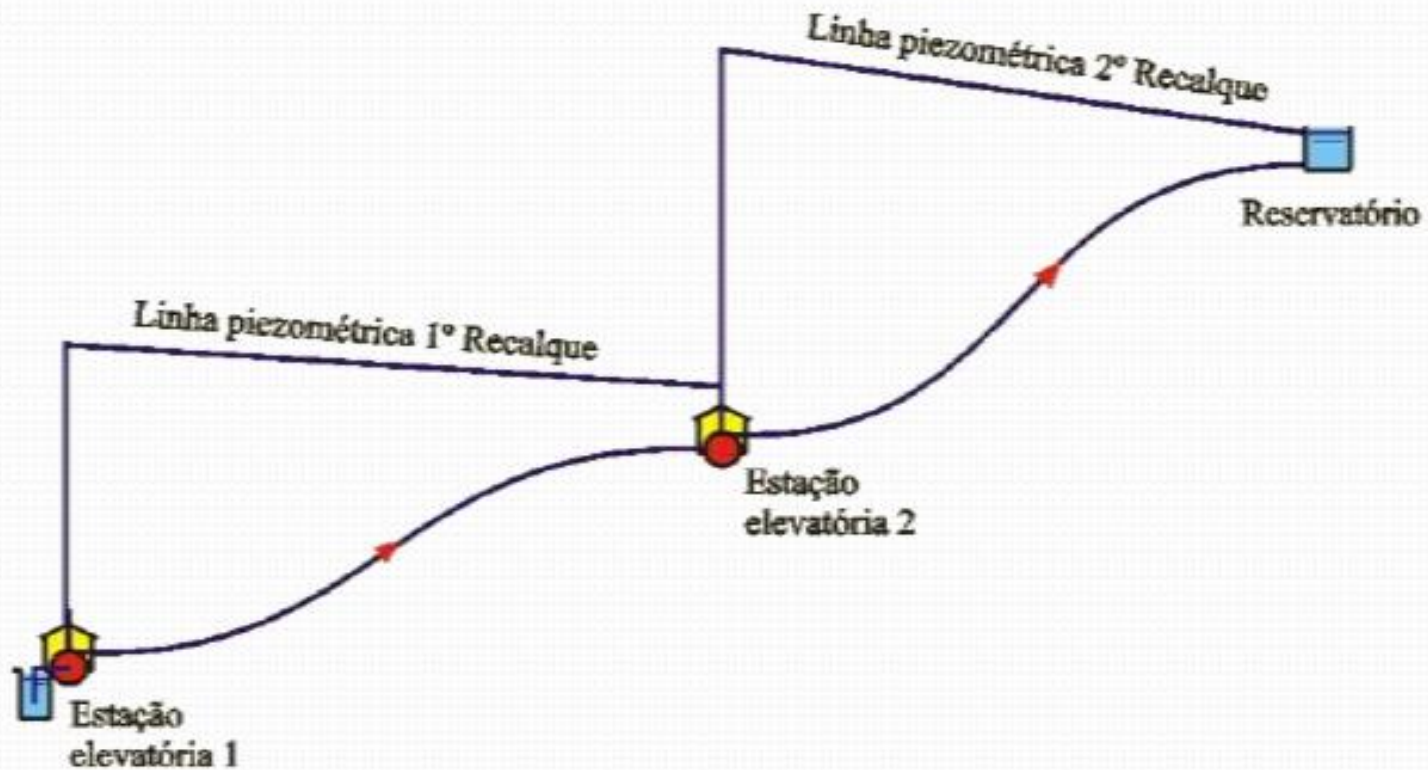
ADUTORAS POR RECALQUE

Recalque Simples



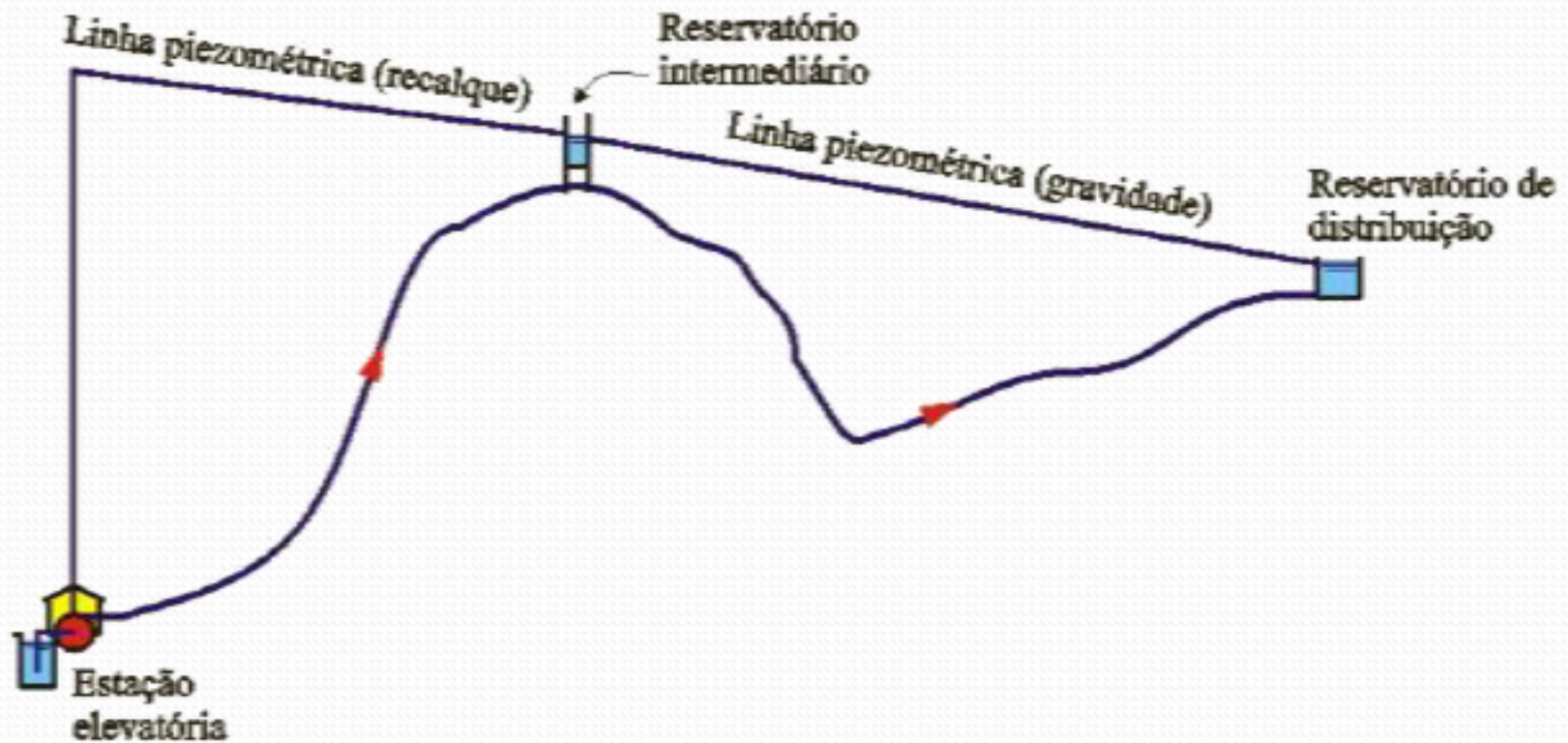
ADUTORAS POR RECALQUE

Recalque Duplo

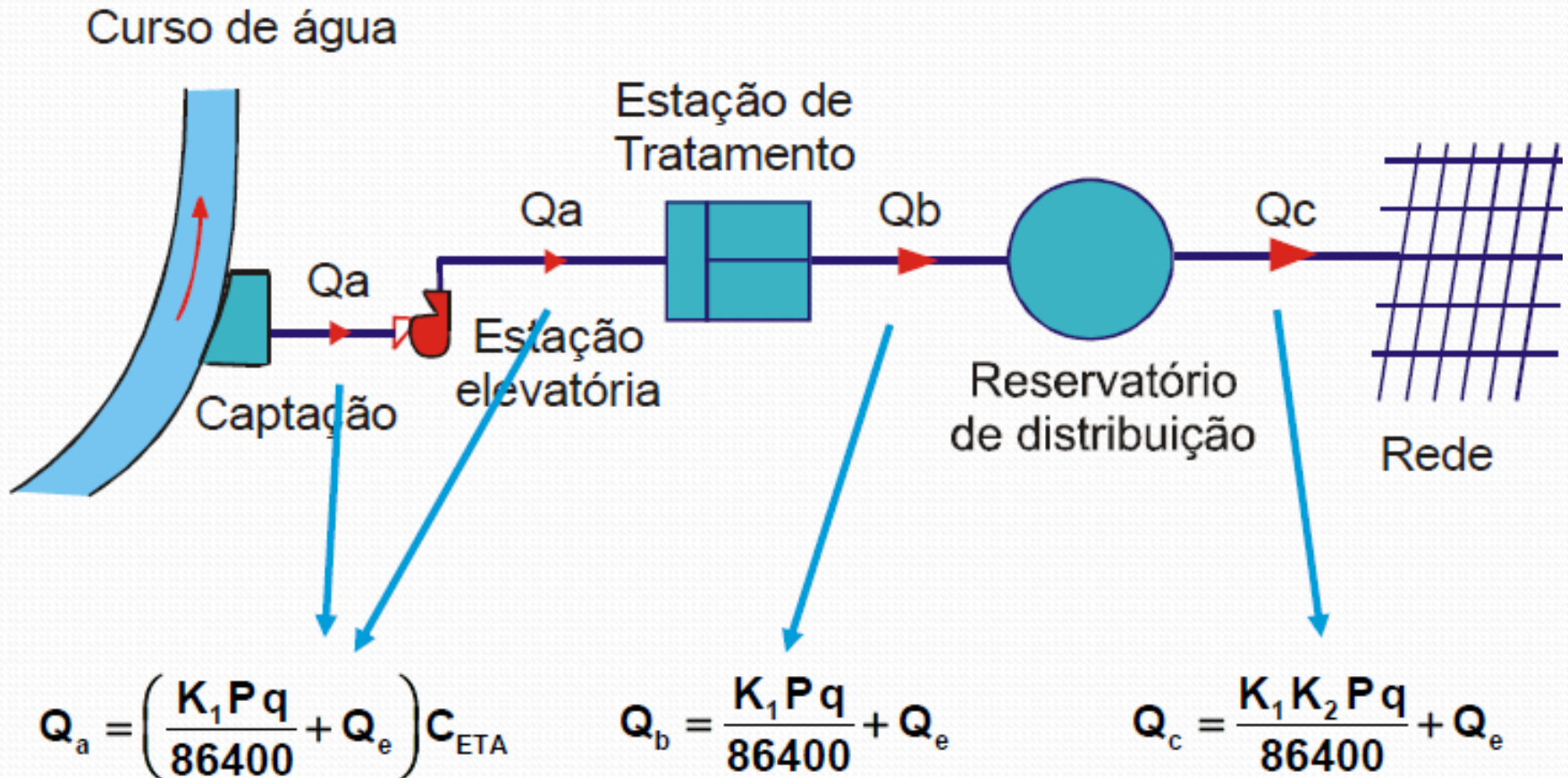


ADUTORAS MISTAS

Trechos por Recalque e por Gravidade



VAZÃO DE ADUÇÃO



$$C_{ETA} = 1/(1 - \text{Consumo})$$

PERÍODO DE FUNCIONAMENTO DA ADUÇÃO

- As vazões indicadas correspondem a adução contínua (24h/dia)
- Deverão ser maiores se o período for reduzido, por exemplo entre 16 e 20 h/dia em uma linha de recalque (adução intermitente)
- Pode haver economia com operação fora de horário de ponta do sistema elétrico – início da noite (adução intermitente)

HIDRÁULICA PARA ADUTORAS

Equação da energia entre duas seções transversais de um escoamento (Bernoulli):

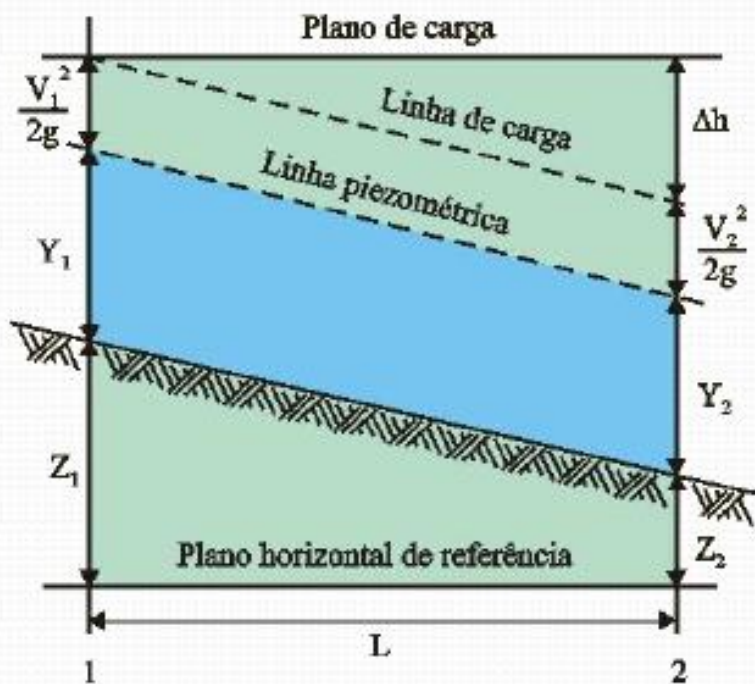
$$H_1 = \left(z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} \right) = H_2 + \Delta H = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + \Delta H$$

- z : carga de posição, cota (m)
- p/γ : carga de pressão (m)
- $V^2/2g$: carga cinética (m)
- ΔH : perda de carga (m)

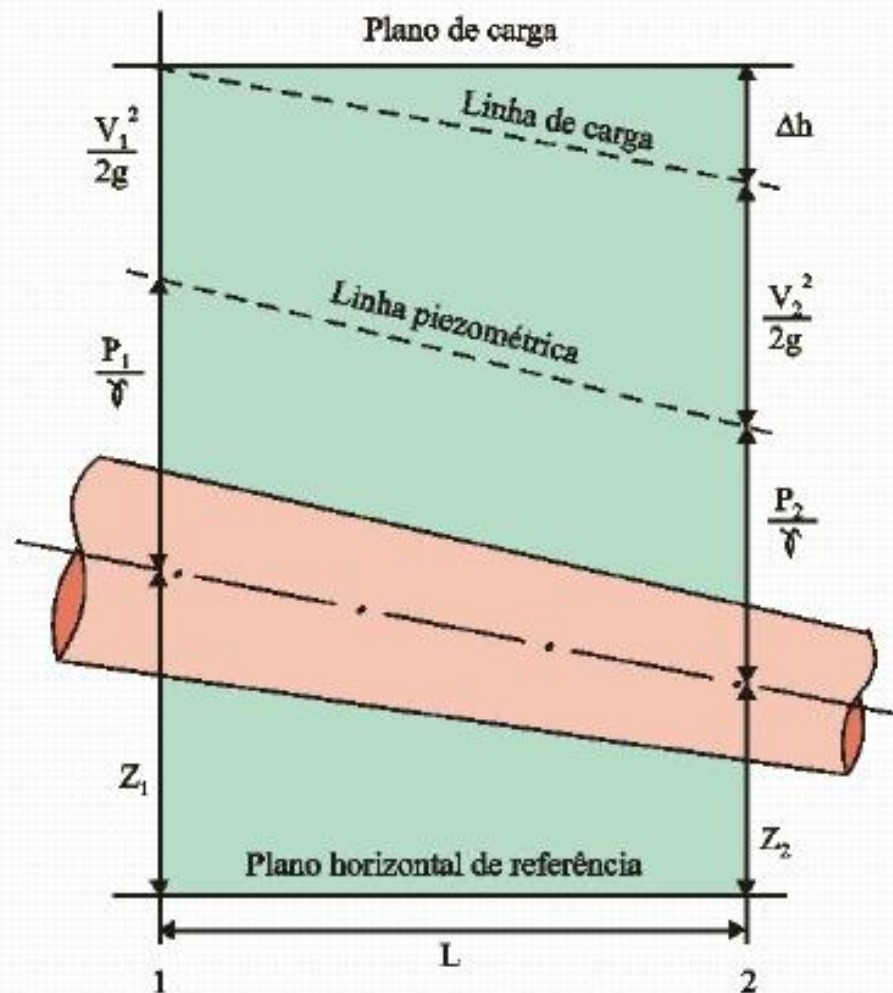
Linha piezométrica

Linha de carga ou energia

HIDRÁULICA PARA ADUTORAS



Escoamento em conduto livre



Escoamento em conduto forçado

HIDRÁULICA PARA ADUTORAS

Equação da Continuidade:

$$Q = V_1 \cdot S_1 = V_2 \cdot S_2 = \text{constante}$$

- Q: vazão (m³/s)
- V: velocidade média na seção (m/s)
- S: área da seção de escoamento (m²)

Obs: em canais pode ser necessário acrescentar as perdas por evaporação...

ESCOAMENTO EM CONDUTOS LIVRES

Equação de Manning

- Q: vazão (m³/s)
- n: coeficiente de Manning
- S: seção molhada (m²)
- R_H: raio hidráulico (m)
- I: declividade da linha de energia (m/m)

S e R_H dependem da geometria da seção e da profundidade resultante

$$Q = \frac{1}{n} S \cdot R_H^{2/3} \sqrt{I}$$

$$R_H = \frac{\text{Seção molhada}}{\text{Perímetro molhado}}$$

Valores do coeficiente n de Manning

Material dos condutos	n de Manning
Cerâmico	0,013
Concreto	0,013
PVC	0,010
Ferro fundido com revestimento	0,012
Ferro fundido sem revestimento	0,013
Cimento amianto	0,011
Aço soldado	0,011

California Aqueduct (State Water Project)

Dos Amigos Pumping Plant (36 m x 437 m², 715 km)



DOS AMIGOS
PUMPING PLANT
CALIFORNIA AQUEDUCT
SAN LUIS 12840



ESCOAMENTO EM CONDUTOS FORÇADOS

Equação de Hazen-Willians

- Escoamento com água à temperatura ambiente
- Tubulações com diâmetro maior ou igual a 50 mm
- Escoamento turbulento

$$V = 0,355 C D^{0,63} J^{0,54}$$

$$Q = 0,2788 C D^{2,63} J^{0,54}$$

$$h_f = 10,646 \frac{L}{D^{4,87}} \left(\frac{Q}{C} \right)^{1,852}$$

- C = coeficiente que depende da natureza (material e estado de conservação) das paredes do tubo.

Coeficiente de Hazen-Williams

Valor do coeficiente **C** para a fórmula de Hazen-Williams

TUBOS	NOVOS	USADOS ± 10 ANOS	USADOS ± 20 ANOS
Aço corrugado (chapa ondulada)	60	-	-
Aço galvanizado roscado	125	100	-
Aço rebitado, novos	110	90	80
Aço soldado, comum (revestimento betuminoso)	125	110	90
Aço soldado com revestimento epóxico	140	130	115
Chumbo	130	120	120
Cimento-amianto	140	130	120
Cobre	140	135	130
Concreto, bom acabamento	130	-	-
Concreto acabamento comum	130	120	110
Ferro fundido, revestimento epóxico	140	130	120
Ferro fundido, revestimento de argamassa de cimento	130	120	105
Grés cerâmico, vidrado (manilhas)	110	110	110
Latão	130	130	130
Madeira, em aduelas	120	120	110
Tijolos, condutos bem executados	100	95	90
Vidro	140	-	-
Plástico (PVC)	140	135	130

ESCOAMENTO EM CONDUTOS FORÇADOS

Fórmula Universal

- Válida para qualquer tipo de fluido
- Válida para qualquer regime de escoamento.

$$h_f = \frac{8 f L Q^2}{\pi^2 g D^5}$$

h_f = perda de carga contínua (m);

f = fator de atrito;

L = Comprimento da tubulação (m);

Q = vazão escoada (m^3s^{-1});

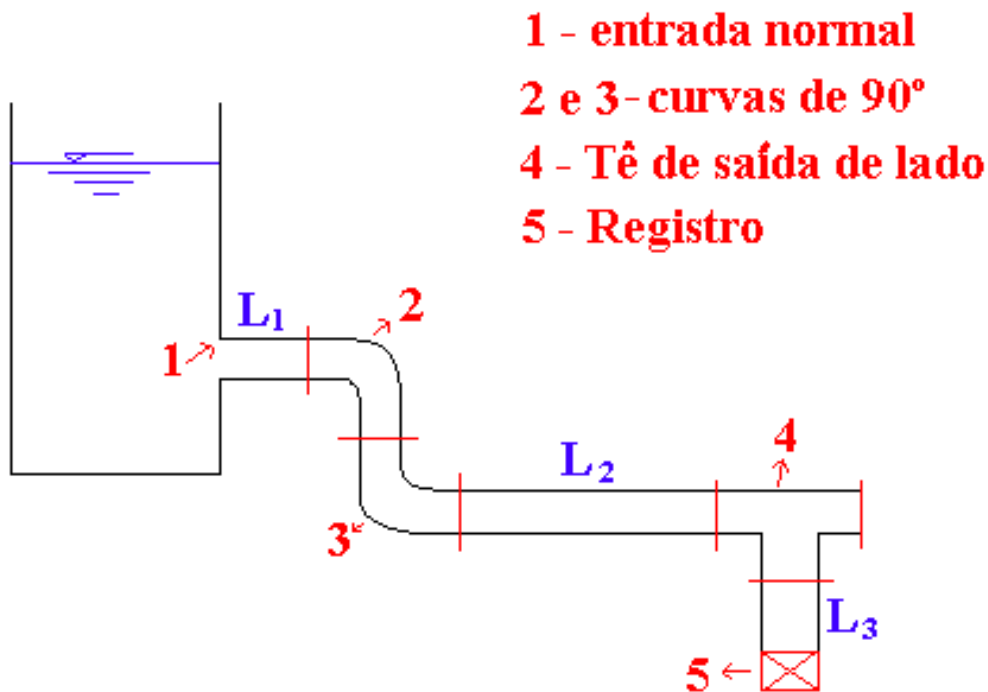
D = Diâmetro da tubulação (m).

ESCOAMENTO EM CONDUTOS FORÇADOS

Perdas localizadas


















Método dos Comprimentos Virtuais ou Equivalentes

- Adicionar à canalização existente, apenas para efeito de cálculo da perda de carga, comprimentos de tubos (de mesmo D) que causariam a mesma perda de carga da peça especial



$$L_v = L + L_f$$

Tabela 7.6 – Comprimentos equivalentes a perdas localizadas. (Expressos em metros de canalização retilínea)*

Diâmetro <i>D</i>		COTOVELO 90° RAIO LONGO	COTOVELO 90° RAIO MÉDIO	COTOVELO 90° RAIO CURTO	COTOVELO 45°	CURVA 90° R/D - 1 1/2"	CURVA 90° R/D - 1"	CURVA 45°	ENTRADA NORMAL	ENTRADA DE BORDA	VÁLVULA DE GAVETA ABERTO	VÁLVULA DE GLOBO ABERTO	VÁLVULA DE ÂNGULO ABERTO	TÊ PASSAGEM DIRETA	TÊ SAÍDA DE LADO	TÊ SAÍDA LATERAL	VÁLVULA DE PÉ E CRIVO	SAÍDA DA CANALIZAÇÃO	VÁLVULA DE RETENÇÃO TIPO LEVE	VÁLVULA DE RETENÇÃO TIPO PESADO
mm	pol																			
13	1/2	0,3	0,4	0,5	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,4	0,1	4,9	2,6	0,3	1,0	1,0	3,6	0,4	1,1	1,6
19	3/4	0,4	0,6	0,7	0,3	0,3	0,4	0,2	0,2	0,5	0,1	6,7	3,6	0,4	1,4	1,4	5,6	0,5	1,6	2,4
25	1	0,5	0,7	0,8	0,4	0,3	0,5	0,2	0,3	0,7	0,2	8,2	4,6	0,5	1,7	1,7	7,3	0,7	2,1	3,2
32	1 1/4	0,7	0,9	1,1	0,5	0,4	0,6	0,3	0,4	0,9	0,2	11,3	5,6	0,7	2,3	2,3	10,0	0,9	2,7	4,0
38	1 1/2	0,9	1,1	1,3	0,6	0,5	0,7	0,3	0,5	1,0	0,3	13,4	6,7	0,9	2,8	2,8	11,6	1,0	3,2	4,8
50	2	1,1	1,4	1,7	0,8	0,6	0,9	0,4	0,7	1,5	0,4	17,4	8,5	1,1	3,5	3,5	14,0	1,5	4,2	6,4
63	2 1/2	1,3	1,7	2,0	0,9	0,8	1,0	0,5	0,9	1,9	0,4	21,0	10,0	1,3	4,3	4,3	17,0	1,9	5,2	8,1
75	3	1,6	2,1	2,5	1,2	1,0	1,3	0,6	1,1	2,2	0,5	26,0	13,0	1,6	5,2	5,2	20,0	2,2	6,3	9,7
100	4	2,1	2,8	3,4	1,5	1,3	1,6	0,7	1,6	3,2	0,7	34,0	17,0	2,1	6,7	6,7	23,0	3,2	6,4	12,9
125	5	2,7	3,7	4,2	1,9	1,6	2,1	0,9	2,0	4,0	0,9	43,0	21,0	2,7	8,4	8,4	30,0	4,0	10,4	16,1
150	6	3,4	4,3	4,9	2,3	1,9	2,5	1,1	2,5	5,0	1,1	51,0	26,0	3,4	10,0	10,0	39,0	5,0	12,5	19,3
200	8	4,3	5,5	6,4	3,0	2,4	3,3	1,5	3,5	6,0	1,4	67,0	34,0	4,3	13,0	13,0	52,0	6,0	16,0	25,0
250	10	5,5	6,7	7,9	3,8	3,0	4,1	1,8	4,5	7,5	1,7	85,0	43,0	5,5	16,0	16,0	65,0	7,5	20,0	32,0
300	12	6,1	7,9	9,5	4,6	3,6	4,8	2,2	5,5	9,0	2,1	102,0	51,0	6,1	19,0	19,0	78,0	9,0	24,0	38,0
350	14	7,3	9,5	10,5	5,3	4,4	5,4	2,5	6,2	11,0	2,4	120,0	60,0	7,3	22,0	22,0	90,0	11,0	28,0	45,0

* Os valores indicados para válvulas de globo aplicam-se também às torneiras, válvulas para chuveiros e válvulas de descarga

ESCOAMENTO EM CONDUTOS FORÇADOS

Perdas localizadas

b) Método dos Diâmetros Equivalentes

- Peças especiais são transformadas em um nº de diâmetros da canalização existente

$$L_f = n D$$

n = número de diâmetros (Tabelado)

$$L_v = L + L_f$$

TRAÇADO DA ADUTORA

Deverá ser levado em consideração os seguintes tópicos para o traçado da adutora:

- Presença de vias e terrenos públicos, áreas de preservação ambiental;
- Topografia;
- Tipo de solo: rochas, várzeas etc.;
- Interferências e travessias (de rodovias, ferrovias, rios etc.);
- Material da tubulação, ventosas, descargas, blocos de ancoragem, proteção contra corrosão etc.;

TRAÇADO DA ADUTORA

Recomendações de projeto

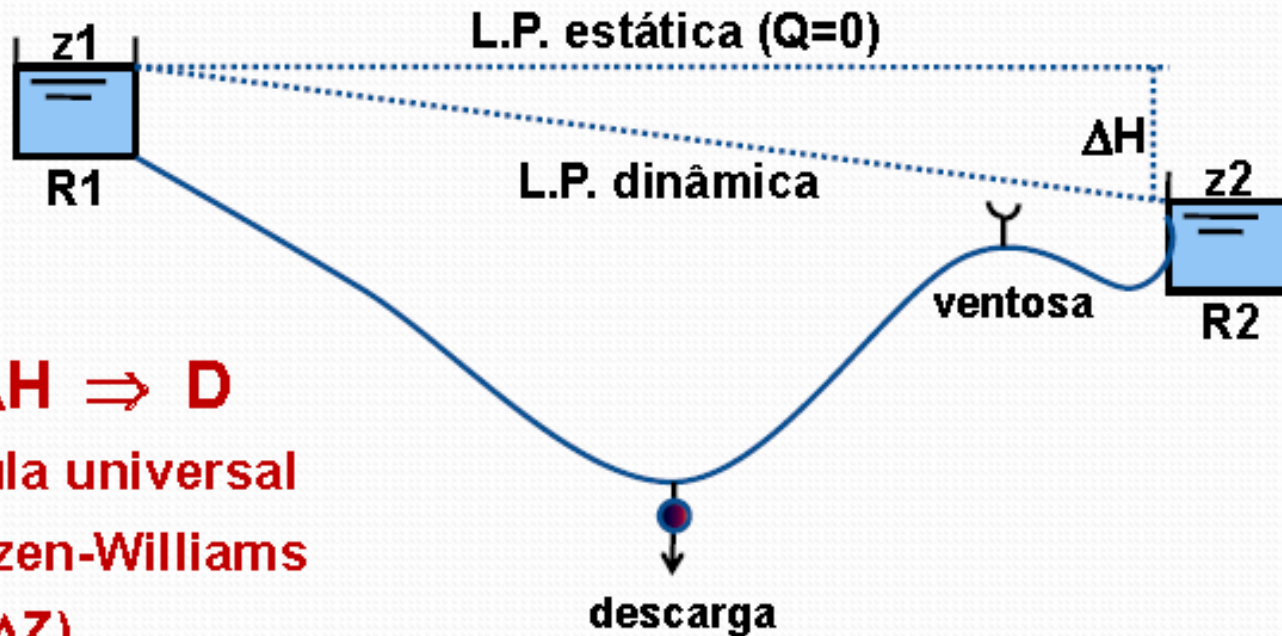
- São favoráveis traçados que apresentem trechos ascendentes longos com pequena declividade ($< 0,2\%$), seguido de trechos descendentes curtos com maior declividade ($> 0,3\%$).
- Quando a inclinação do conduto for superior a 25%, há necessidade de se utilizar blocos de ancoragem para estabilidade do conduto (varia com material e tipo de junta).
- A linha piezométrica da adutora em regime permanente deve situar-se, em quaisquer condições de operação, sempre acima da geratriz superior do conduto.

TRAÇADO DA ADUTORA

Faixas de servidão ou desapropriação

Diâmetro da tubulação (mm)	Largura da faixa (m)
Até 400	2,00
Acima de 400 até 800	3,00
Acima de 800 até 1.500	4,00
Acima de 1.500	Estudar cada caso

DIMENSIONAMENTO DE ADUTORAS por Gravidade em Conduto Forçado



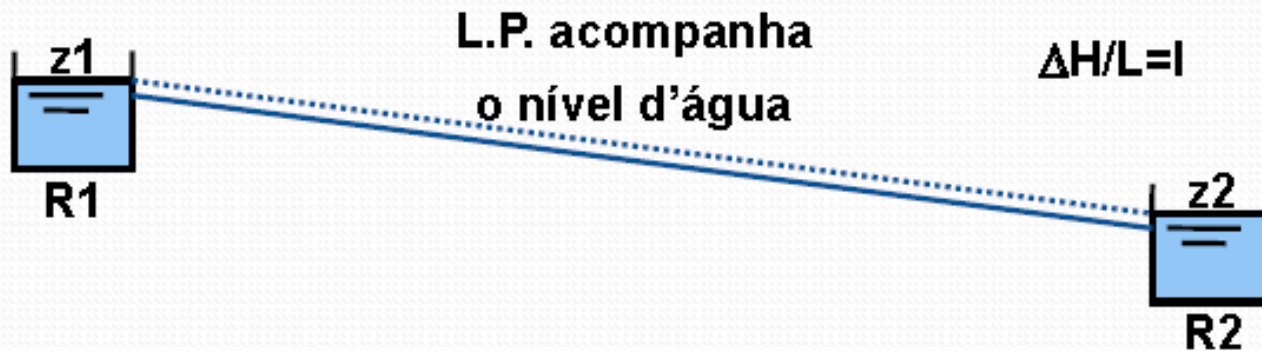
$Q, L, \Delta H \Rightarrow D$

**Fórmula universal
ou Hazen-Williams
($\Delta H = \Delta Z$)**

Obs1: as L.P. acima são efetivas, descontada p_{atm}/γ

Obs2: quando a velocidade é baixa, a L.P. se confunde com a L.C.

DIMENSIONAMENTO DE ADUTORAS por Gravidade em Conduto Livre



$Q, L, \Delta H \Rightarrow$
seção do canal pela
equação de Manning

Considerar remanso
se houver variações

DIMENSIONAMENTO DE ADUTORAS

Velocidade mínima nas adutoras

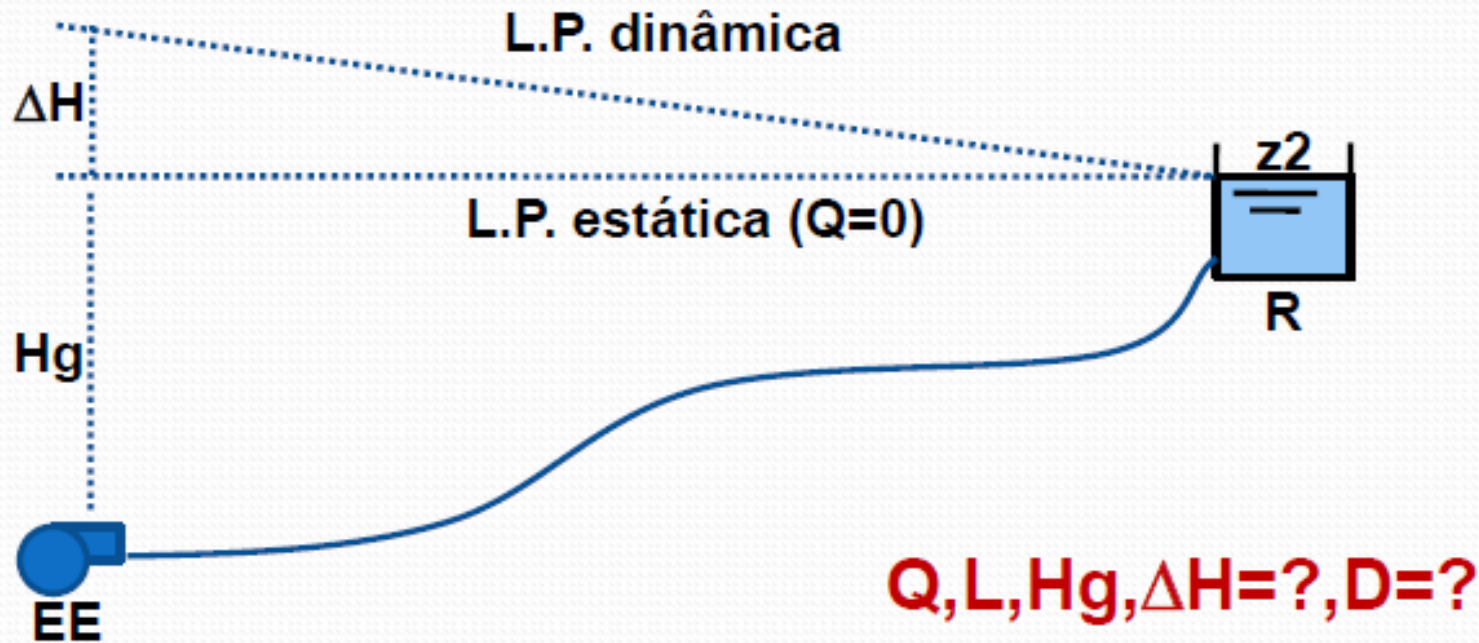
Qualidade da água	Velocidade mínima (m/s)
Águas com suspensões finas	0,30
Águas com areias finas	0,45
Águas com matéria orgânica	0,60

Velocidades máximas em conduto livre

Material	Velocidade máxima (m/s)
Alvenaria de tijolos	2,5
Rochas estratificadas	2,5
Rochas compactas	4,0
Concreto	5,0

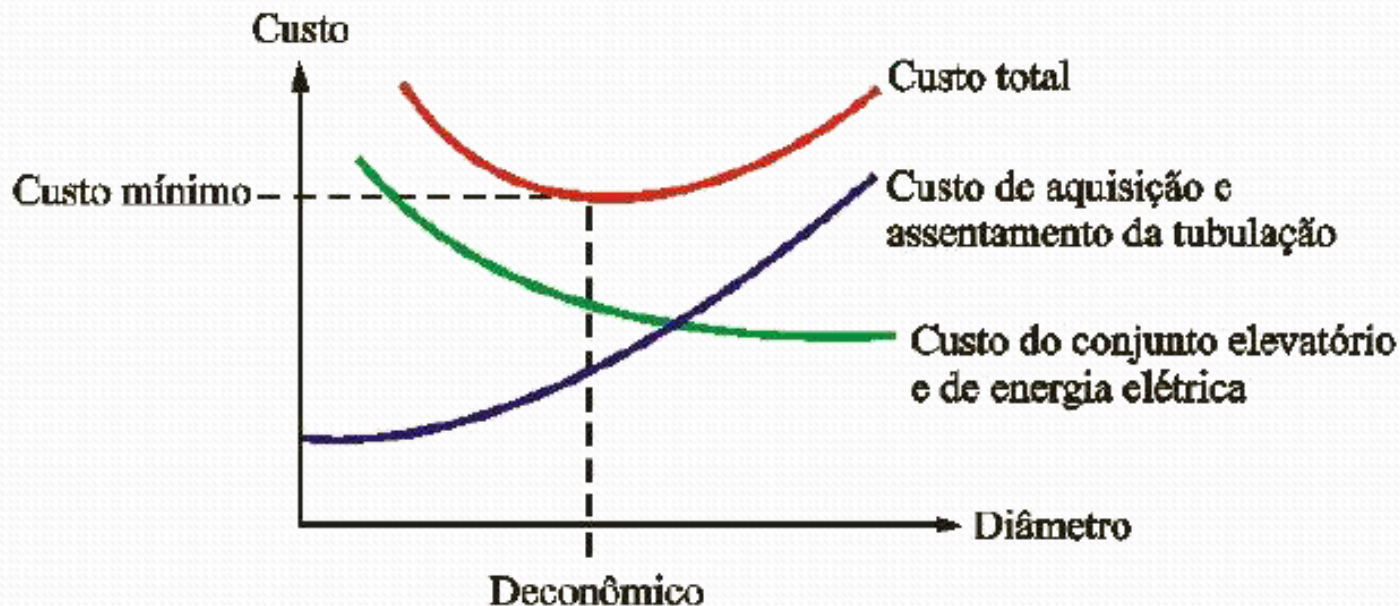
**Velocidades máximas
em condutos forçados:
3,0 a 6,0 m/s**

DIMENSIONAMENTO DE ADUTORAS por Recalque



DIMENSIONAMENTO DE ADUTORAS por Recalque

- O diâmetro é hidráulicamente indeterminado
- Depende de aspectos econômico-financeiros:



DIMENSIONAMENTO DE ADUTORAS por Recalque

Pré-dimensionamento pela “fórmula de Bresse”:

Funcionamento contínuo (24 h/dia)

$$D_R = K \sqrt{Q}$$

em que:

D_R - Diâmetro da tubulação de recalque (m);

Q - Vazão (m³/s);

K - Coeficiente econômico (varia de 0,8 a 1,3).

DIMENSIONAMENTO DE ADUTORAS por Recalque

QUADRO 11.3 — Fórmula de Bresse. $D = K \sqrt{Q}$
Diâmetro econômico das canalizações de recalque (funcionamento contínuo)

D mm	Q em ℓ/s			
	K = 1,0	K = 1,2	K = 1,3	K = 1,5
50	2,5	1,7	1,5	1,1
75	5,6	3,9	3,3	2,5
100	10	6,9	5,9	4,4
150	22,5	17,4	13,3	10
200	40	27,8	23,6	17,8
250	63	43	37	28
300	90	64	53	40
350	123	85	73	54
400	160	111	95	70
450	203	141	12	90
500	250	174	150	100
550	303	210	180	134
600	360	250	213	160

*Fonte: Manual de Hidráulica, Azevedo Netto, 2010.

DIMENSIONAMENTO DE ADUTORAS por Recalque

Recomendações para o estudo do diâmetro econômico da adutora:

- Pré-dimensionamento do diâmetro (**faixa de velocidades**) e avaliação de alternativas considerando a vazão de projeto, o comprimento da adutora, o desnível geométrico e o material da tubulação.
- Análise econômica através do critério do valor presente.
- Consideração de todos os custos não comuns: tubulação, montagem, escavação e reaterro, equipamentos, energia elétrica.
- As obras e custos comuns não necessitam ser considerados

DIMENSIONAMENTO DE ADUTORAS

Velocidades econômicas

- Sucção: $V_S < 1,5 \text{ m/s}$ (no máximo 2,0 m/s)
- Recalque: $V_R < 2,5 \text{ m/s}$ (no máximo 3,0 m/s)

$$V_S = 1,0 \text{ m/s} \quad \text{e} \quad V_R = 2,0 \text{ m/s}$$

DIMENSIONAMENTO DE ADUTORAS

Tubulação de Sucção

Velocidade máxima de sucção

Diâmetro nominal (DN)	Velocidade (m/s)
50	0,70
75	0,80
100	0,90
150	1,00
200	1,10
250	1,20
300	1,40
≥ 400	1,50

Nota: Para bombas afogadas, as velocidades podem ser excedidas, desde que devidamente justificado.

Velocidade mínima de sucção

Tipo de material transportado	Velocidade (m/s)
Matéria orgânica	0,30
Suspensões siltsas	0,30
Suspensões arenosas	0,45

MATERIAIS DAS ADUTORAS

Aspectos que devem ser consideradas na escolha:

- Não interferir nas propriedades físicas e químicas da água
- Alteração da rugosidade com o tempo (ex. incrustação)
- Estanqueidade
- Resistência química e mecânica
- Resistência a pressão da água (estática, dinâmica e transitórios)
- Economia (custo da tubulação, instalação, aspectos construtivos, necessidade de proteção a corrosão, manutenção etc.)

PRINCIPAIS MATERIAIS DAS TUBULAÇÕES

Materiais metálicos:

- Aço
- Ferro Fundido Dúctil

Materiais não metálicos:

- Polietileno de Alta Densidade e Polipropileno (PE e PP)
- PVC
- Poliéster Reforçado com Fibra de Vidro (PRFV)

Vantagens:

- Alta resistência às pressões internas e externas
- Estanqueidade (com junta soldada)
- Vários diâmetros e tipos de juntas
- Competitivo principalmente em maiores diâmetros e pressões

TUBULAÇÃO DE AÇO



Desvantagens:

- Pouca resistência à corrosão externa
- Precauções para transporte e armazenamento
- Cuidados com a dilatação térmica
- Dimensionamento das paredes dos tubos quanto ao colapso

TUBULAÇÃO DE AÇO



TUBULAÇÃO DE AÇO

• Tipos de juntas

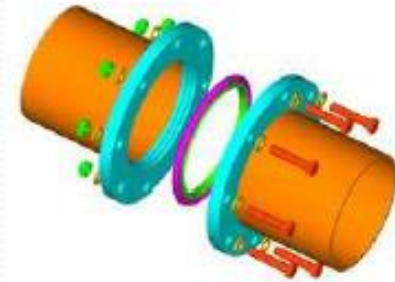
— Soldada

— Flangeada

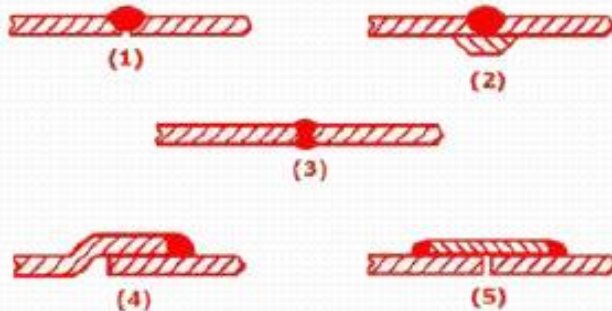
— Elástica



Junta flangeada

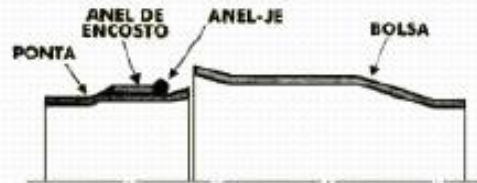


Junta soldada



- (1) Junta soldada nas extremidades
- (2) Junta soldada nas extremidades com anel
- (3) Junta com solda dupla nas extremidades
- (4) Junta com solda tipo copo
- (5) Junta com solda nas duas extremidades

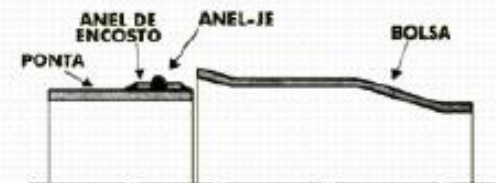
Junta elástica



ANTES da MONTAGEM



APÓS a MONTAGEM



ANTES da MONTAGEM



APÓS a MONTAGEM

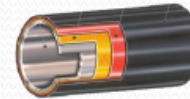
TUBULAÇÃO DE AÇO

Revestimentos externos

— FBE (Fusion Bonded *Epoxy*)



— Polietileno tripla camada



— Poliuretano tar

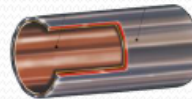


— Primer epoxy com alumínio fenólico



Revestimento interno

— Coaltar epoxy



Revestimentos para tubulações e peças especiais de aço

Tubulação Peças especiais	Revestimento externo	Revestimento interno
Tubulação aérea	Primer epoxy com alumínio fenólico	Coaltar epoxy
Tubulação enterrada	FBE, polietileno tripla camada, poliuretano	Coaltar epoxy
Peças especiais	Poliuretano tar	Coaltar epoxy

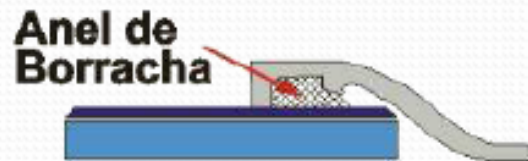
TUBULAÇÃO DE FERRO FUNDIDO DÚCTIL

- Diâmetros: 16 opções de 50 a 1200 mm
- Comprimento: 6 a 8 metros
- Classes: K-9, K-7 e 1 MPa
- Revestimento interno com argamassa de cimento
- Revestimento externo com zinco e pintura betuminosa

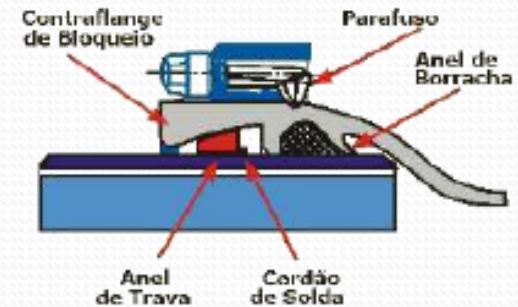


TUBULAÇÃO DE FERRO FUNDIDO DÚCTIL

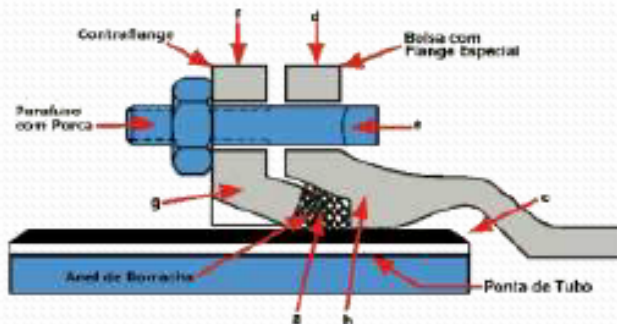
Detalhes das juntas de tubulações de ferro fundido dúctil



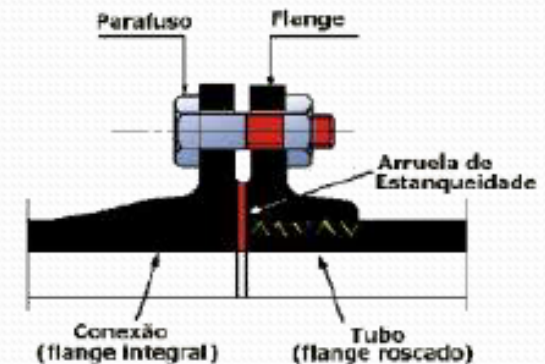
Junta elástica



Junta elástica travada



Junta mecânica



Junta de flange

TUBULAÇÃO DE FERRO FUNDIDO DÚCTIL

Junta travada interna
DN 80 ao 300

K7 PSA de 1,6 a 1,0 MPa
K9 PSA de 2,5 a 1,6 MPa

Junta travada externa
DN 300 ao 1200

K9 PSA de 3,7 a 1,4 MPa



Fonte: ASFAMAS (2008)

TUBULAÇÃO DE POLIETILENO

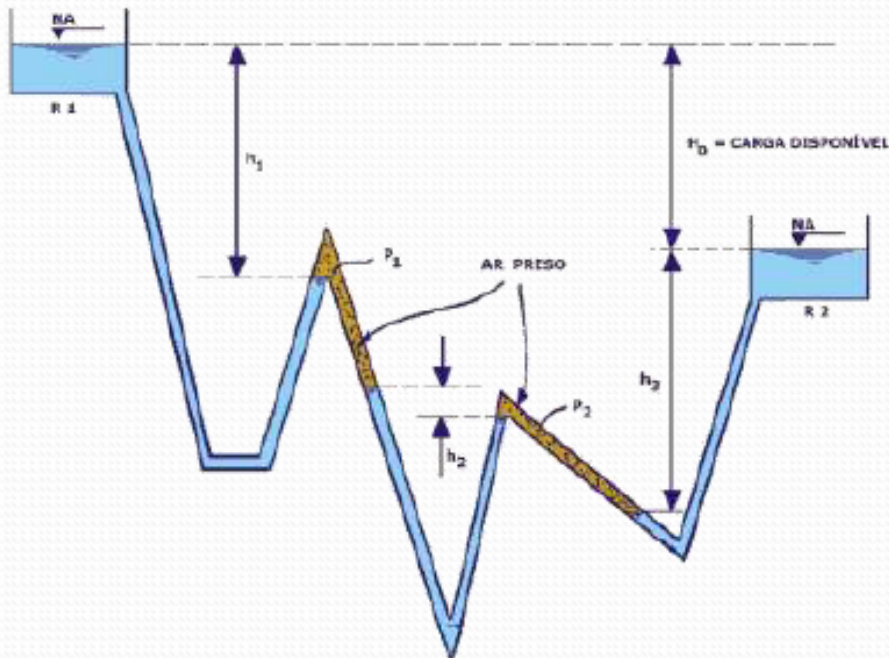
- Diâmetros: 30 opções de 20 a 1600 mm
- Comprimento: limitado pelo transporte, até centena de metros sem juntas (emissários submarinos)
- Classes: 8 opções de 32 a 250 mca
- Sem revestimento interno ou externo
- Leve e flexível
- Estanqueidade
- Resistência química
- Resistência à abrasão
- Menor rugosidade
- Baixa celeridade (transitórios)



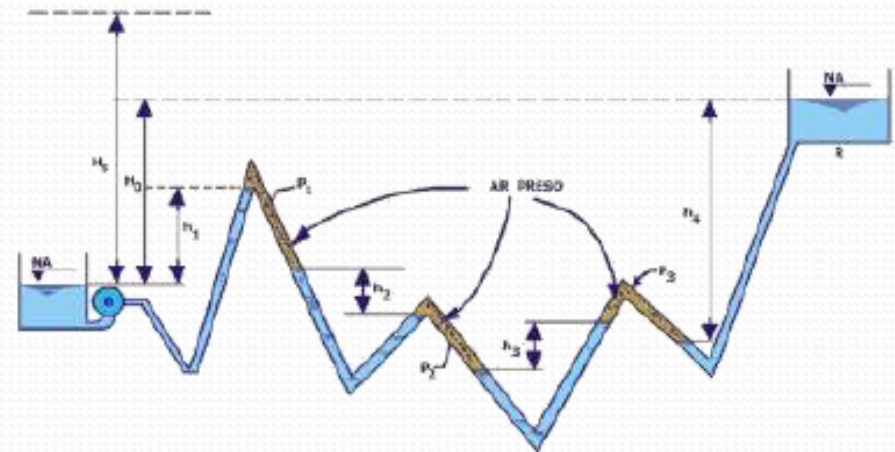
BLOQUEIO DE ADUTORAS

Consiste na paralisação do escoamento, ocasionada pela existência/entrada de ar confinado nos pontos altos de adutora

Bloqueio da adutora por gravidade



Bloqueio da adutora por recalque

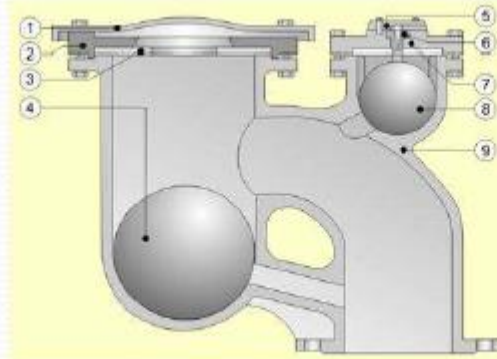


DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO DAS ADUTORAS

- **Eliminação e admissão de ar**
 - **Proteção contra corrosão**
- **Proteção contra os transitórios hidráulicos**

VENTOSA EM ADUTORAS

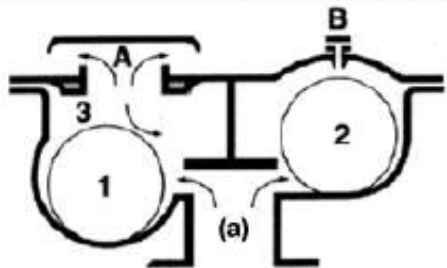
Eliminação e admissão de ar



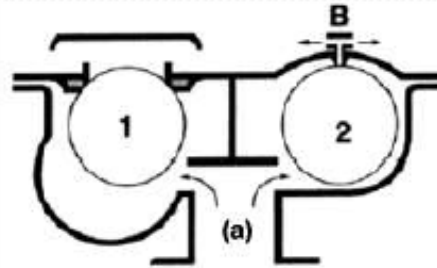
Componentes
1 - Sobretampa
2 - Tampa principal
3 - Vedação
4 - Flutuador
5 - Tampa
6 - Respiro
7 - Tampa
8 - Flutuador
9 - Corpo

Fonte: ALEM SOBRINHO & CONTRERA (2016)

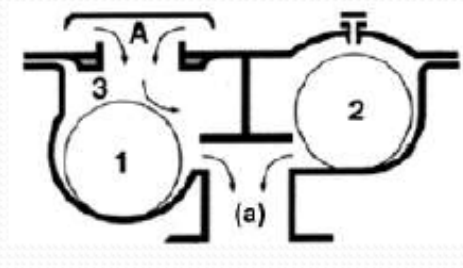
Enchimento da Adutora



Operação Normal



Esvaziamento da Adutora



BLOCOS DE ANCORAGEM



Fonte: ALEM SOBRINHO & CONTRERA (2016)

BLOCOS DE ANCORAGEM



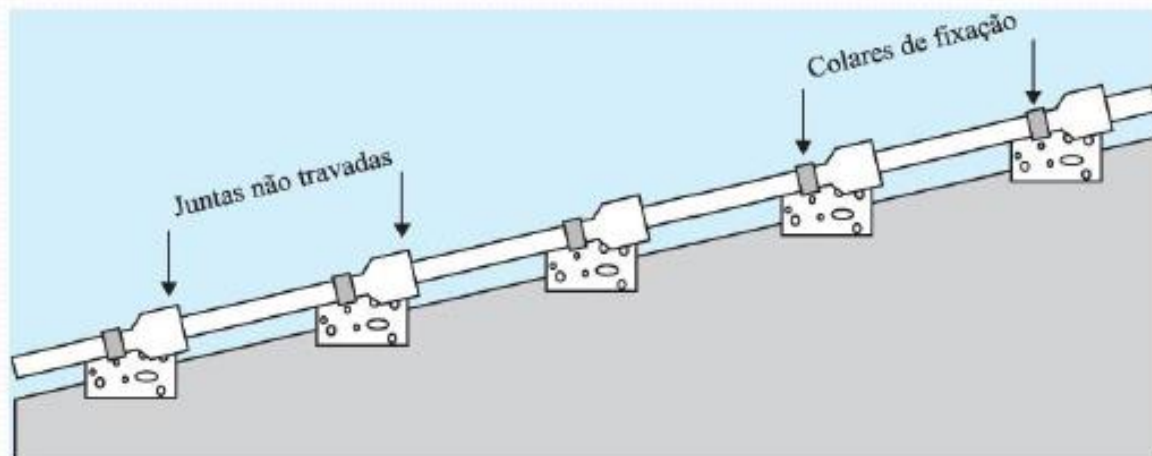
Fonte: Lúcia Porto - <http://www.panoramio.com>



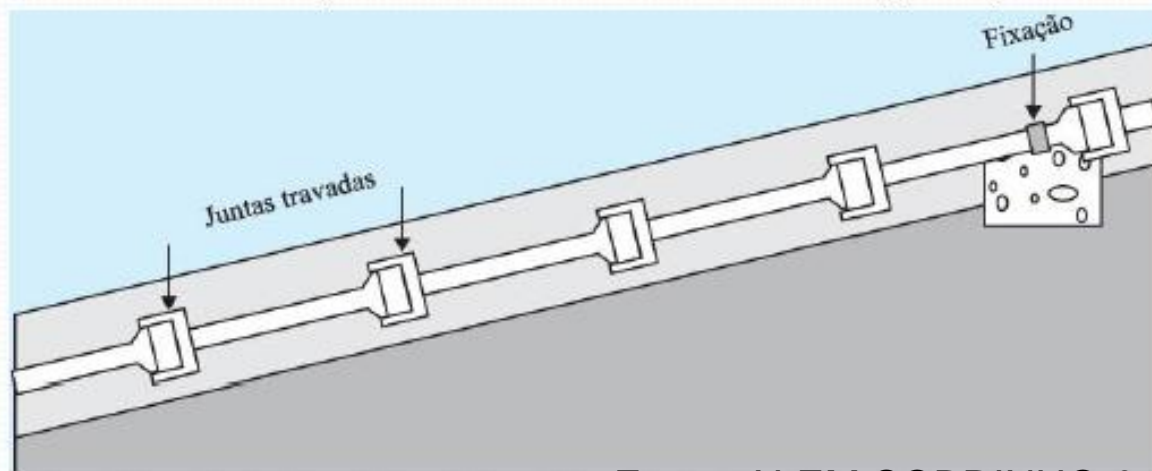
Fonte: <http://www.edsonprof.blogspot.com.br>

ANCORAGEM DE ADUTORAS EM DECLIVE

Assentamento de tubulação aérea: ancoragem tubo por tubo



Assentamento de tubulação enterrada com ancoragem por trecho travado

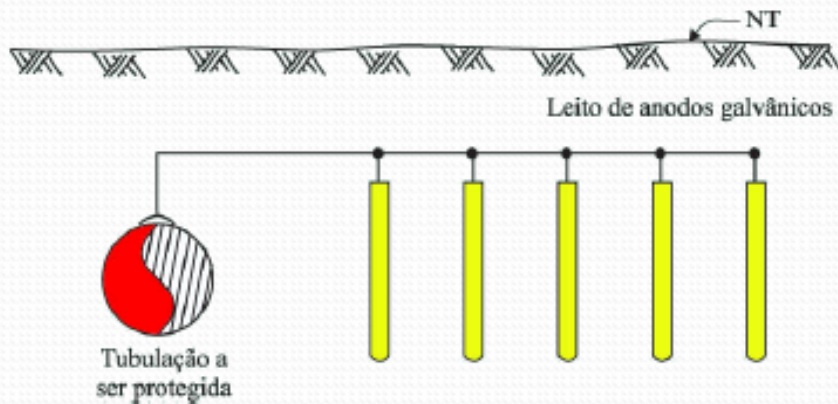


PROTEÇÃO CONTRA CORROSÃO

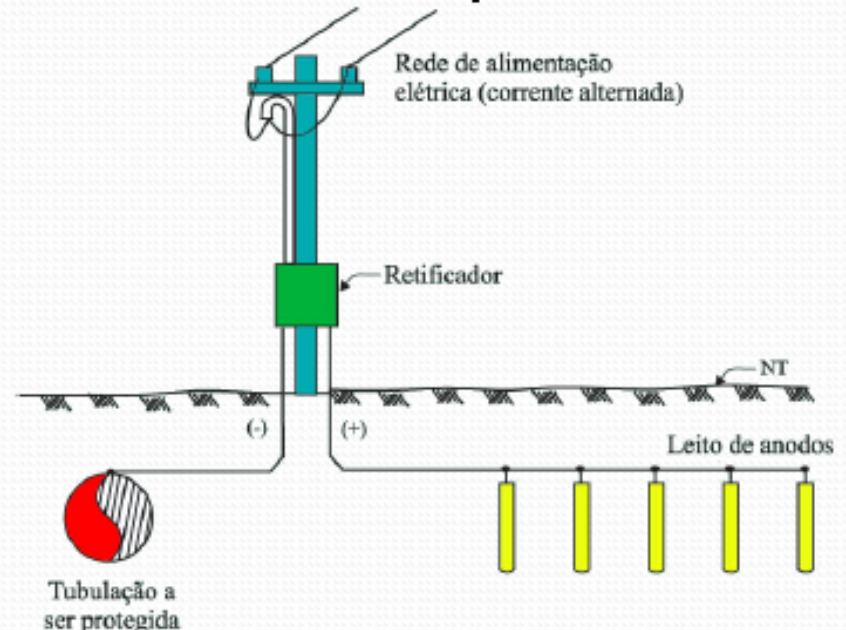
No caso de tubulações metálicas:

Proteção catódica: injeção de corrente contínua na estrutura a ser protegida elevando seu potencial em relação ao meio

Proteção catódica galvânica



Proteção catódica por corrente impressa



LIMPEZA DE ADUTORAS

Sedimentação



Deposição de minerais insolúveis em tubo de FD com revestimento. AAT
 \varnothing 250 mm, ~ 15 anos, $C_{HW} \sim 85$.

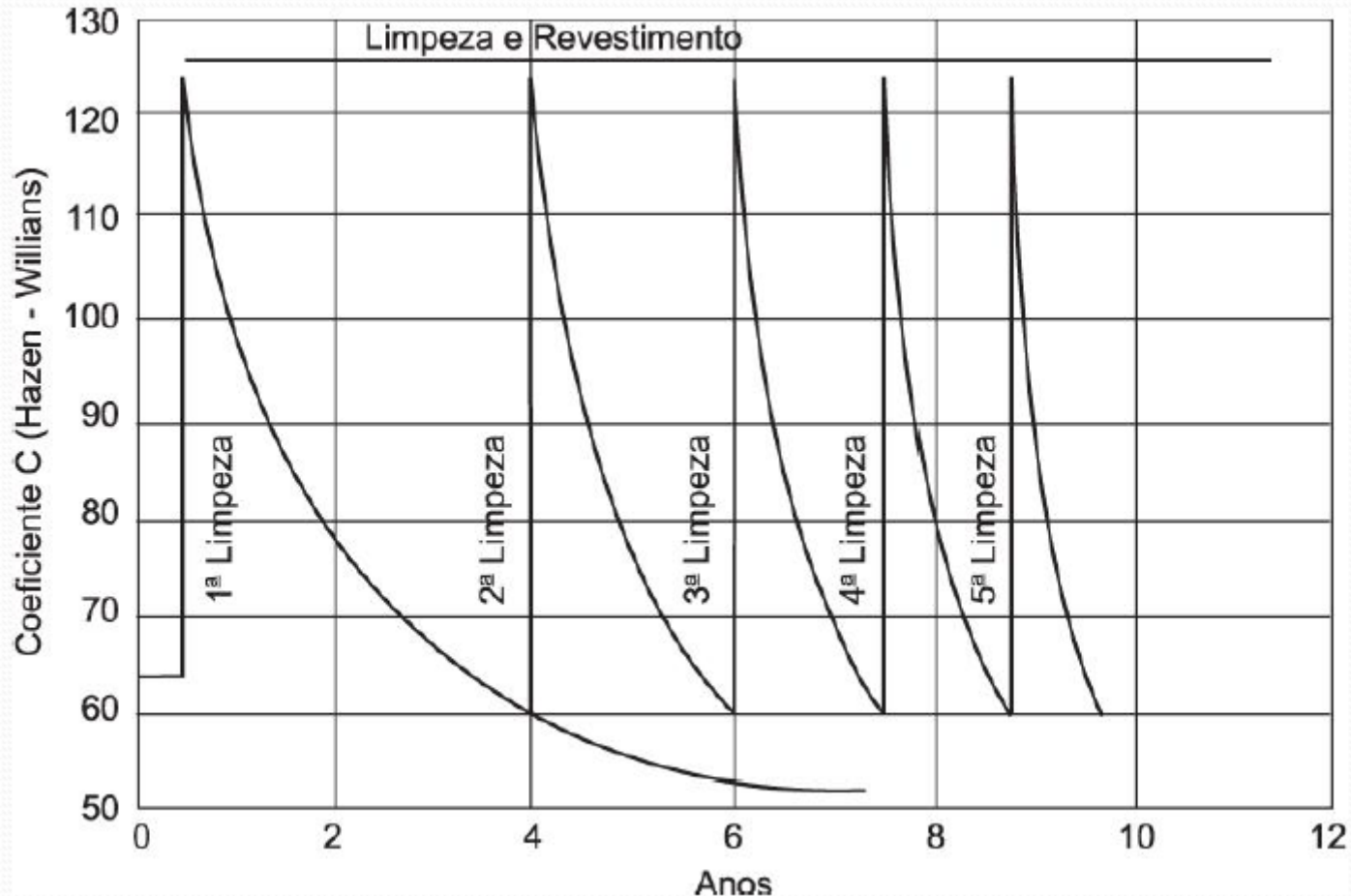
Incrustação



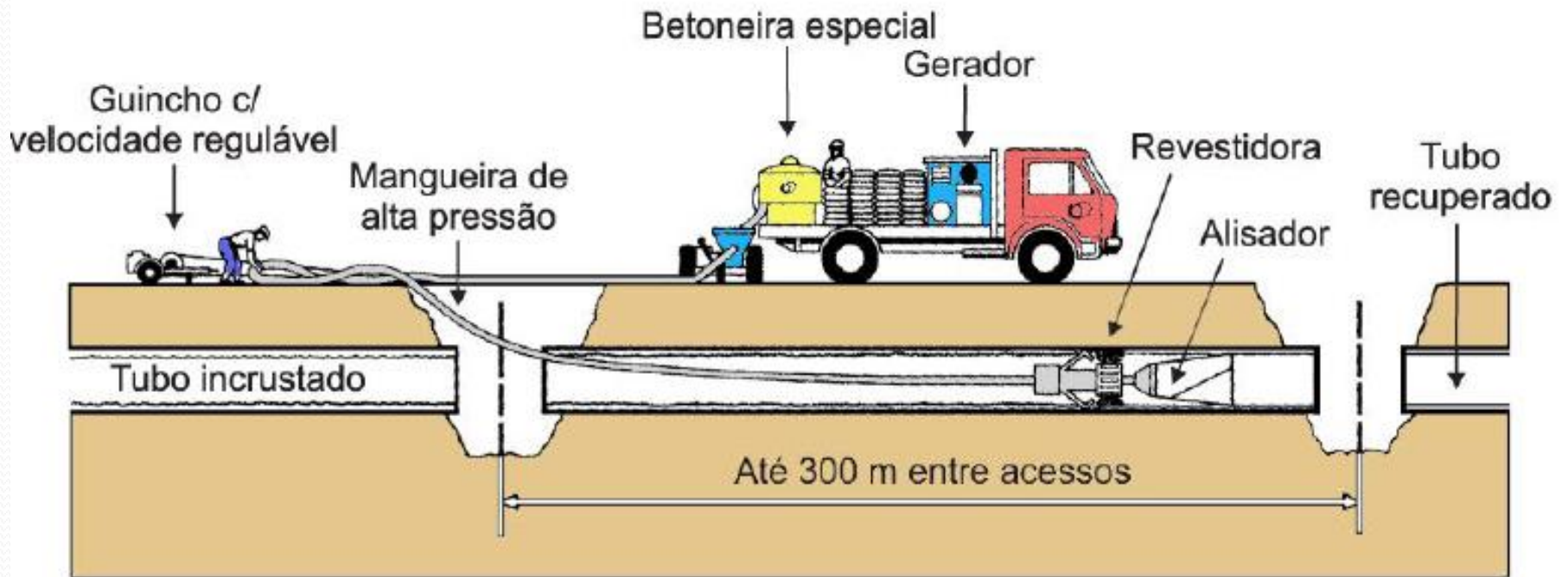
Incrustação em tubo de FD sem revestimento. AAB, \varnothing 250 mm, ~ 25 anos, $C_{HW} \sim 70$.

LIMPEZA DE ADUTORAS

Variação do Coef. De Hazen-Willians devido a limpezas de raspagem



APLICAÇÃO DO REVESTIMENTO DE ARGAMASSA DE CIMENTO

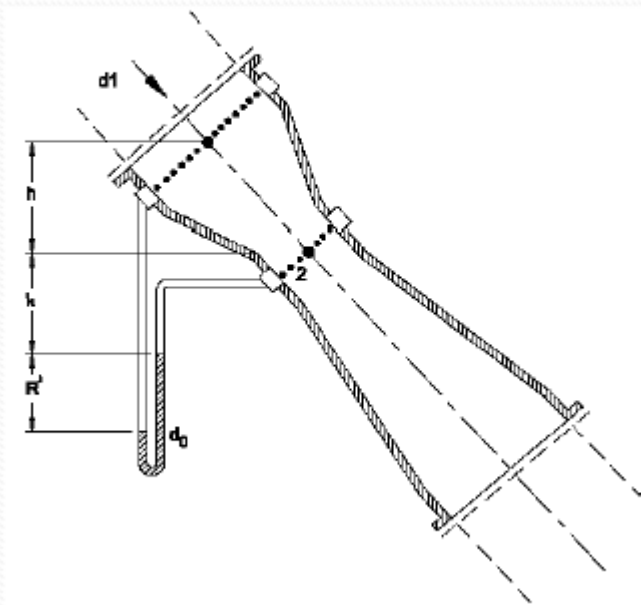


Outros revestimentos: epóxi; poliuretano, etc.

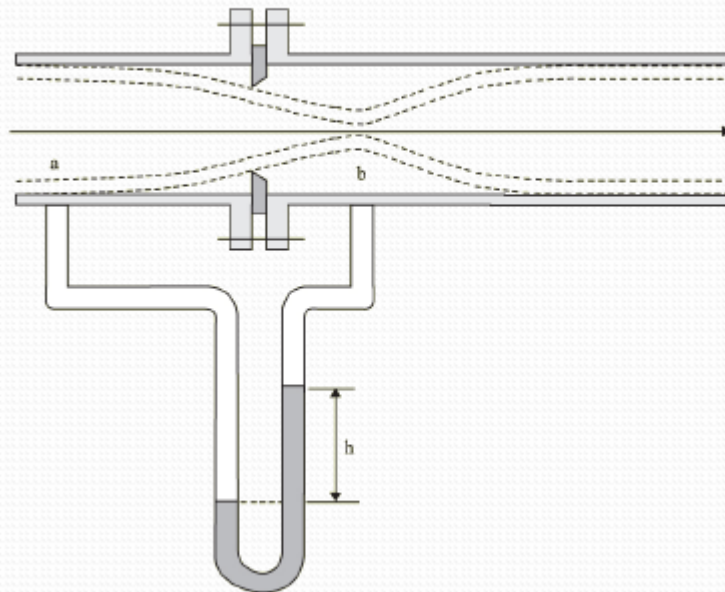
MEDIDORES EM CONDUTOS FORÇADOS

Medidores de vazão e pressão

Venturi



Orifício

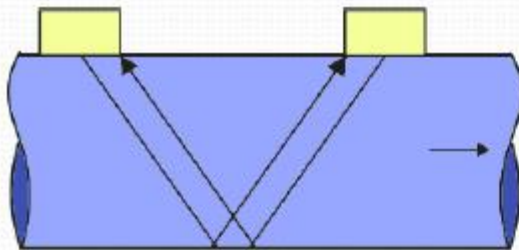


MEDIDORES EM CONDUTOS FORÇADOS

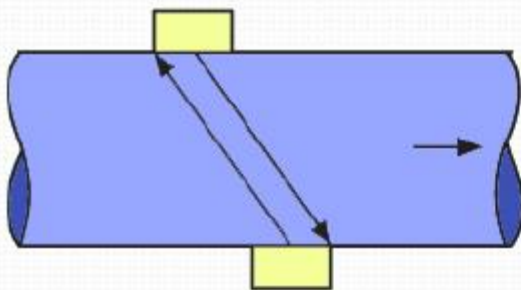
Medidores de vazão

— Ultrassônicos

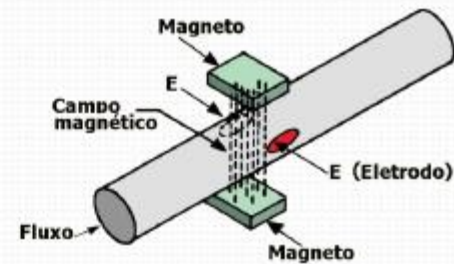
Modo diagonal



Modo reflexivo



— Eletromagnéticos



MEDIDORES EM CONDUTOS LIVRES

- **Vertedores**
- **Calhas Parshall**
- **Medidor Acústico (ADCP)**



**Calha Parshall
ETA1 Bebedouro (SAAEB)**

TRAVESSIAS ENTERRADAS EM CURSOS D'ÁGUA

- **Necessitam de outorga**
- **Estudo Hidrológico**
- **Não devem interferir no corpo hídrico (gerar obstáculo no fundo)**
- **Utilizar preferencialmente tubos de maior resistência mecânica**
- **Envelopamento dos tubos em concreto magro (de baixa resistência)**

TRAVESSIAS AÉREAS EM CURSOS D'ÁGUA

- **Necessitam de outorga**
- **Estudo Hidrológico**
- **Não devem interferir no corpo hídrico (construir acima da cota de cheia, com folga)**
- **Diversos tipos de estruturas**
- **Podem ser feitas junto a obras de arte existentes (aproveitando uma lateral por ex.) desde que autorizadas**

EXEMPLOS DE TRAVESSIA AÉREA



REFERÊNCIAS

ALEN SOBRINHO, P.; CONTRERA, R.C. **Adutoras**. Apresentação da disciplina Saneamento II. São Paulo. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Acesso em: 23/04/2016.