

Infra-estruturas de adução e regularização em perímetros de rega colectivos

J Costa Miranda | Outubro 2011

**A Engenharia dos Aproveitamentos
Hidroagrícolas: actualidade e desafios futuros**
Jornadas Técnicas APRH

Infra-estruturas de adução e regularização

- transporte atempado de água a longas distâncias, maximizando a quantidade de água realmente aduzida
- ❑ minimizando os respectivos custos de construção e de operação



❖ As primeiras obras foram construídas, nas décadas de 50/60 - sendo que já existem centenas de quilómetros de canais e adutores.

❖ Dado o seu período de funcionamento, alguns apresentam patologias “graves”, nomeadamente, problemas de estanqueidade (que chegam a atingir 80% de perdas) e alguma desadequação

a procura global de água é de $\sim 7\,500 \text{ hm}^3/\text{ano}$
a agricultura é o principal, com cerca de 87%

Eficiência global de transporte -60%



Infra-estruturas de adução e regularização

Podem agrupar-se em:

➤ Canais



➤ Adutores



➤ Reservatórios



➤ Estações de bombagem



Análise comparativa de canais versus adutores em tubagem “inconvenientes”

- Conduz em geral a um alongamento do traçado;
- Aumenta as perdas e fugas de água;
- Obriga à execução de trabalhos de consolidação de solos de fundação do canal, essencialmente em terrenos de má qualidade;
- Obriga à execução de trabalhos subterrâneos/ túneis para a travessia de pontos altos;
- Por vezes, implica a execução de obras de arte para a travessia de pontos baixos (sifões ou pontes-canais);
- Obriga necessariamente à aquisição dos terrenos indispensáveis à implantação da obra;
- Obriga à execução de trabalhos de conservação e manutenção bastante mais frequentes



Fronteira 8 a 10 m³/s

Dos adutores em pressão

Materiais

- Material plástico – PEAD e PVC
 - para os troços com “pequenos” diâmetros (por exemplo para DN 630);
- Ferro fundido dúctil – FFD – troços com pressão elevada e diâmetros intermédio (note-se que o máximo diâmetro fabricado correntemente é o 1000/1200, mas os últimos diâmetros já são economicamente pouco interessantes);
- Betão armado – essencialmente os tubos com alma de aço – nestes tubos a limitação de DN é menor, mas há dificuldade em obter (em tempo útil) tubos com DN superior a 3200;



coloca-se com cintas após soldadura fora da vala



Dos adutores em pressão

Materiais

- Tubos de aço – são um produto importado, cujo preço, disponibilidade e características tem variado significativamente;

O campo de aplicação é semelhante ao dos tubos de betão com alma de aço.

Principal vantagem -a facilidade de manuseamento para colocação, em obra.

Desvantagem - a mão-de-obra necessária à instalação é mais exigente (pela necessidade de mobilização de soldadores experientes e a execução de testes às soldaduras) ;
- é atacado pela corrosão química ou electroquímica – deverá instalar protecção catódica, face à resistividade do solo.

- Tubos de PRFV – o máximo diâmetro fabricado, correntemente é o 2350
Alguns fabricantes europeus apresentam referências até DN 3000

Têm pouca resistência própria - actua, essencialmente, como uma membrana de impermeabilização (sendo a resistência obtida, em grande parte, através do aterro que o contem).

Cuidados a ter no armazenamento dos tubos:



- A não instalação directamente no solo
- O travamento dos tubos através de calços de madeira
- A fixação dos tubos, para evitar deslocações indevidas

Colocação de tubos em vala/aspectos fundamentais

- Escavação da vala
- Colocação do leito de areia (ou material granular) no fundo da vala
- Suspensão do tubo por cintas e sua movimentação através de uma grua estacionada lateralmente e, por vezes, de grande braço.



A colocação de tubos de grande diâmetro, dado o seu peso pode apresentar algumas dificuldades acrescidas.

A **rugosidade/ perdas de carga** introduzidas pelos diferentes materiais é muito distinta e varia sensivelmente ao longo da sua vida útil.

A título de exemplo apresenta-se uma tabela de coeficientes de rugosidade da fórmula de Mannig-Strickler

TIPOS E MATERIAIS DE CANAIS E CONDUTAS	CONDIÇÕES DOS CANAIS E CONDUTAS	VALORES DE n			
		ÓPTIMOS	BONS	RAZOÁVEIS	MAUS
Terra	Pequenos canais		0,025	0,030	
<u>Canalizações</u>					
Aço liso		0,013	0,015	0,017	
Betão	Juntas grosseiras		0,016	0,017	
	Cofragens grosserias		0,015	0,016	
	Cofragens metálicas		0,012	0,014	
	Muito liso		0,011	0,012	
Ferro fundido	Limpo, revestido	0,010	0,011	0,012	0,015
	Sujo, c/tuberculos			0,015	0,035
Ferro galvanizado		0,013	0,014	0,015	0,017
Fibrocimento		0,011	0,013	0,015	0,017
Grês vidrado		0,011	0,013	0,015	0,017
Latão ou vidro	Liso	0,009	0,010	0,011	0,013
Plástico		0,010	0,011	0,012	0,014

Perda de carga aumenta 88%

Passam só 35 % do caudal

A selecção, entre os diferentes materiais e tipos de tubo, deve ser efectuada em função:

- das respectivas características físicas, do seu custo (de instalação e de manutenção)
- da “facilidade” de colocação em obra - os meios de colocação em obra podem ter de ser completamente distintos
- dos perfis tipo das respectivas valas de instalação

o campo de aplicação dos adutores em pressão fica limitado superiormente por caudais da ordem dos 8/10 m³/s

Tubagens com diâmetros superiores a 2,5 m são economicamente dificilmente justificáveis

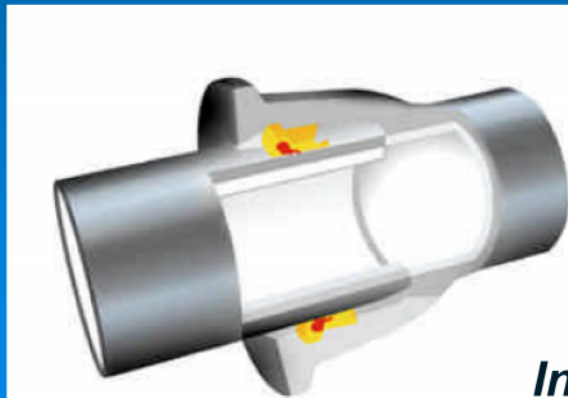
Para a ligação entre os tubos, e destes ás restantes órgãos, estão disponíveis diversos tipos de juntas e juntas mecânicas - dada a especificidade destes e a sua dependência do tipo de tubo e de situações , a ter em consideração, este aspecto embora da maior importância não irá ser abordado

De uma forma esquemática as juntas (não soldadas) entre tubos podem classificar-se em:

➤ ***Standard ou macho/ fêmea***



• ***Travadas***



Interno



Externo

➤ **Flangeadas**



➤ **Juntas Comet**

➤ **Juntas Gibault**

- **Simple**
- **De transição**

INSTALAÇÃO DOS TUBOS NA VALA

Largura das valas

1 - Para profundidades até 3 m, a largura das valas (L) deve ter, a dimensão mínima definida por:

$L = De + 0,50$ para condutas de diâmetro até 0,50 m;

$L = De + 0,70$ para diâmetros superiores;

onde De o diâmetro exterior da conduta (m).

2 - Para profundidades superiores a 3 m, a largura mínima das valas deve ser aumentada em função do tipo de terreno, processo de escavação e nível freático.

INSTALAÇÃO DOS TUBOS NA VALA

Aterro das valas

- 1 - O aterro das valas deve ser efectuado de 0,15 m a 0,30 m acima do extradorso das tubagens, com material cujas dimensões não excedam 20 mm.
- 2 - A compactação do material do aterro deve ser feita cuidadosamente por forma a não danificar as tubagens e a garantir a estabilidade dos pavimentos.”

Os perfis tipo das valas para instalação dos tubos devem ser função:

- do tipo e diâmetro do tubo,
- do tipo de solo interessado
- da profundidade de escavação e do local de instalação.

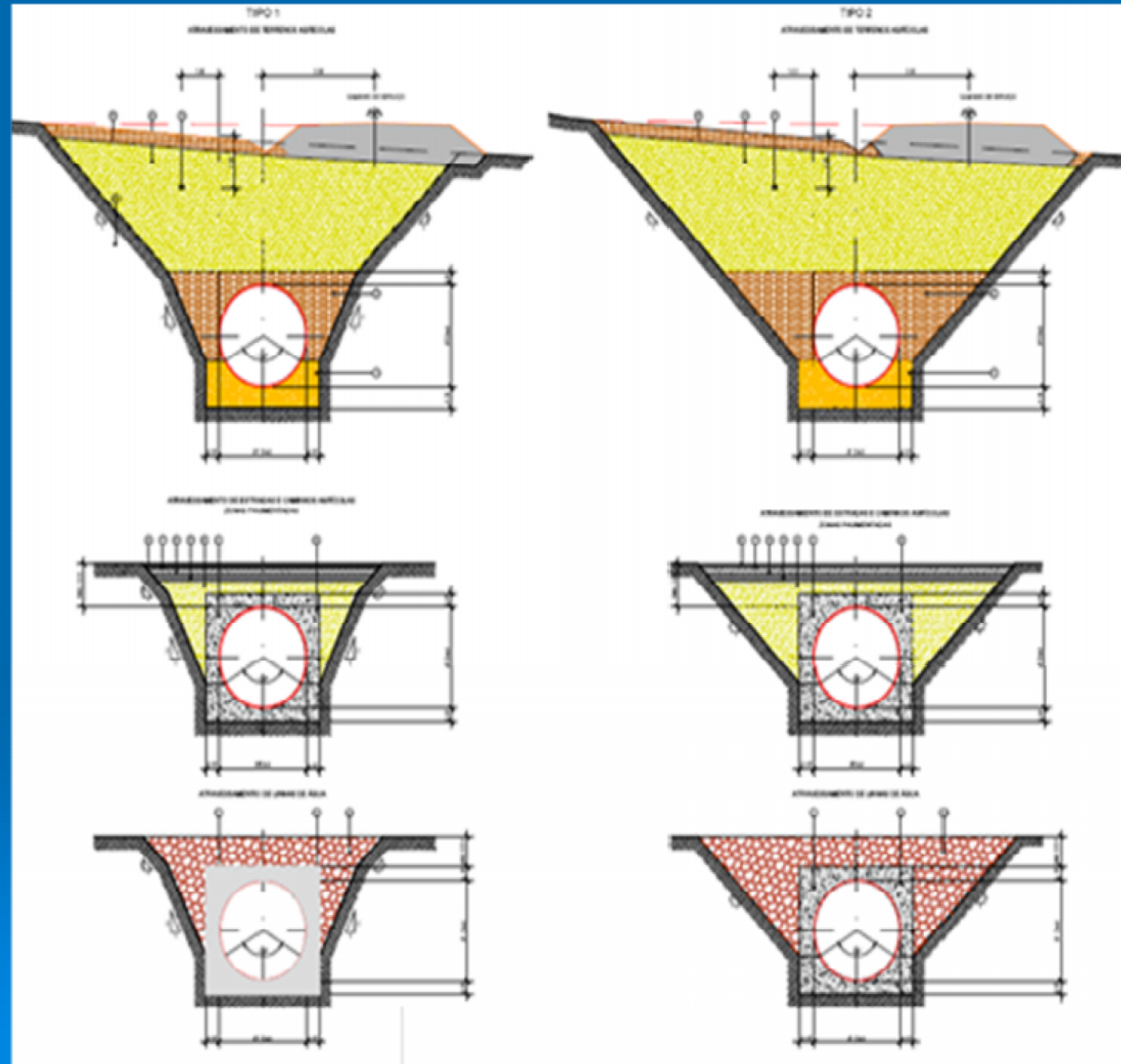
Para tubos de grande diâmetro o perfil deve ser estudado cuidadosamente, pois a sua inadequação pode levar um “mau” assentamento dos tubos (essencialmente por mau confinamento dos tubos), a **custos desnecessários** ou a acidentes de trabalho.

Perfis tipo

são função:

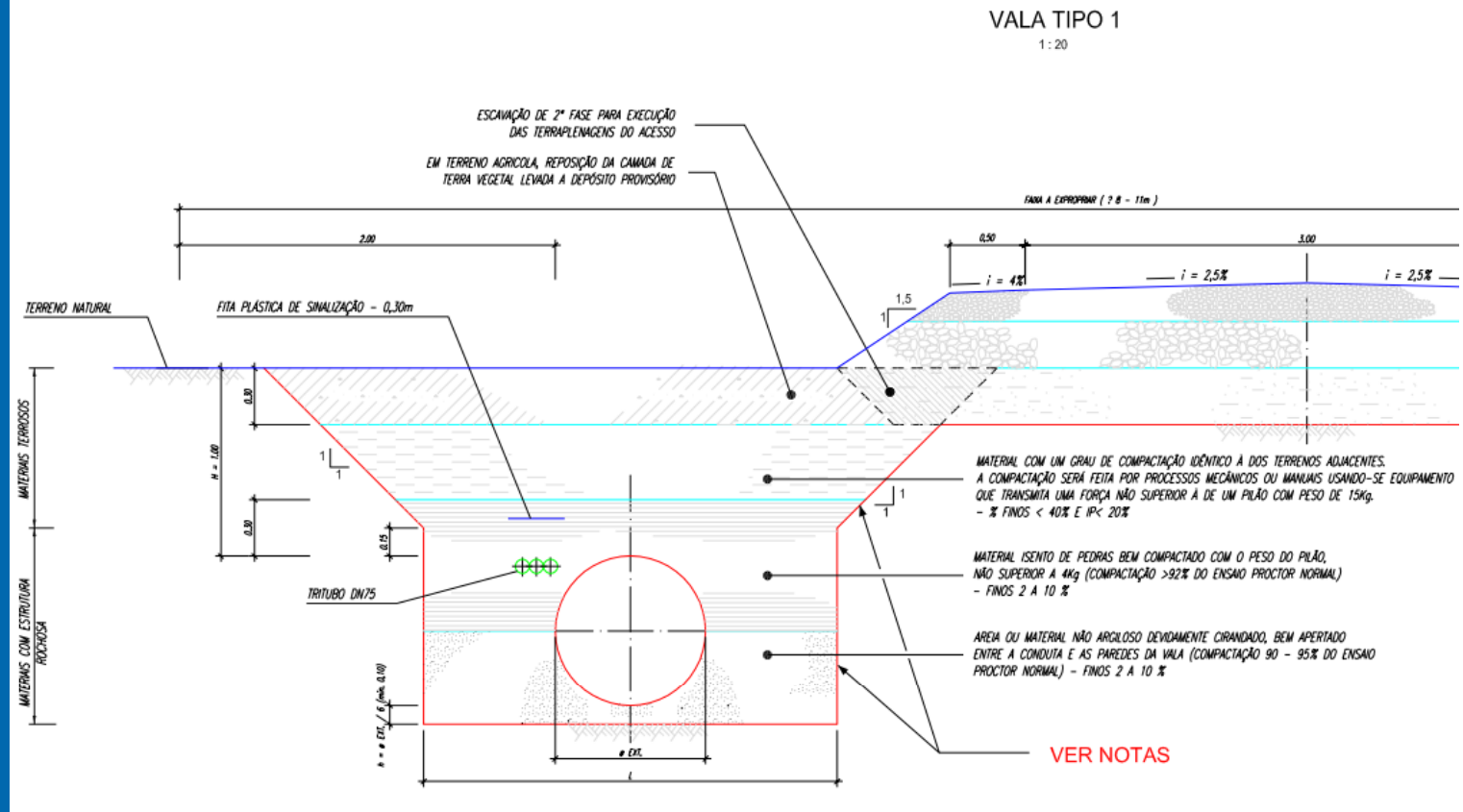
- do tipo e diâmetro do tubo
- do tipo de solo
- da profundidade de escavação
- do local de instalação

Solo sem coesão



Solo com
“alguma”
coesão

deve realçar-se:



- A necessidade de até meio diâmetro do tubo a largura da vala ser contida na mínima largura possível - por ex: largura de base (DN + 1m) + talude mínimo para o solo ser estável “a curto prazo”;
- Acima desta cota, os taludes devem ser variáveis e função dos solos (contudo, são taludes “provisórios”);
- A distância entre a crista do talude da vala (ou da banquetta) e o eixo de implantação da conduta, tem de ser inferior a cerca de 90% do braço da máquina a utilizar na colocação;

Exemplo



- a vala foi escavada com duas inclinações distintas – uma menor até ao meio diâmetro da conduta e outra mais deitada, na parte superior da vala;
- a vala foi parcialmente cheia com material granular, deixando contudo em aberto as juntas entre tubos para se poder verificar a sua estanqueidade, aquando da realização dos respectivos ensaios.

Ter de assegurar largos períodos de observação, antes de fechar a vala, pode dar origem à inundação da vala (por precipitação ou pela toalha freática) o que é altamente inconveniente e pode levar a conduta a flutuar.



VALA INUNDADA E CONDOTA FLUTUANDO

diâmetro a instalar

- nas condutas gravíticas – o diâmetro deve ser tal que a perda de carga, para a situação de máxima rugosidade provável, seja igual ao desnível energético existente.

velocidades superiores a 3/4 m/s não são usuais e a sua viabilidade deve ser estudada cuidadosamente;

- nas elevatórias – o diâmetro deve ser tal que o custo global actualizado (custo de investimento em capital fixo e custo de operação e manutenção), para o horizonte de projecto, seja o mínimo.

Dadas as evoluções, quer no custo dos tubos e obras conexas, quer na energia, todas as fórmulas teóricas conhecidas apresentam valores não confiáveis.

Os cálculos que se conhecem conduzem a velocidades entre 2 e 3 m/s.



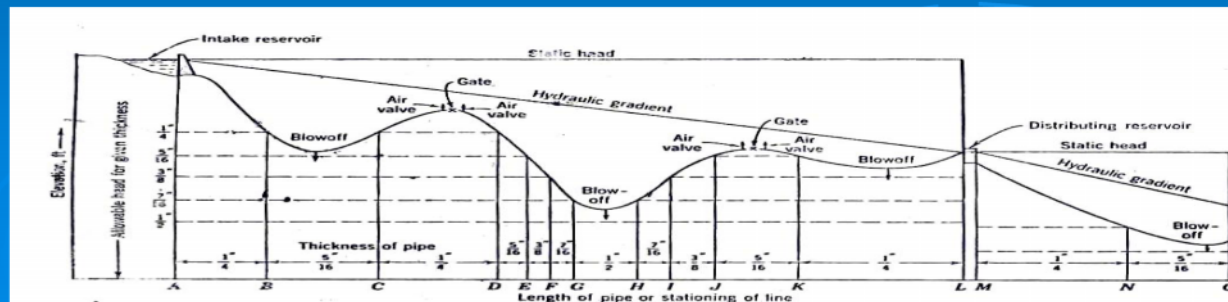
Restrições/ condicionamentos de implantação das condutas

Em planta:

- Implantar as adutoras ao longo dos caminhos públicos - minimiza as indenizações, facilita a execução, observação e manutenção da obra;
- Desviar o traçado com deficientes condições de fundação, de afloramentos rochosos, de zonas pantanosas, de terrenos com características fortemente agressivas;
- Evitar zonas muito arborizadas;

Essencialmente as com espécies de raiz fasciculada, por exemplo, os eucalipto e os choupos.

- Reduzir as pressões nos diversos troços, determinantes das características das tubagens a utilizar;



Restrições/ condicionamentos de implantação das condutas

Em perfil longitudinal:

- Optar, por um traçado o mais regular possível, não acompanhando necessariamente o terreno natural - o que poderá dar origem a maiores profundidades de escavação;
- A linha piezométrica, correspondente à situação de dimensionamento, tem de se manter acima da conduta longo de todo o traçado.

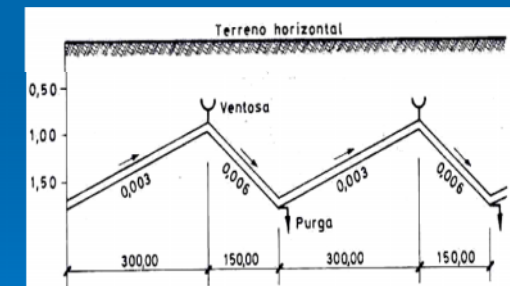
Escavações até 4m são as mais fáceis de concretizar. Escavações acima de 10m, em geral, apresentam uma fraca viabilidade técnico-económica

- Inclinações mínimas, da ordem de 0,3% nos troços ascendentes e de 0,5% nos troços descendentes;

- No caso de o perfil do terreno ser horizontal a adutora deve apresentar, alteradamente, perfis descendentes e ascendentes.

- Profundidade mínima das tubagens (se a geratriz superior do tubo se encontra a menos de 0,90 m da superfície, necessitam de ser protegidas);

- Para inclinações superiores a 25%, ver da necessidade de amarrar a tubagem a maciços de ancoragem;

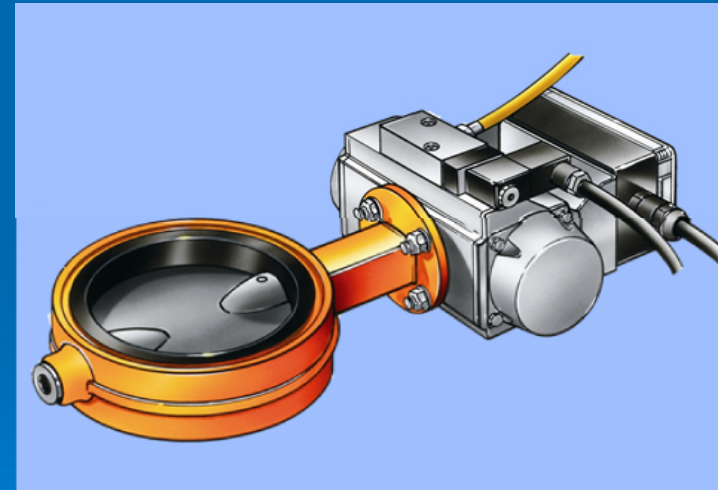


Para assegurar o bom funcionamento dos adutores é necessário dota-los de diversos órgãos acessórios, de que os mais correntes são

- **Válvulas de seccionamento** – para permitir a divisão em troços a adutora, que possam ser isolados, por forma a evitar-se o esvaziamento de grandes extensões de tubagem, minimizando as perdas de água quando se torna necessário levar a cabo operações de inspecção e de limpeza periódicas e de reparação em caso de avaria (principalmente roturas).

O **comprimento dos troços** referidos depende do perfil longitudinal das condutas, devendo-se situar entre os **2 e 4 km**.

As válvulas de seccionamento devem ser localizadas, de preferência, nos **pontos altos do perfil – junto das ventosas**; estes pontos definem os troços da conduta que podem ser esgotados por gravidade e são os que apresentam pressão mais reduzida.



Ficam facilitadas as operações de manobra, pois a diferença de pressão a montante e a jusante, quando se procede à abertura da válvula, é mais reduzida

Para reduzir o comprimento dos troços a isolar, quando é necessário proceder ao esvaziamento da conduta, as válvulas de seccionamento podem ser também colocadas em pontos baixos (neste caso próximo da válvula de descarga de fundo).

Aqui, as operações de manobra são mais difíceis, uma vez que a diferença de pressão a montante e a jusante, quando se pretende proceder à abertura da válvula, é elevada.

Por vezes, para atenuar esta dificuldade é usual instalar uma tubagem de pequeno diâmetro em circuito de *by-pass*



As Ventosas – têm por função:

- **expulsar pequenos volumes de ar** que se acumula nas condutas, durante o seu funcionamento;
- **permitir a saída/entrada de grandes volumes de ar durante o** esvaziamento ou de enchimento dum troço de uma conduta, após a reparação de uma rotura;

Recomenda-se a instalação de ventosas nos seguintes pontos :

1. Nos **pontos altos** da adutora,
 2. Prever duas ventosas **onde se coloca uma válvula de seccionamento**; para cada troço de adutora a montante e a jusante da válvula existe uma que tem por função, como se referiu, permitir a entrada de ar quando se esvazia o troço que se pretende;
 3. Pontos onde haja um **brusco crescimento da inclinação** em troços descendentes ou um brusco decréscimo em troços ascendentes;
- O afastamento máximo entre estes órgãos, que não convém ser **superior a 1 km** (esta distância deve ficar-se pelos 300 m, nos troços ascendentes de pequena inclinação).

Em princípio, o tipo de ventosas a utilizar, nos casos anteriormente referidos, será :

- de corpo duplo ou de triplo efeito: casos 1);
- de duplo efeito ou de grande orifício: caso 2);
- de simples efeito (pequeno orifício): caso 3).

O seu calculo deve ser feito tendo em atenção o caudal máximo de ar que têm de evacuar e o facto de este ter de escoar pelo orifício da ventosa com uma velocidade máxima da ordem dos 7 m/s.

**DIÂMETROS A DOPTAR
PARA VENTOSAS E
VÁLVULAS DE DESCARGA
DE FUNDO**

DIÂMETRO DA ADUTORA (m)	DIÂMETROS (m)	
	VENTOSA	VÁLVULA DE DESCARGA
0,150 a 0,300	0,027	0,060
0,300	0,040	0,060
0,400 a 0,450	0,040	0,100
0,500	0,040	0,150
0,600	0,060	0,150
0,700 a 0,800	0,060	0,200
0,900 a 1,250	0,100	0,300
1,500	0,100	0,400

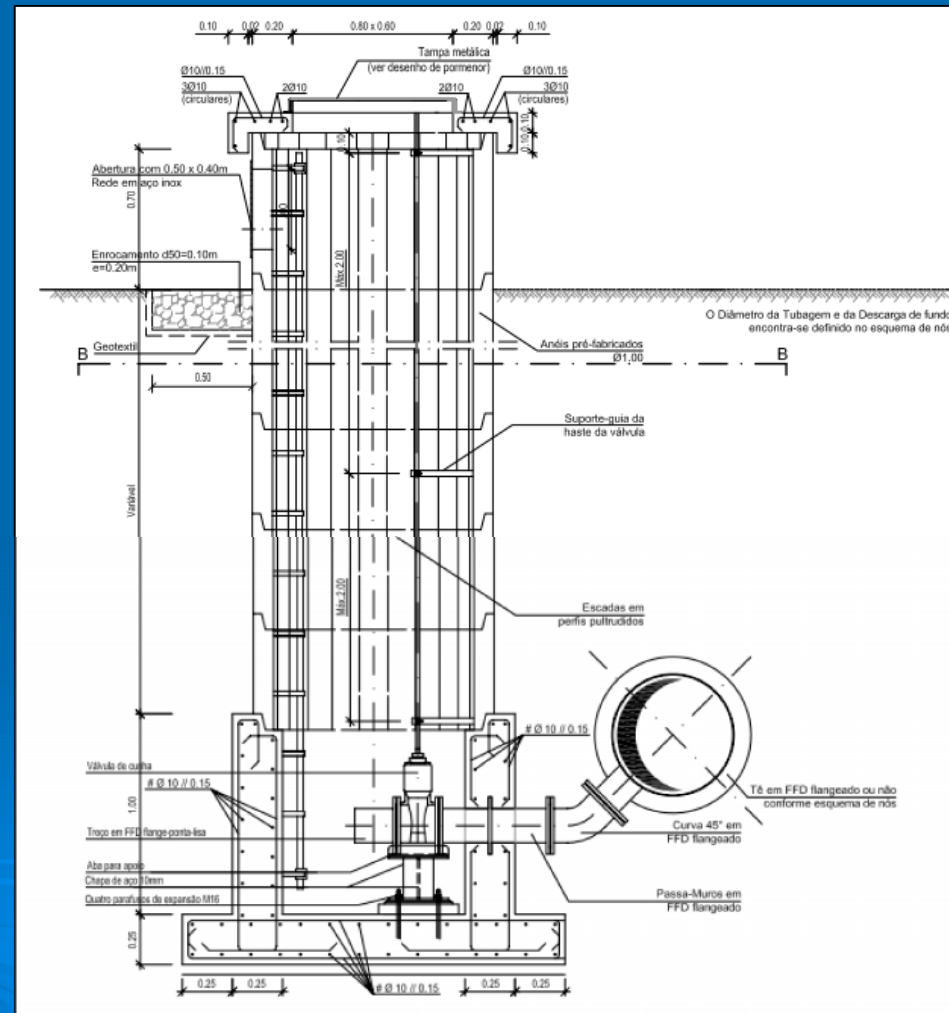
As descargas de fundo – devem ser colocadas nos pontos baixos e se possível de forma a permitir a drenagem gravitacional da água para uma linha de água próxima

Dimensionadas para esgotar a água em 2 h



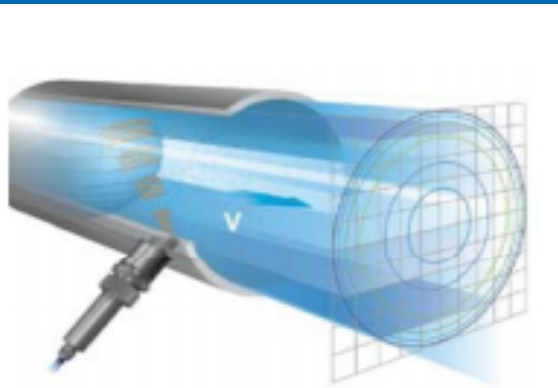
Caixa de derivação e descarga de fundo

Devem ser operadas periodicamente, caso contrario calcificam



A medição de caudal – devem instalar-se sempre que se necessita de avaliar os volumes transportados ou obter dados para a monitorização do sistema.

caudalímetro electromagnético – de preferência, deve ser instalado em tubagens na vertical; se instalado na horizontal há que ter em consideração as distâncias mínimas de normalização do fluxo



caudalímetro por ultra-sons – é de mais fácil instalação

o princípio de medição – A propagação diagonal num tubo necessita menos tempo que uma na direcção da contracorrente

A diferença entre os tempos de fluxo, depende da forma directa da velocidade do fluxo. O caudalímetro usa este efeito para determinar a velocidade do fluxo a do caudal.

Os transdutores electro-acústicos recebem e emitem breves impulsos ultra sónicos , através do meio que flui na tubagem, e situam-se na vertical, mas de forma deslocada em ambos os lados do tubo.

Podem usar-se sensores não destrutivos que se colocam sobre o tubo e são fixados por exemplo com uma cinta.

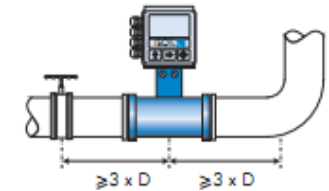


Figura 3a

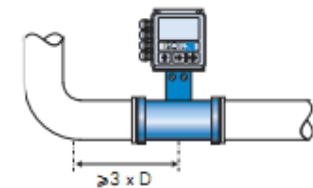


Figura 3b

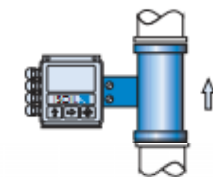
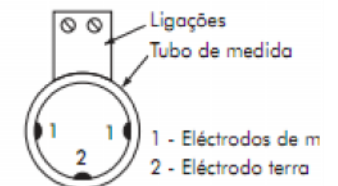
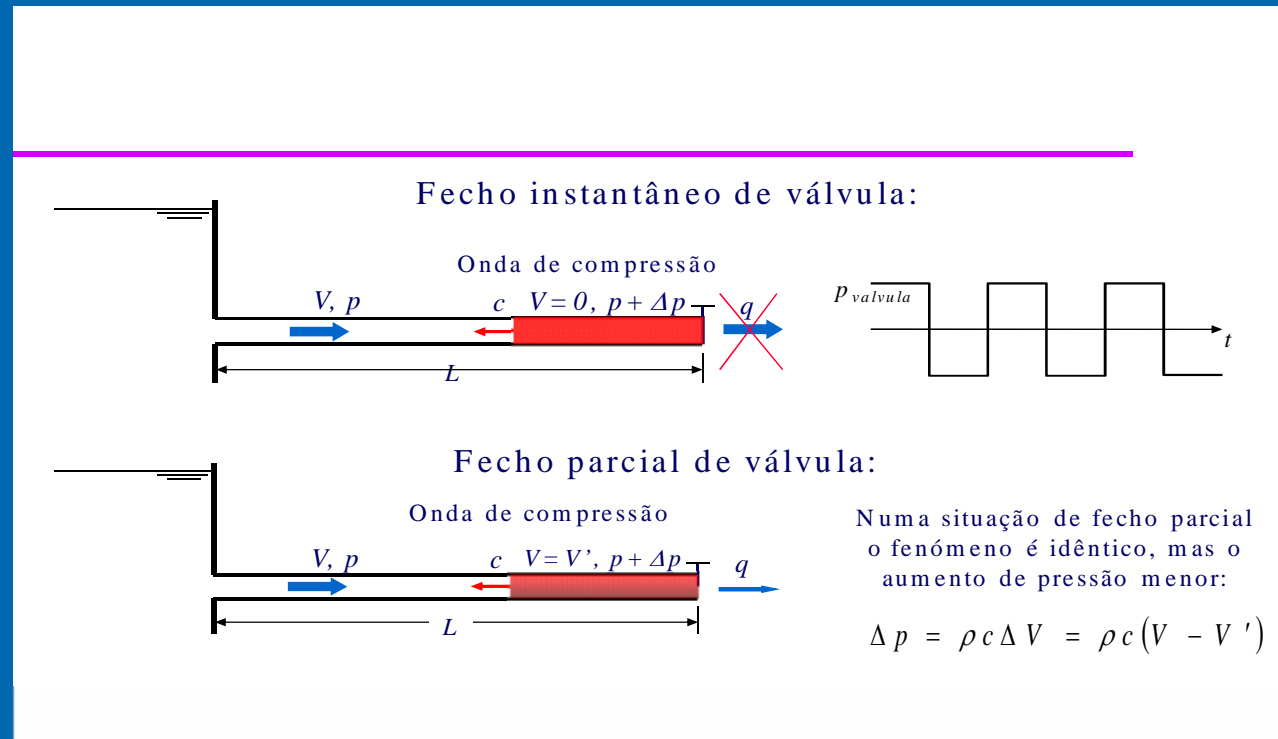


Figura 4



Sobrepessões devidas ao golpe de aríete

A variação das condições de escoamento numa conduta, se efectuada de forma rápida dá origem à ocorrência de um golpe de aríete, que pode originar sobre e subpressões significativas



O máximo valor que estas podem ter pode ser estimado por:

$$\Delta H = a * (v/g)$$

em que :

a – celeridade da transmissão da onda elástica (função do liquido, material e do diâmetro/ espessura da parede do tubo)

a - é constante para tubos de “plástico”

v – velocidade do escoamento

g – gravidade

para água/condutores metálica ou de betão

$$\Delta H = P_1 - P_0 = 100 \text{ (U}_0\text{)}$$

D/e	AÇO (k = 0,50)	FERRO FUNDIDO (k = 1,0)	BETÃO (k = 5,0)
500	574,2	425,7	247,5
400	623,7	465,3	277,2
300	702,9	524,7	316,8
250	752,4	574,2	346,8
200	811,8	623,7	386,1
180	841,5	653,4	405,9
160	871,2	683,1	425,7
140	910,8	722,7	455,4
120	950,4	762,3	485,1
100	999,9	811,8	524,7
80	1049,4	871,2	584,1
60	1118,7	950,4	653,4
50	1158,3	999,9	702,9
40	1197,9	1049,9	762,3
30	1247,4	1118,7	841,5
20	1296,9	1197,9	950,4
10	1356,3	1296,9	1118,7

Para iguais condições hidráulicas o golpe de aríete é

- 2,2 maior no aço que no betão

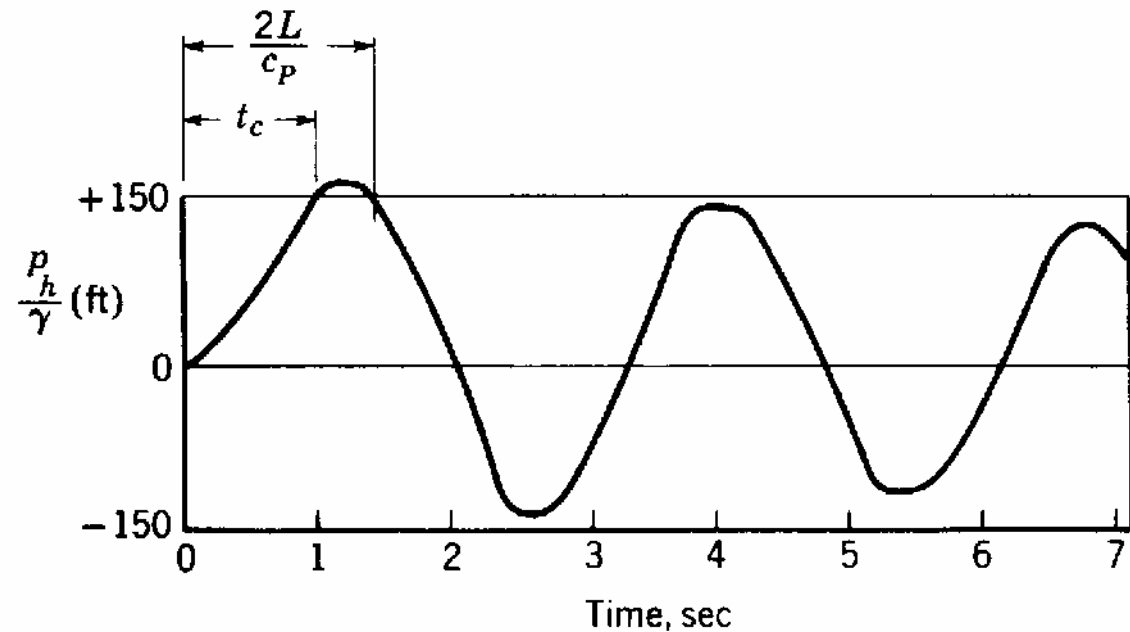
- 1,35 maior no aço que no ferro fundido

Tempo de fecho $t_f < L/c$

Válvula completamente fechada antes de lá chegar onda (parcial) reflectida na extremidade aberta:



Valor máximo igual ao instantâneo



Numa situação de fecho parcial o fenómeno é idêntico, **mas** a variação de pressão é menor:

Dos reservatórios

Dimensionamento dos reservatórios

Deve atender –se à sua função e posicionamento na rede

❑ Reservatório de distribuição / regularização – volante entre a adução e a rede de distribuição (sendo que a primeira é dimensionada para o caudal máximo diário e a segunda para o caudal de ponta) – **volume ser objecto de um estudo global de dimensionamento.**

❑ Reservatório de equilíbrio – destina-se a manter a cota piezométrica na rede com um valor determinado



Reservatório de origem – no início da rede de distribuição

Reservatório intermédios ou de extremidade – em que a alimentação é feita a partir da rede (estes por vezes também servem como volante de regularização – acumulam a água nas horas de menor consumo para a cederem nas horas de ponta)

Dos reservatórios

No dimensionamento do volume de reservatório, as seguintes regras base:

- ❑ **Volante de regularização** – função da lei de entrada e dos pedidos da rede (vol. mínimo no caso de ser alimentado em permanência – 2 horas de consumo do mês crítico) e ainda da hidrodinamicidade da rede.
- ❑ **Reserva para consumo** – vol. mínimo de 30 a 50% do consumo do dia de maior consumo do mês crítico ou 4 a 8 horas de caudal de dimensionamento.
- ❑ **Regularizar o funcionamento da bombagem** – vol. mínimo (m³) = caudal da bomba (m³/s) / número máximo de arranques por hora (3 a 6) ou volume adequado para faltas de energia



construção de reservatórios de grande dimensão (frequentemente com volumes úteis superiores a 100 000 m³)- o que limita o tipo de reservatórios que é viável técnico-económicamente construir.

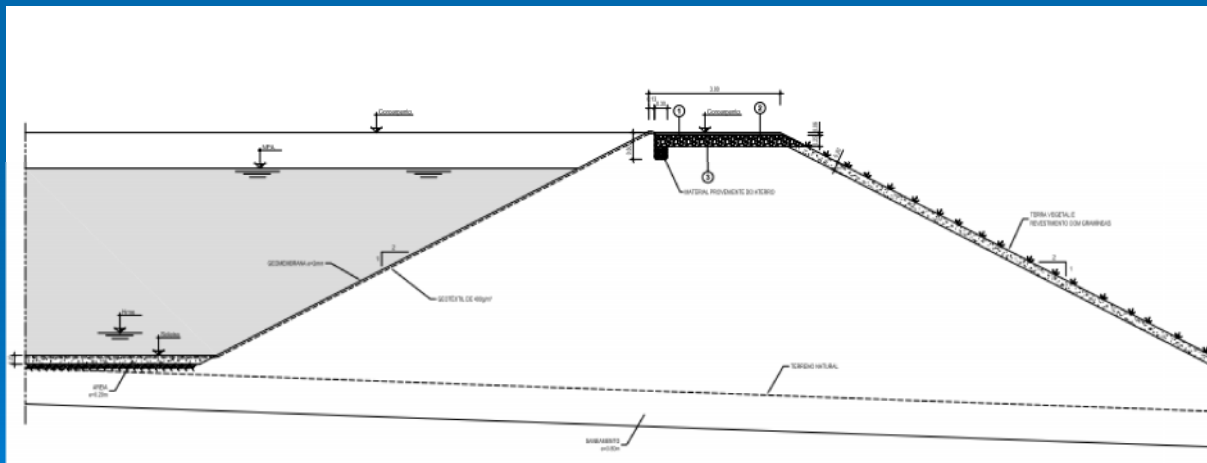
Dos reservatórios

Tipo:

☐ Reservatórios “naturais” - obtidos a partir da construção de uma pequena barragem, num vale



☐ Reservatórios escavados - obtidos parte por escavação, parte por confinamento com um dique e totalmente impermeabilizado com uma membrana



lajes de betão –
têm vindo a tornar-se
técnicamente
economicamente
menos interessantes

A folga do reservatório deve ter em consideração as suas dimensões, segundo o rumo mais desfavorável do vento, e o declive do respectivo talude – deve ser no mínimo de 0,5 m.

A sequencia das principais actividades correspondentes á implantação de um reservatório escavado:

1. Criação do reservatório por escavação e aterro em dique lateral
2. Construção do sistema de drenagem de fundo (compreendendo a colocação de drenos com tubos perfurados envolvidos e geotextil, numa vala de brita)



3. Criação de uma camada drenante, em brita, sob a tela e após esta colocação da tela



A sequencia das principais actividades correspondentes á implantação de um reservatório artificial:

4. Pormenor da ancoragem da tela (que pode ser feita com uma viga de betão ou só com o solo – como neste caso) e o reservatório após ter terminado a colocação da tela e procedido à soldadura dos diversos painéis, entre si.



5. Aspecto do reservatório depois de cheio

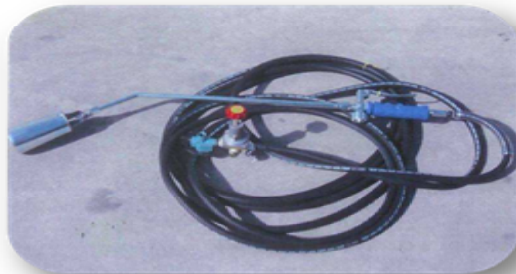


Na execução deste tipo de reservatório particular cuidado haverá que ter no que respeita a:

- Ligação entre as telas, que podem ser em PVC ou telas asfálticas;



EQUIPAMENTOS DE SOLDADURA DE MEMBRANAS DE PVC (SOTECNISOL)



EQUIPAMENTOS DE SOLDADURA DE MEMBRANAS ASFALTICAS)

Espessur
a mínima
2 mm

- Ligação entre as telas e as infra-estruturas de betão (nomeadamente as câmaras de entrada, saída e descarga de fundo)
- Inclinação de fundo adequada a esgotar água e material depositado, através da descarga de fundo

Dos reservatórios

- assegurar uma adequada drenagem do seu tardoiz da membrana
- particular cuidado com o dimensionamento e especificação da tela, para que seja adequada (não se rompa ou enrugue).



Aspectos ambientais

- ❑ A implantação de grandes infra-estruturas, particularmente as infra-estruturas em linha, são muito sensíveis a esta problemática.
- ❑ No projecto (nomeadamente no traçado em planta) este é certamente um dos pontos essenciais a ter em consideração

A elaboração das campanhas de trabalhos de campo, nomeadamente as de reconhecimento arqueológico devem ser desenvolvidas a par com o respectivo projecto



Aspectos ambientais

Particular cuidado haverá que ter na análise dos impactos de canais abertos “versus” adutores em pressão pois os primeiros apresentam os seguintes problemas adicionais:

- ❑ Efeito barreira
- ❑ Impacto na paisagem
- ❑ Perigo de armadilha para os animais.



Os locais de maior cota, junto a áreas de bons solos, foram ao longo da história, em geral, ocupados pelo homem, existindo aí vestígios da sua actividade

OBRIGADO