

6.5 - Dimensionamento

A – Adutora por gravidade – Conduto forçado

- Escoamento do nível mais alto para mais baixo
- Energia disponível para o escoamento: diferença entre essas cotas
- **Perda de carga = carga disponível** (toda energia disponível deve ser usada para vencer resistência) → D mínimo
- Verificar velocidade mínima e máxima

Velocidade mínima

Qualidade da água	V mín (m/s)
Água com suspensão fina	0,30
Águas com areia fina	0,45
Águas com mat. orgânica	0,60

Martins, 1976 (apud Tsutiya, 2006)

Velocidade máxima

- Depende de vários fatores.
- Literatura, para diversos materiais: 4 a 6 m/s; entretanto, considerando aspectos técnico-econômicos: 3,0 m/s
- Rey et al (1996): 1,5 m/s

B – Adutora por gravidade – Conduto livre

- Escoamento do nível mais alto para mais baixo
- Condições topográficas favoráveis → é possível funcionar como conduto livre
- Dimensionamento em função da declividade disponível
- De preferência: Fórmula de Chézy

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

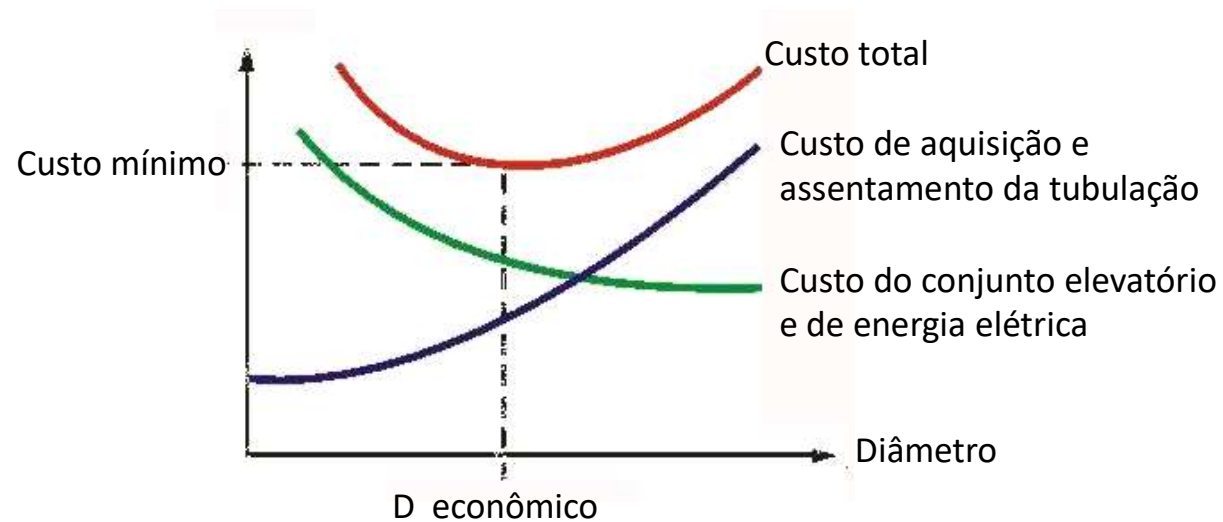
C – Adutora por recalque

Conhecidos:

- Vazão de adução Q
- Comprimento da adutora
- Desnível a ser vencido H_g
- Material da adutora



Diâmetro que proporciona menor custo

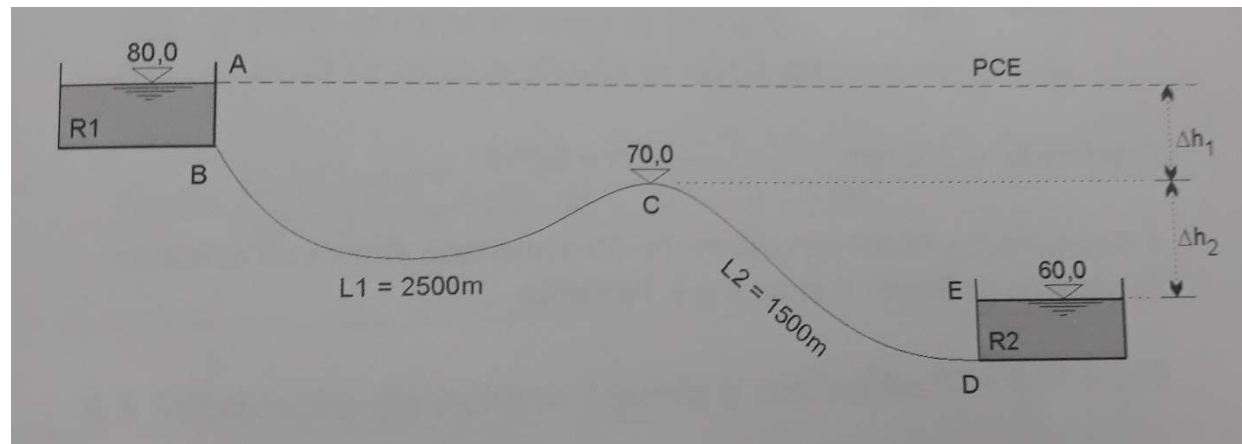


Fonte: Tsutiya (2006)

Exercícios

Exemplo – Dois reservatórios deverão ser interligados por uma tubulação de ferro fundido ($C=130$), com um ponto alto em C. Desprezando-se as perdas de carga localizadas, pede-se determinar:

- O menor diâmetro comercial para a tubulação BD capaz de conduzir a vazão de 70 L/s, sob a condição de carga de pressão na tubulação superior ou igual a 2,0 m.
- A perda de carga adicional dada por uma válvula de controle de vazão, a ser instalada próxima ao ponto D, para regular a vazão de 70,0 L/s, exatamente.



6.6 - Materiais da adutora

- **Materiais metálicos:**

- Aço
- Ferro fundido dúctil



Aço



Ferro Fundido Dúctil

- **Materiais não metálicos:**

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



Polietileno de Alta Densidade

Tubulação	Diâmetros	Comprimento	Classes	revestimento	Juntas
Ferro fundido dúctil	16 opções de 50 a 1200 mm	6 a 8 m	K-9, K-7 e 1 Mpa	<u>Interno</u> : argamassa de cimento <u>Externo</u> : zinco e pintura betuminosa	- Elástica - Elástica travada - Mecânica - Flanges
Polietileno	30 opções de 16 a 1200 mm	limitado pelo transporte, até centenas de metros sem junta	8 opções de 32 a 250 mca	Sem	- Solda termoplástica - Flanges

6.7 – Operação

Condições operacionais:

- Condição normal → condição prevista no projeto
- Condição emergencial → falha operacional de dispositivos
- Condição catastrófica → acidente operacional

Enchimento de adutoras

- Condição para enchimento → expulsão plena de ar, com a gradativa e lenta admissão de água
- Velocidade média para enchimento: 0,3 m/s
- Válvulas para expulsão de ar: ventosas

Remoção mecânica de ar

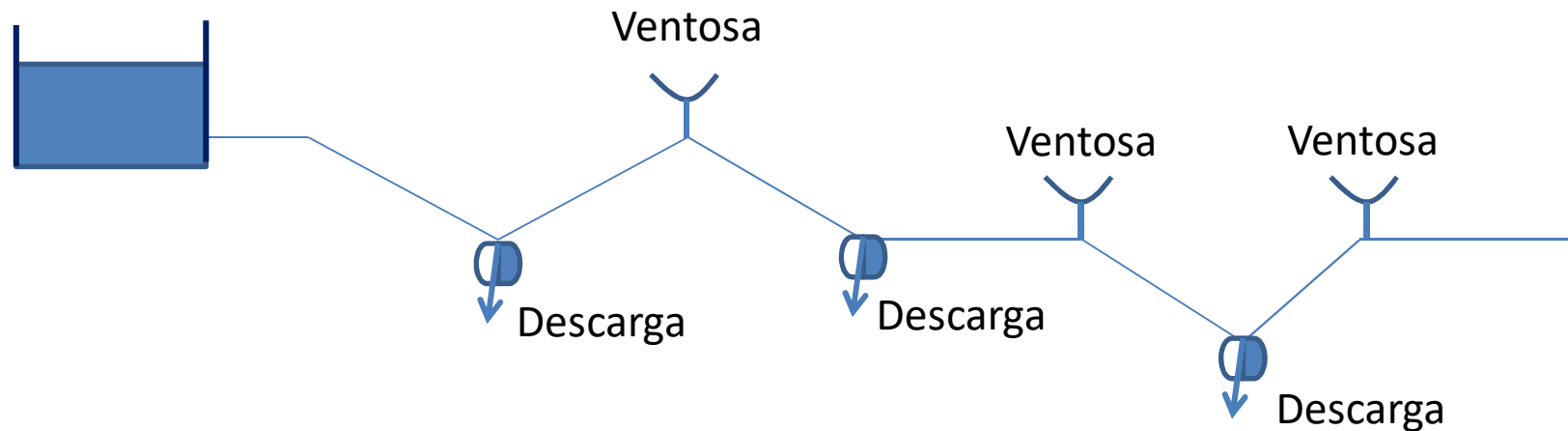
VENTOSAS – Válvulas de expulsão de ar

Dimensionamento: para a vazão lenta de enchimento da linha ($v \sim 0,3 \text{ m/s}$)

Q entrada de água = Q saída do ar

Tipos de válvulas de expulsão de ar:

- Ventosa simples
- Ventosa dupla, de pequeno e grande orifício
- Válvula de admissão de ar



Ventosa dupla (tríplice função)

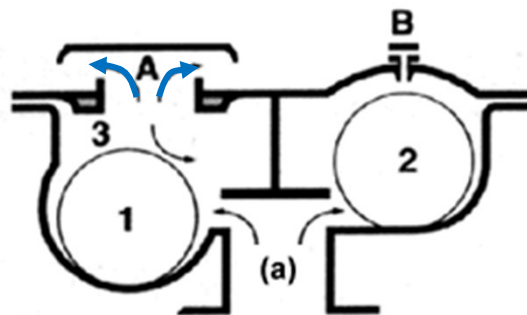
Triplo efeito combinado:



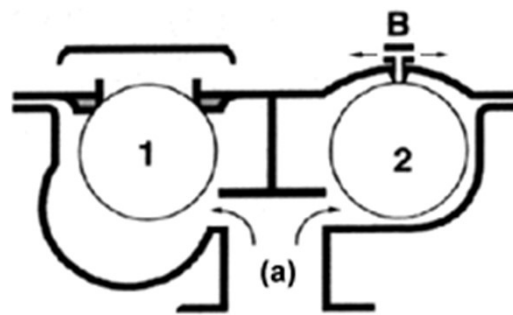
Fonte: http://www.hubel.pt/catalogo/detalhes_produto.php?id=61&empresa=

Funcionamento:

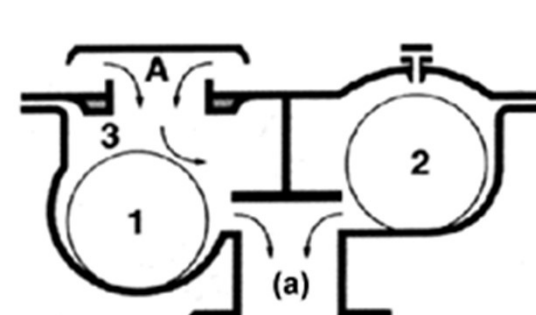
Enchimento



Operação das bombas

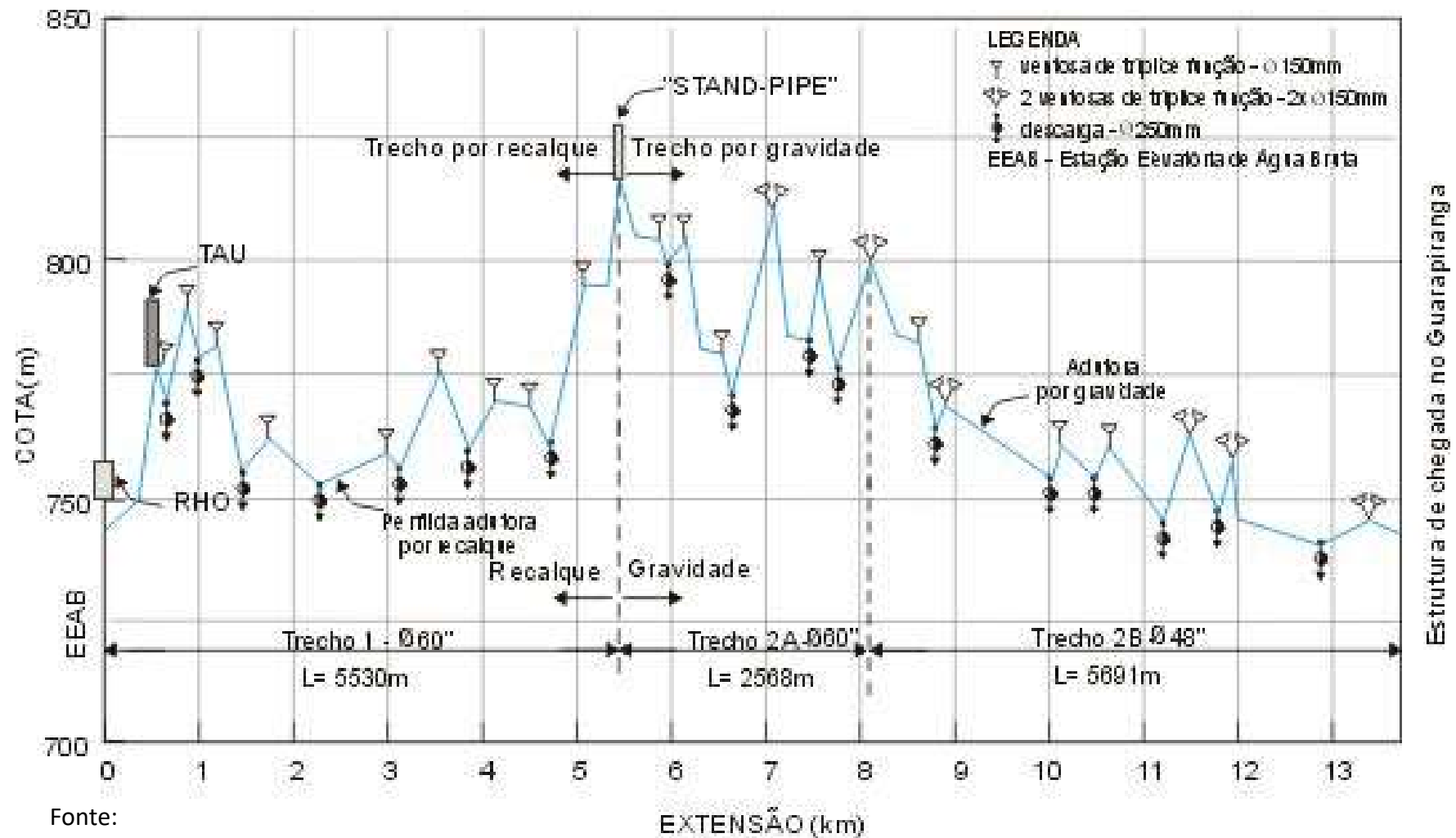


Esvaziamento



Fonte: http://www.saint-gobain-canalizacao.com.br/ln_valvulas/vtf02.asp

Perfil da tubulação que interliga a estação elevatória de água e a represa Guarapiranga, com equipamentos de proteção e órgãos acessórios - Sistema Taquacetuba

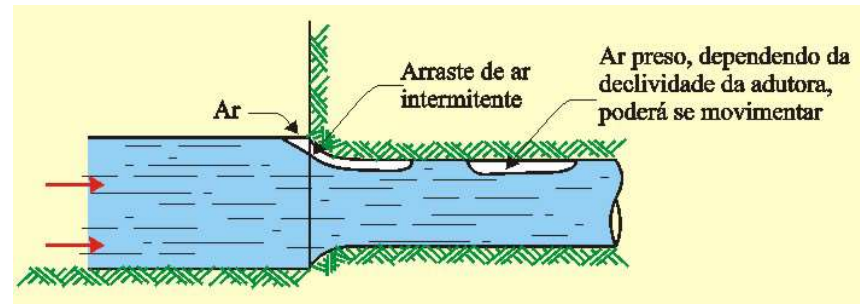


Fonte:
Shiromoto, Leitão e Tsutiya, 2005

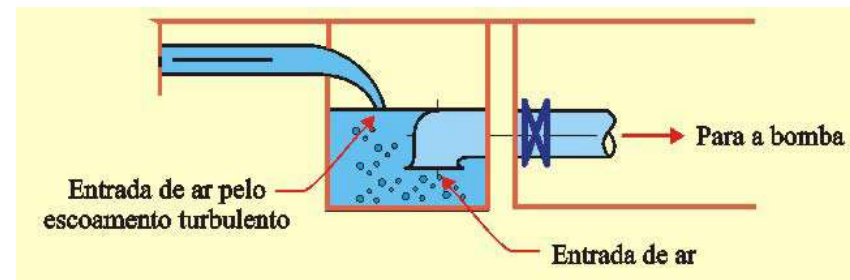
Formas de entrada de ar

Fonte: EPUSP – PHD2412

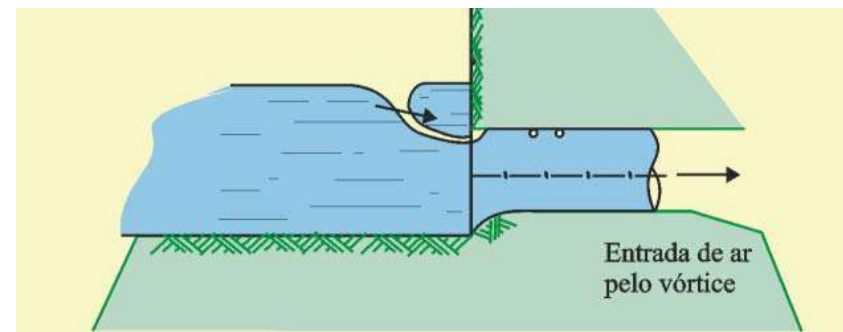
Nível muito baixo



Descarga superior com introdução de ar



Formação de vórtice



Consequências do acúmulo de ar nas adutoras

Acúmulo de ar em adutoras

- Acréscimo de perda de carga → paralisação
- Emulscionamento da água
- Dificuldades operacionais dos filtros
- Diminuição da eficiência das bombas
- Corrosão das tubulações

Mau funcionamento das ventosas:

Bloqueio de adutoras

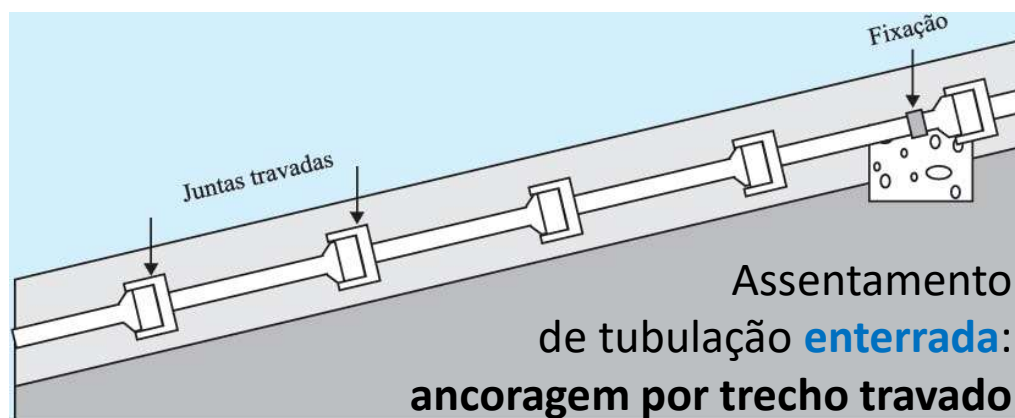
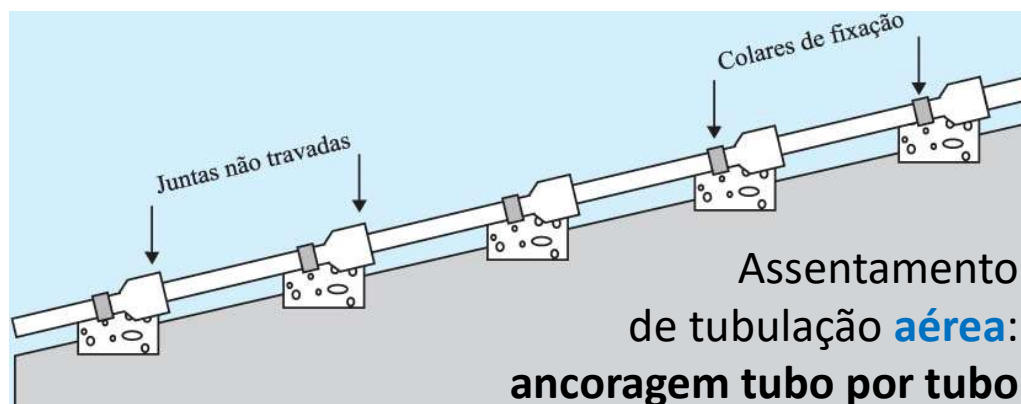
Paralisação total do escoamento ocasionada pela existência de ar confinado nos pontos altos da adutora

6.8 – Dispositivos de proteção das adutoras

- Blocos de ancoragens
- Proteção contra corrosão
- Proteção contra os transitórios hidráulicos

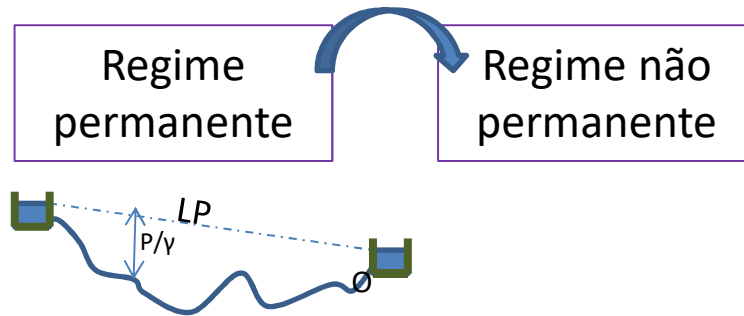
Blocos de ancoragem

ANCORAGEM DE ADUTORAS EM DECLIVE



Transiente hidráulico em condutos forçados

Transiente refere-se a alguma situação em que o escoamento é não permanente.



Mudança provocada por:

- Abertura e fechamento de uma válvula
- Parada de uma bomba
- Rompimento de uma tubulação

Se mudança
é **LENTA**

Compressibilidade não afeta significativamente o escoamento
Movimento do fluido ~ Corpo sólido (oscilação de massa)

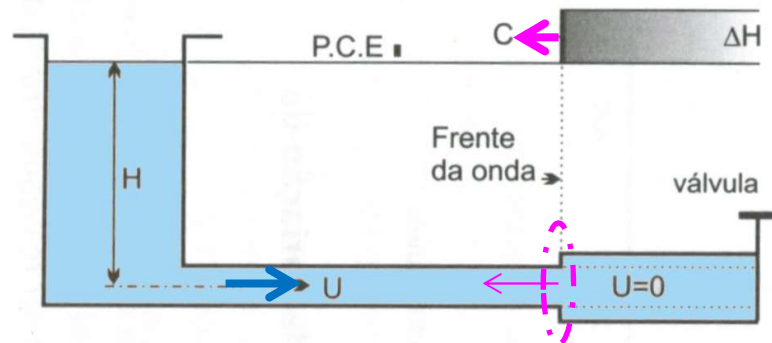
Se mudança
é **RÁPIDA**

Surge onda de pressão que percorre toda a tubulação
Choque violento das ondas sobre as paredes do conduto e o som destes: vaivém de um Aríete → conhecido por GOLPE DE ARÍETE

Golpe de ariete

Propagação da onda de pressão

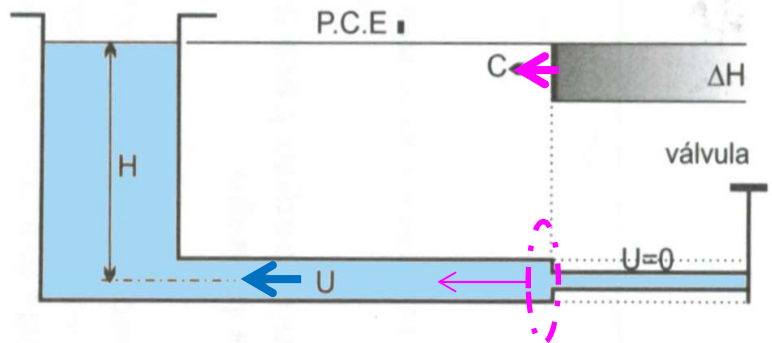
Fonte: Heller



1ª fase $0 < t < L/C$

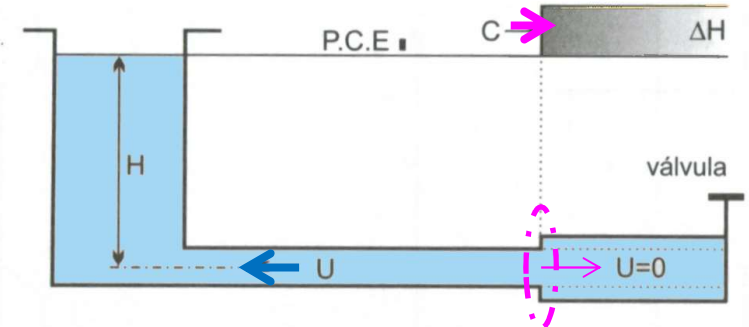
Início: Fechamento da válvula

Fim: Frente da onda atingindo reservatório



3ª fase $2L/C < t < 3L/C$

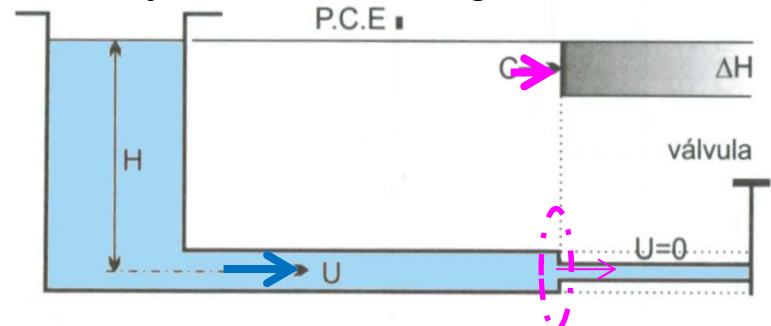
Início: Quando surge uma depressão ($-\Delta H$), onda da válvula para o reservatório. Tubo submetido a uma carga ($H - \Delta H$)



2ª fase $L/C < t < 2L/C$

Início: Retorno do excesso de água, acumulado na primeira fase, para o reservatório

Fim: Todo excesso de água retornou e toda tubulação com a mesma carga inicial H



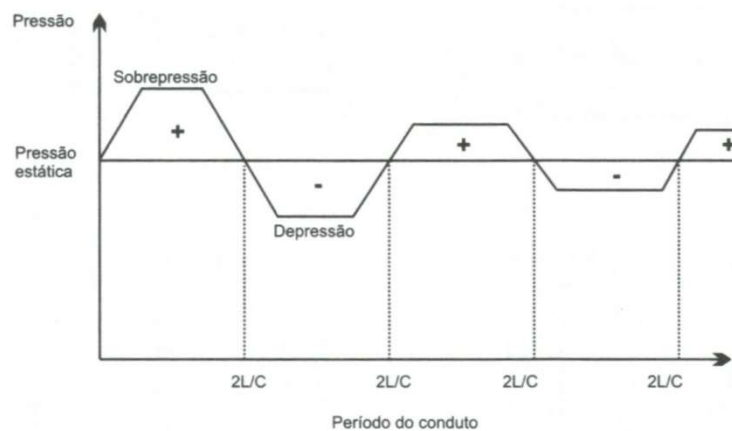
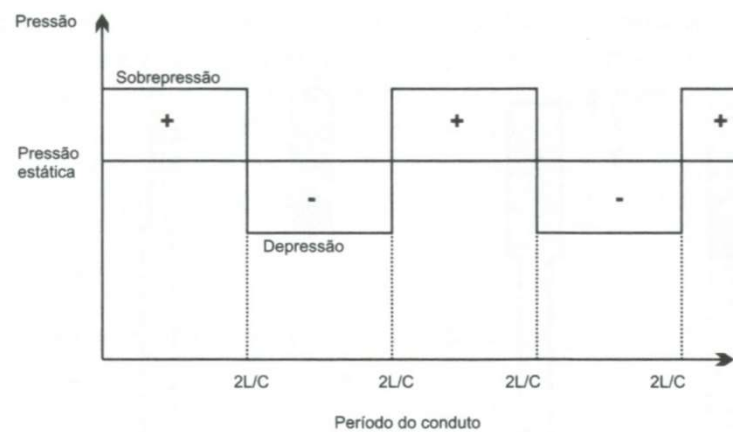
4ª fase $3L/C < t < 4L/C$

Tubo reage para voltar às condições normais

Transiente hidráulico

Evolução da pressão

Fonte: Heller



A intensidade do golpe de aríete depende:

- Compressibilidade do fluido, que por sua vez depende da temperatura
- Elasticidade do tubo
- Tempo em que é realizada a alteração da velocidade

Efeitos danosos do golpe de aríete:

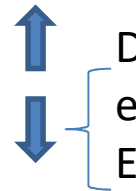
- Rompimento da tubulação pelo excesso de pressão
- Colapso da tubulação pela depressão

Para minimizar problemas de pressões muito elevadas:

- Alteração do traçado da adutora para evitar pontos muito baixos
- Reduzir a celeridade
- Operação das válvulas (abertura e fechamento)
- Dispositivos de proteção (para eliminar ou reduzir os efeitos indesejáveis)
 - a) Volante colocado na bomba (pequenas instalações)
 - b) Válvulas redutoras de pressão (antigolpe, de alívio)
 - c) Reservatórios intermediários para estabelecimento da pressão atmosférica no nível de água

Reduzir a celeridade

$$C = \frac{\sqrt{\frac{K}{\rho}}}{\sqrt{1 + \frac{K D \Psi}{E e}}}$$



C: celeridade efetiva de propagação da onda de pressão, em m/s;

K: módulo de elasticidade volumétrica da água, em kgf/m²; $\neq(T)$ Tabela

ρ : massa específica da água, em kgf.s².m⁻⁴; $\neq(T)$ Tabela

D: diâmetro da tubulação, em mm;

e: espessura da parede do tubo, em mm;

E: módulo de elasticidade linear do material do tubo, em kgf/m²;

Ψ : fator relativo à fixação do conduto; $\neq(\mu \rightarrow \text{mat. do tubo})$

μ : coeficiente de Poisson do material de que é feito o tubo, adimensional.

$E = 2,11 \times 10^{10}$ kgf/m² e $\mu = 0,27$ para o aço;

$E = 1,55 \times 10^{10}$ a $1,73 \times 10^{10}$ kgf/m² e $\mu = 0,25$ para o ferro fundido;

$E = 2,46 \times 10^8$ a $3,52 \times 10^8$ kgf/m² e $\mu = 0,45$ para o PVC rígido a 20° C.

NBR 591/91:

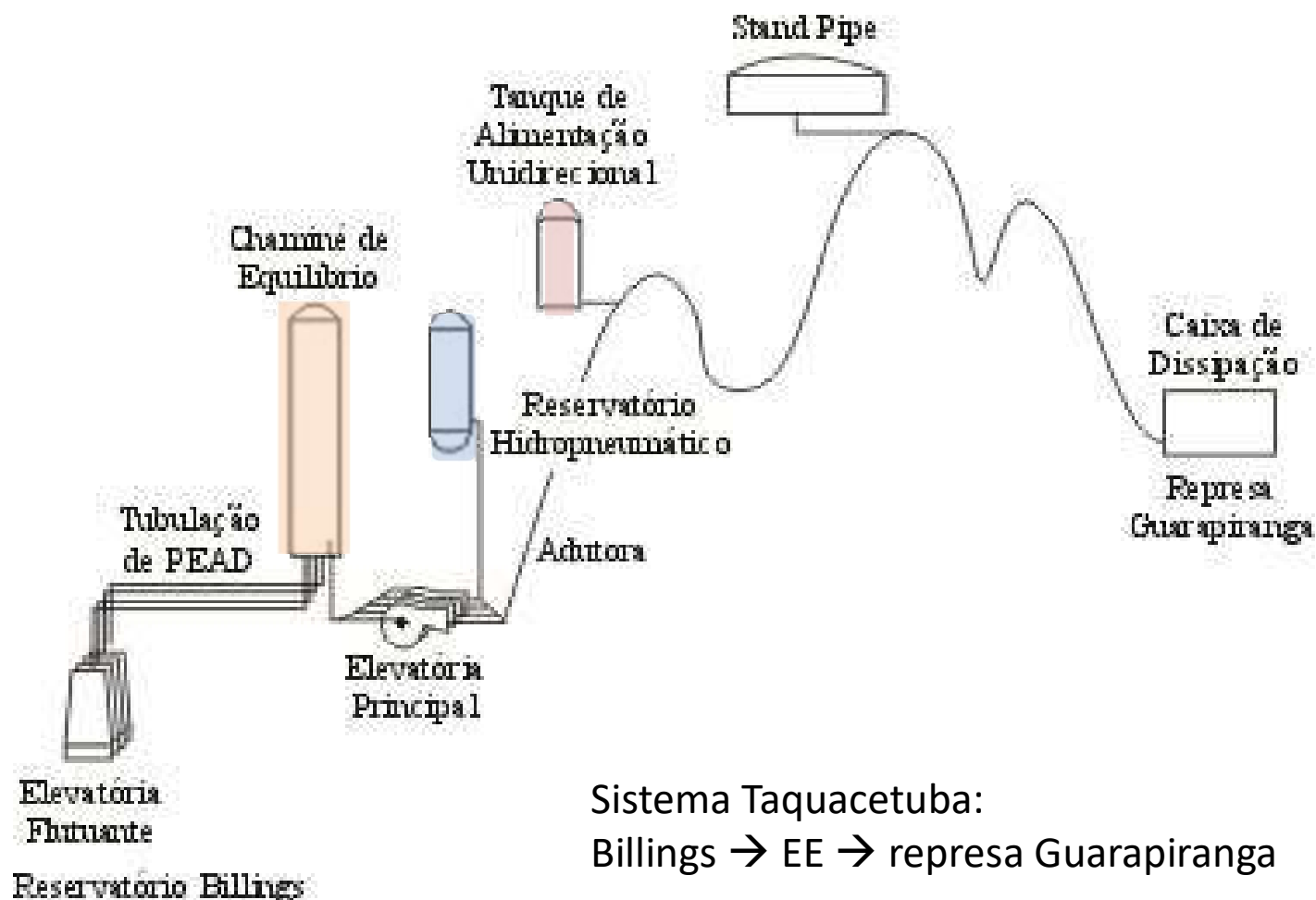
$\Psi = (5/4) - \mu$: conduto ancorado contra movimento longitudinal numa extremidade e livre na outra

$\Psi = 1 - \mu^2$: conduto ancorado sem movimento longitudinal em toda a sua extensão (conduto enterrado)

$\Psi = 1 - (\mu/2)$: conduto com junta de dilatação, entre ancoragens, ao longo de toda a sua extensão

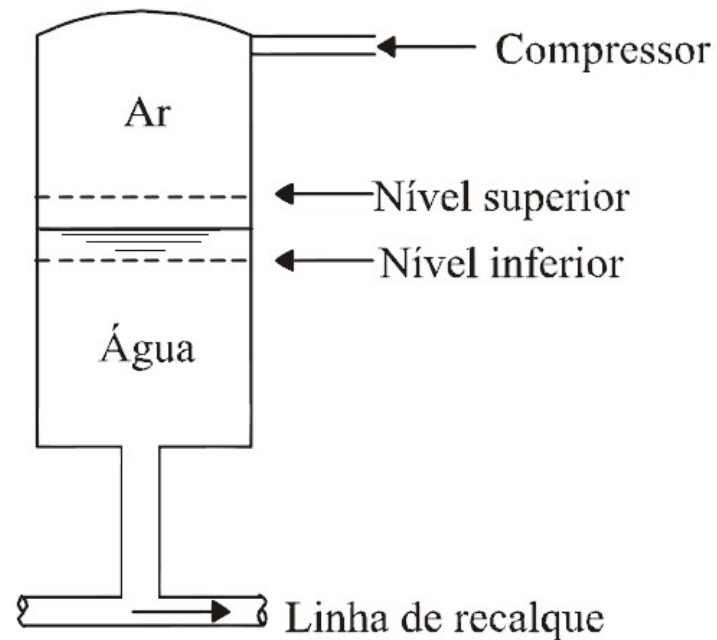
$\Psi = 1$: conduto assentado com juntas de dilatação em toda sua extensão

Proteção contra os transitórios hidráulicos



Fonte:
Shiromoto, Leitão e Tsutiya, 2005

RHO - Reservatório Hidropneumático



- Reservatório metálico com **água + ar comprimido**
- Amortece pressões mínimas: cedendo água para tubulação
- Amortece pressões máximas: recebendo água da tubulação
- Manutenção do ar comprimido exige cuidados especiais

Chaminé de equilíbrio



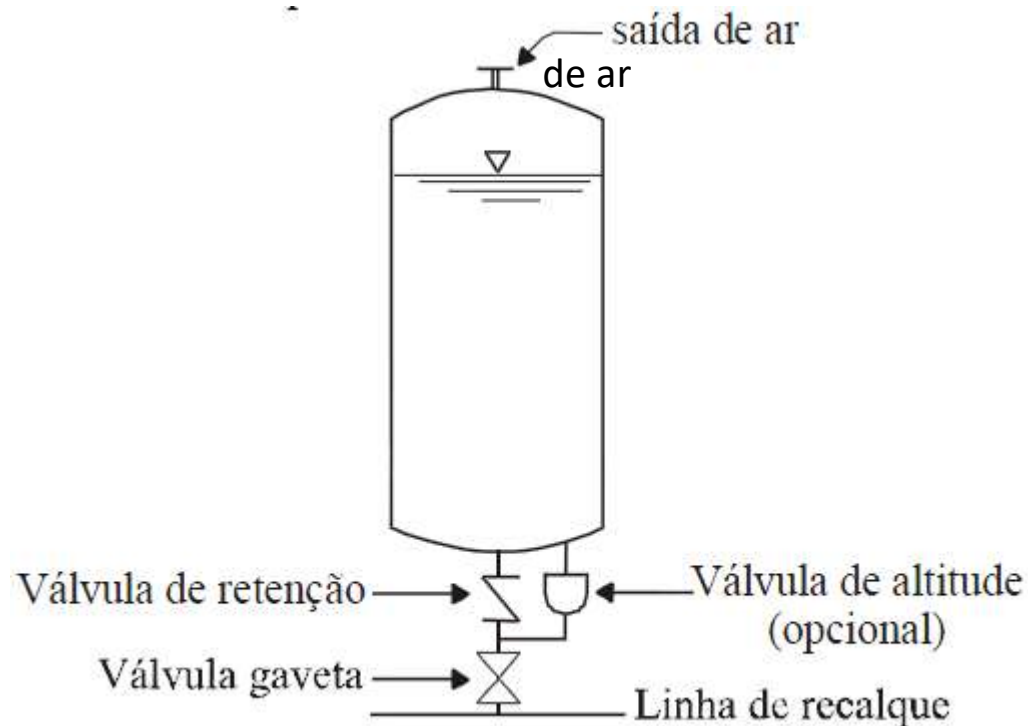
Fonte:

Shiromoto, Leitão e Tsutiya, 2005

- Usado tanto para **subpressões** quanto **sobrepessões**
- Tubulação vertical aberta para a atmosfera → permite oscilação do nível de água → altura da chaminé é dependente do nível piezométrico → emprego quando altura geométrica é reduzida ou posição em condição topográfica mais favorável
- Posição: em pontos intermediários da adutora de recalque (as ondas de pressão são refletidas mais rapidamente e uma manobra antes considerada rápida ($t < 2L_1/c$), torna-se manobra lenta ($t < 2L_2/c$) para $L_2 < L_1$, sendo L =comprimento da tubulação)

Ref. Heller

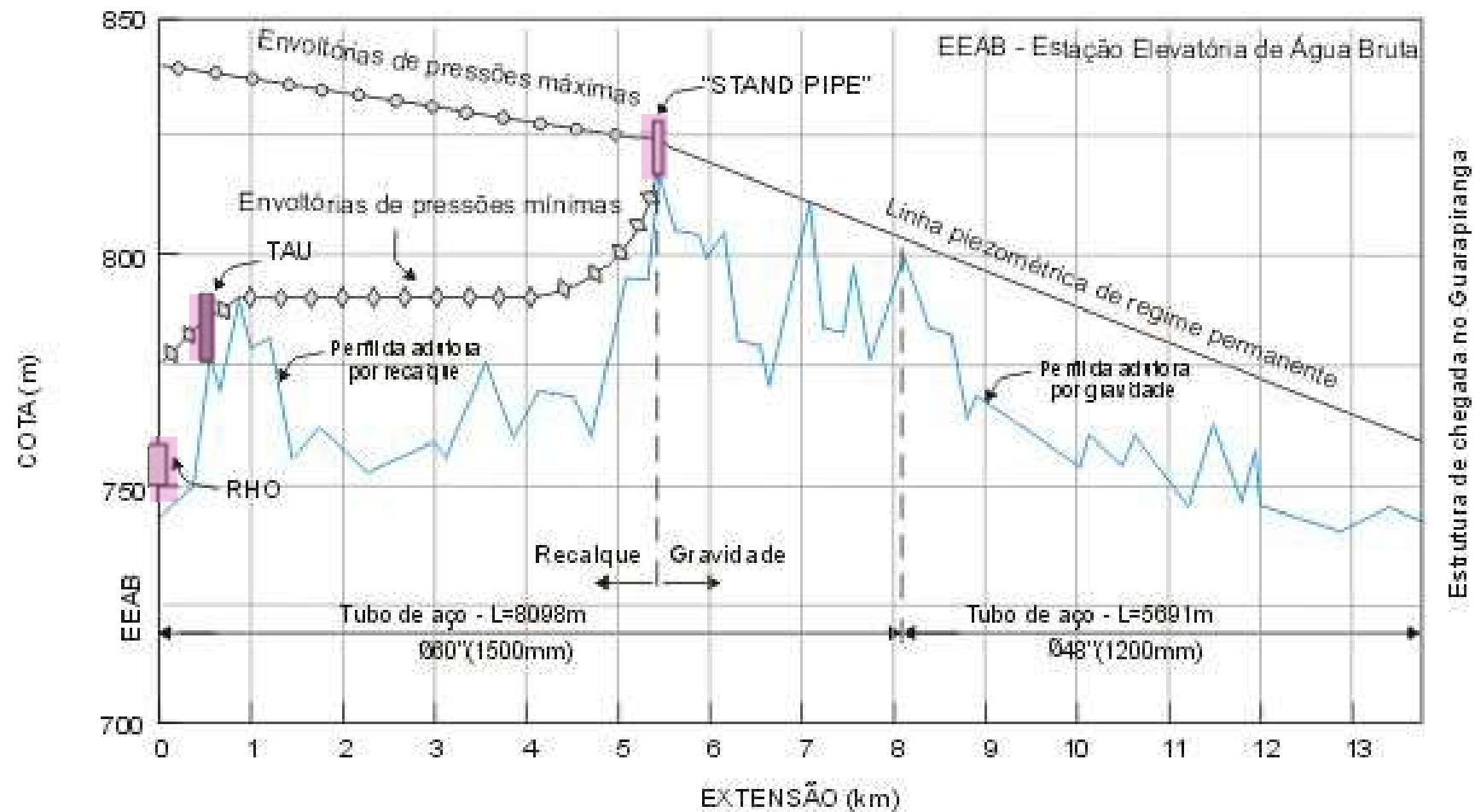
TAU – Tanque de Amortecimento Unidirecional



Fonte:
Shiromoto, Leitão e Tsutiya, 2005

TAU

- Funciona semelhante à chaminé de equilíbrio, porém **só alimenta a tubulação** quando da ocorrência de subpressões → TAU não precisa ser muito elevado e deve se localizar nos pontos mais sujeitos à separação da coluna líquida.



Fonte:
Shiromoto, Leitão e Tsutiya, 2005

Estudo de Caso – Transiente em Adutora

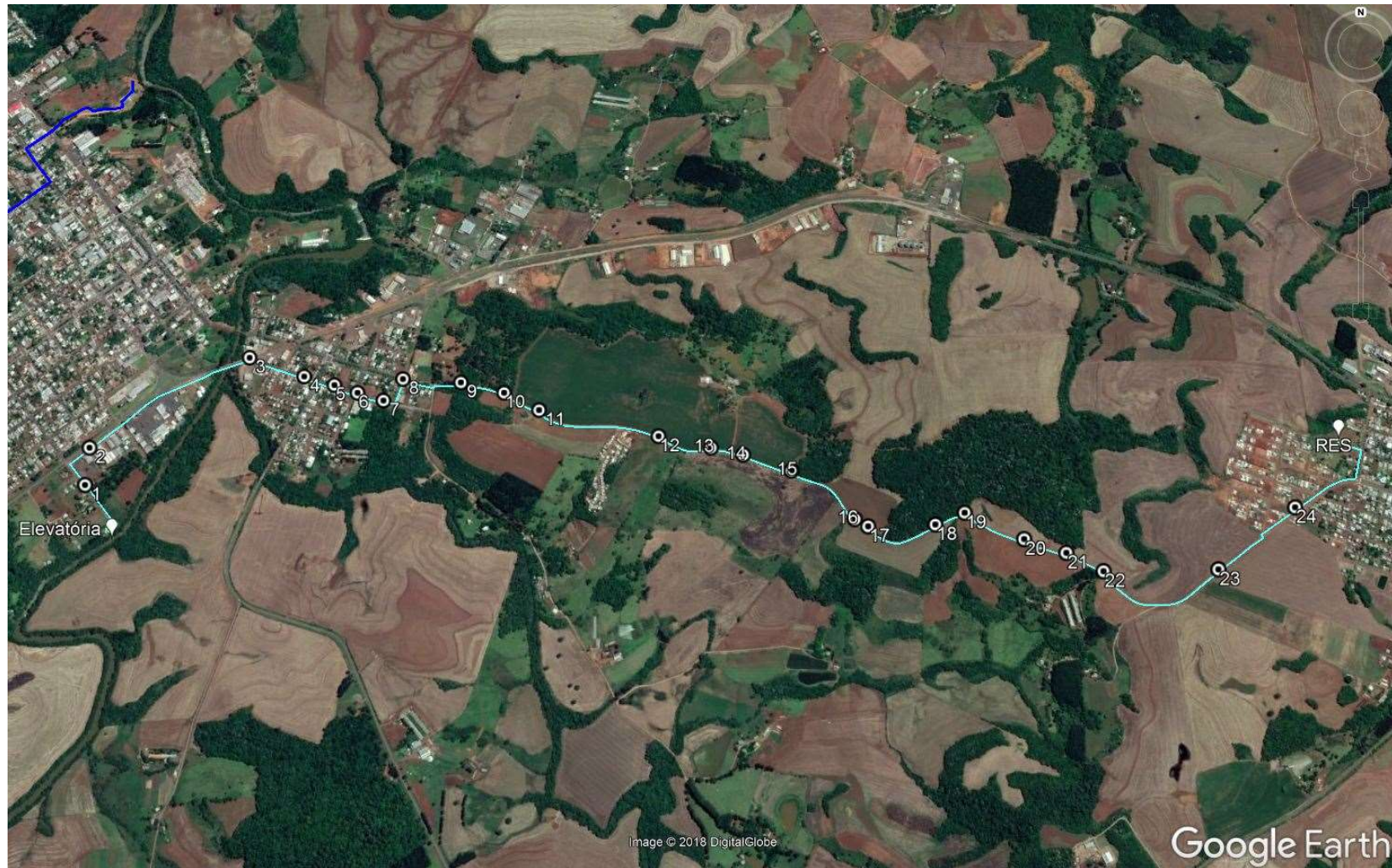
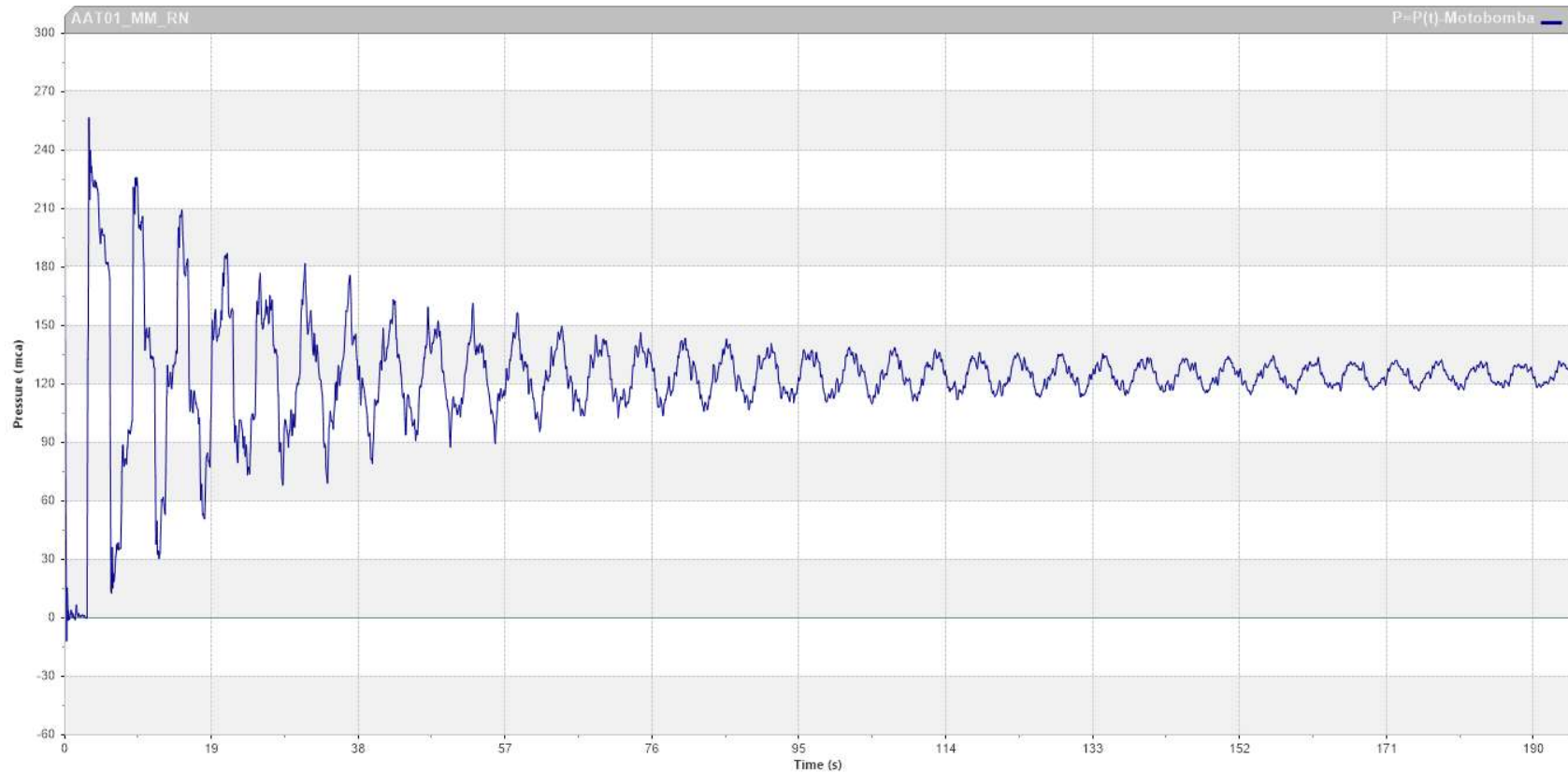


Gráfico típico de regime transiente



6.9 – Limpeza e reabilitação das adutoras



Deposição de minerais insolúveis em tubo de ferro fundido dúctil com revestimento. Adutora de água tratada, ϕ 250 mm. Idade da tubulação ~ 15 anos. Coeficiente de rugosidade $C \sim 85$ (Hazen-Williams)



Incrustação em tubo de ferro fundido dúctil sem revestimento. Adutora de água bruta, ϕ 250 mm. Idade da tubulação ~ 25 anos. Coeficiente de rugosidade $C \sim 70$ (Hazen-Williams)

Fonte: EPUSP – PHD2412

Pig

Dispositivo para manutenção de tubulações (tratamento interno)

Dispositivo inserido no duto. Ele viaja livremente, dirigido pelo próprio fluxo da água.

Função:

- Limpeza do tubo - *Utility PIGs; Cleaning PIGs*
 - Durante o seu percurso, remove as incrustações, depósitos orgânicos ou qualquer material aderido
- Inspeção interna de falhas e corrosão - *Inline Inspection PIGs; Smart PIGs*
 - *Deteção de trincas, fugas, falhas, corrosão, deformações e defeitos, mensuração de depósitos de resíduos.*
- Tratamento de tubulações
- Isolamento de tubulações - *Special Duty PIGs*

Material:

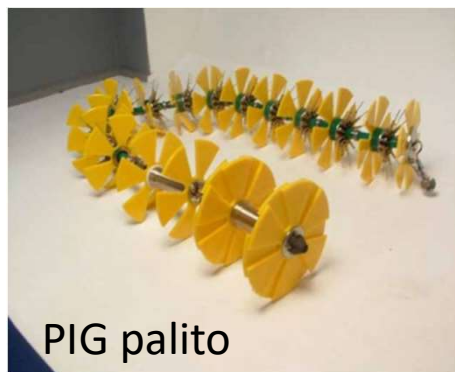
espuma, aço, poliuretano, plástico



<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAejFwAC/pig-tecnologia-tubulacoes>



Multi-Size PIG WCK3



PIG palito

PIG instrumentado
Método "perfilagem de
alta resolução para
detecção e
quantificação da
corrosão interna de
tubulações" - patente
PETROBRAS

<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAEjFwAC/pig-tecnologia-tubulacoes>



Isolamento de tubulações
- *Special Duty PIGs*



<http://www.pollypig.com/Pages/Cast/Polly%20Tri%20Cup%20pigs.html>



PIG com sistema GPS



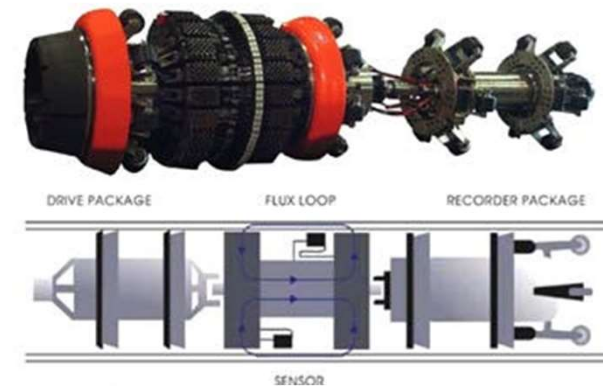
Plataforma lançadora



PIG instrumentado

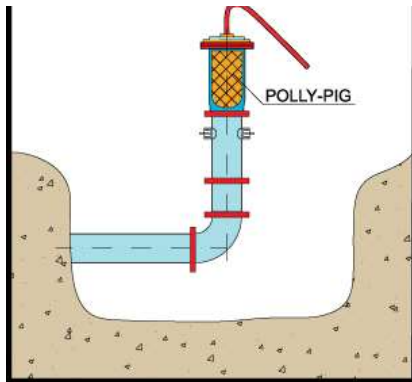
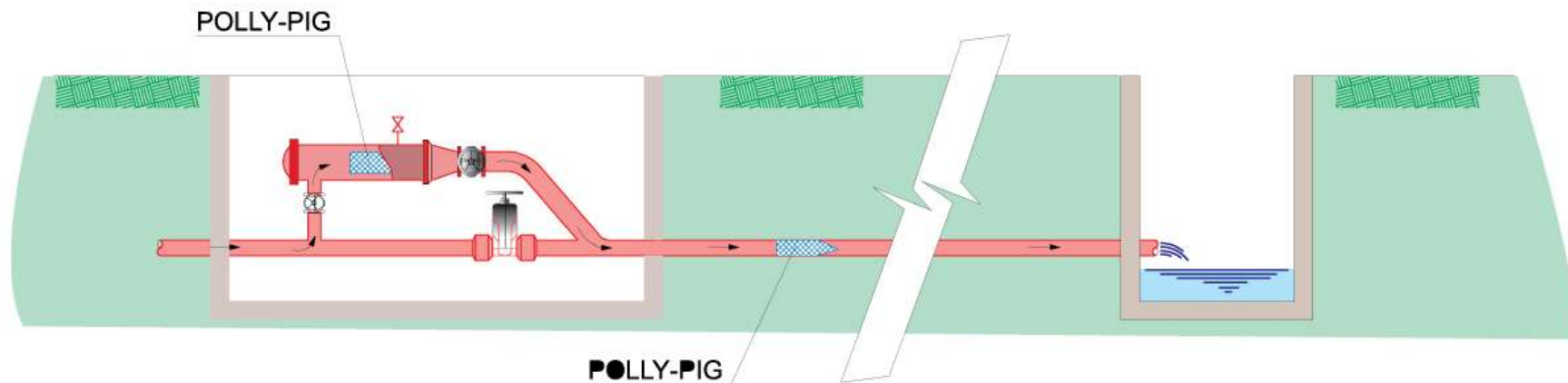


PIG geométrico - PIG Inercial

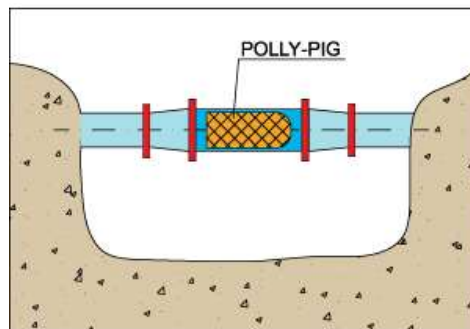


Pacote de unidade Loop de
fluxo Pacote gravador

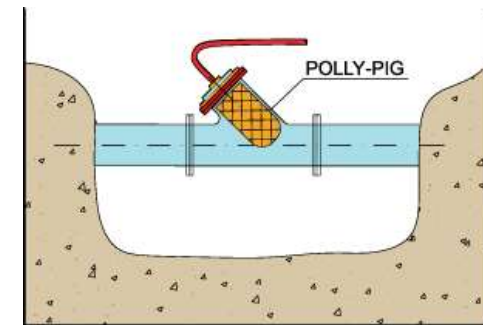
Entrada e saída do “polly-pig” em uma adutora



Introdução do “polly-pig” através de hidrante, sem registro



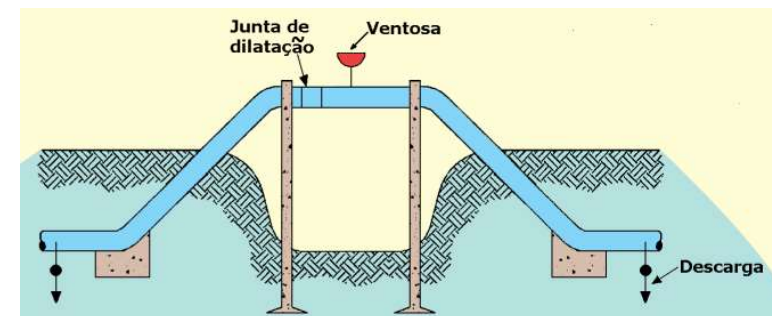
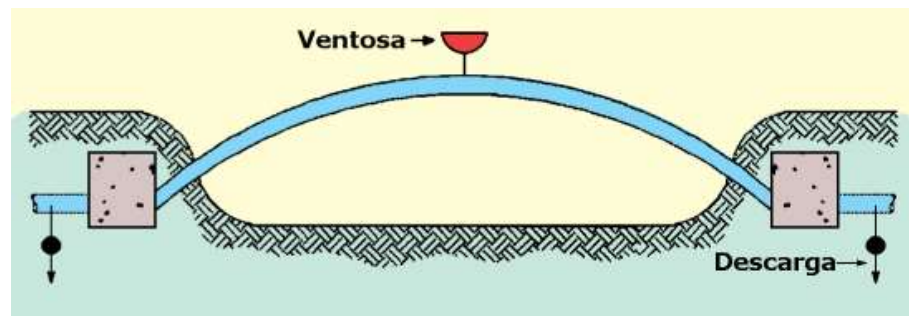
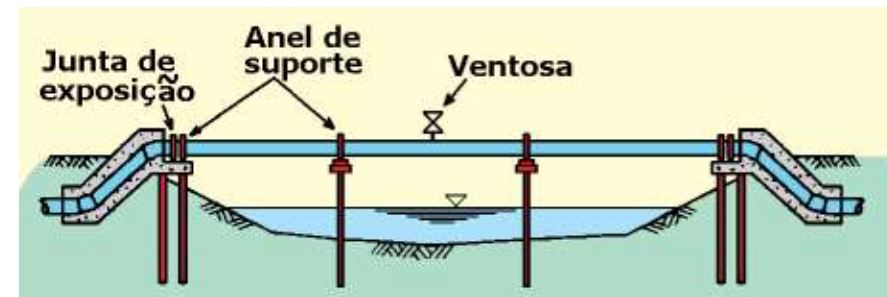
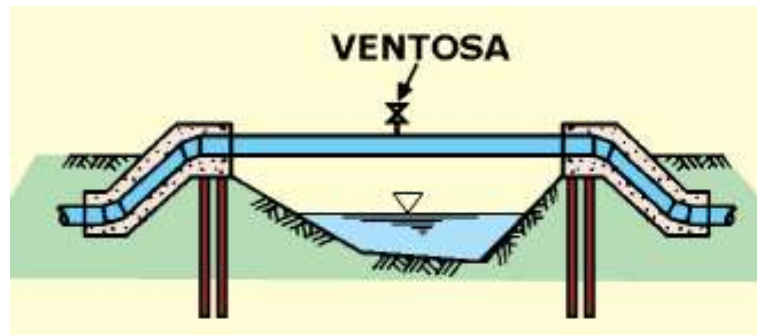
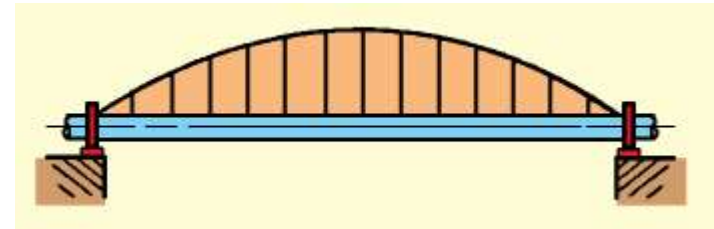
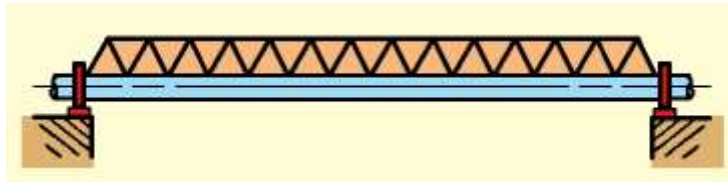
Introdução de “polly-pig” através de uma peça



Introdução do “polly-pig” através de uma peça em Y

Fonte: EPUSP – PHD2412

6.10 - Exemplos de travessia aérea em cursos de água



Travessia aérea

Fonte: EPUSP – PHD2412 - http://200.144.189.97/phd/default.aspx?id=28&link_uc=disciplina





Prof. Daniel Costa dos
Santos (DHS/UFPR)



Prof. Daniel Costa dos Santos (DHS/UFPR)



Prof. Daniel Costa dos
Santos (DHS/UFPR)



Registros



Prof. Daniel Costa dos
Santos (DHS/UFPR)

Literatura

- TSUTIYA, Milton Tomoyuki. 2006. Abastecimento de Água. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 643p. 4ª. Edição
- HELLER, L.; PADUA, V. L. Abastecimento de Água para Consumo Humano. Belo Horizonte: Ed. UFMG. 2010. 2ª Edição
- SHIROMOTO, Leitão e TSUTIYA, M.T.. 2005. I-037 – Operação do Sistema Taquacetuba para a Transferência de Água do Reservatório Billings para Represa Guarapiranga – Região Metropolitana de São Paulo. 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental
- BAPTISTA, M.; LARA, M. Fundamentos de Engenharia Hidráulica. Belo Horizonte: Ed. UFMG. 2010. 3ª Edição revista e ampliada.