

SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DAS COMUNIDADES DIRETAMENTE AFETADAS PELO PISF

SISTEMA COITÉ - EIXO NORTE

ADUTORA DE ÁGUA BRUTA (AAB)

PLANILHA DE DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO

Estacas Projeto	Estaca Cálculo	D. Parcial (m)	D Acum. (m)	Q (L/s)	Qcont (L/s)	D _{econ} (mm)	DI (mm)	ε (mm)	K	No. REYNOLDS	f	V (m/s)	j (m)	hf (m)	TN (m)	GIT (m)	PIEZ. (m)	PRESS. DISP. (m)	MAT.	OBS.
0+000	0+000	0,00	0,00	28,05		167,48	206,50	0,0450	6,650	171.155,95	0,0176	0,84	0,000	0,238	392,61	394,61	407,96	13,35	FoGo	Captação Flutuante
0+000	0+000	0,00	0,00	28,05		167,48	202,20	0,0015	0,45	174.795,76	0,0160	0,87	0,000	0,018	392,611	396,111	407,70	11,59	PVC DEFoFo	
0+020	0+020	20,00	20,00	28,05		167,48	202,20	0,0015	0,45	174.795,76	0,0160	0,87	0,062	0,018	398,007	396,683	407,63	10,94	PVC DEFoFo	
0+040	0+040	20,00	40,00	28,05		167,48	202,20	0,0015	0,45	174.795,76	0,0160	0,87	0,062	0,018	397,566	396,210	407,55	11,34	PVC DEFoFo	
0+049	0+049	8,88	48,88	28,05		167,48	202,20	0,0015	0,45	174.795,76	0,0160	0,87	0,027	0,018	397,500	396,000	407,50	11,50	PVC DEFoFo	
0+049	0+049	0,00	48,88	28,05		167,48	225,00	0,2600	0,000	157.083,13	0,0221	0,71	0,000	0,000	397,50	407,50	407,50	0,00	FOFO K9	ETA

SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DAS COMUNIDADES DIRETAMENTE AFETADAS PELO PISF
SISTEMA COITÉ - EIXO NORTE
ADUTORA DE ÁGUA BRUTA (AAB)
DIMENSIONAMENTO ESTAÇÃO ELEVATÓRIA EEAB

1. DIMENSIONAMENTO DA TUBULAÇÃO

1.1 - CÁLCULO DOS DIÂMETROS ECONÔMICOS

Para o dimensionamento da tubulação da adutora foi utilizada a fórmula apresentada abaixo, uma vez que o sistema funcionará apenas algumas horas por dia.

$$D = k \sqrt{Q}$$

Sendo:

D: Diâmetro econômico segundo a Fórmula de Bresse (m);

k: Fator de correção que varia 0,9 a 1,4 (adimensional);

Q: Vazão na tubulação de recalque (m³/s).

1.2 - CÁLCULOS DAS VELOCIDADE NOS TRECHOS

Para o cálculo da velocidade do fluxo na tubulação usou-se a equação a seguir:

$$V = \frac{Q}{\left(\frac{\pi \cdot D^2}{4} \right)}$$

Sendo:

V: Velocidade do fluxo na tubulação (m³/s);

Q: Vazão na tubulação de recalque (m);

D: Diâmetro da tubulação (m).

1.3 - CÁLCULO DA PERDA DE CARGA AO LONGO DA ADUTORA

Para o cálculo da perda de carga linear na tubulação utilizou-se a fórmula Universal, recomendada pela Norma NB-591 de dezembro de 1991 da ABNT. A fórmula é descrita a seguir:

$$j = f \frac{L_{tubulação}}{D_{projeto}} \frac{V^2}{2g}$$

Sendo:

j: Perda de carga linear pela Fórmula Universal (m);

f: fator de atrito (adimensional);

L: Comprimento da tubulação de recalque (m);

D: Diâmetro da tubulação (m);

V: Velocidade do fluxo na tubulação (m/s);

g: Aceleração da Gravidade (m/s²).

Para este cálculo é necessário a determinação do fator de atrito (f), dado pela fórmula de Swamee-Jain, apresentada a seguir:

$$f = \frac{0,25}{\left[\log \left(\frac{\epsilon}{3,7D} + \frac{5,74}{Re^{0,9}} \right) \right]^2}$$

Sendo:

f: Fator de atrito;

ε: Rugosidade do material da tubulação (m)

D: Diâmetro do tubo (m)

Rey: Número de Reynolds.

O fator de atrito, por sua vez, é função do número de Reynolds, determinado pela equação apresentada a seguir:

$$Re_y = \frac{VD_h}{\nu}$$

Onde:

Rey = Número de Reynolds

V = Velocidade do fluxo na tubulação (m/s)

SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DAS COMUNIDADES DIRETAMENTE AFETADAS PELO PISF
SISTEMA COITÉ - EIXO NORTE
ADUTORA DE ÁGUA BRUTA (AAB)
DIMENSIONAMENTO ESTAÇÃO ELEVATÓRIA EEAB

Dh = Diâmetro hidráulico (m)

v = Viscosidade cinemática do fluido (20°C - $1,007 \times 10^{-6}$ m²/s)

O diâmetro hidráulico é numericamente igual ao diâmetro da tubulação por se tratar de um escoamento em seção plena, isto é, toda a parede interna do tubo está em contato com o líquido escoado. A metodologia utilizada é sugerida por Porto, Rodrigo Melo - EESC/USP, Hidráulica Básica, 1988.

1.4 - CÁLCULO DA PERDA DE CARGA TOTAL

A perda de carga total na tubulação é obtida pela equação a seguir:

$$H_t = j + h_f$$

Onde:

Ht = Perda de carga total na tubulação (m)

j = Perda de carga ao longo da tubulação (m)

hf = Perda de carga localizada (m)

Trecho	Diâmetro Interno (mm)	Extensão (m)	Vazão (m³/s)	Velocidade (m/s)	Reynolds	ϵ (m)	f	j	k	hf	ΔH
1	206,50	0	0,02805	0,838	171844,09	0,000045	0,01759	0,0000	6,6500	0,2380	0,2380
2	187,60	10,00	0,02805	1,015	189090,37	0,000015	0,01577	0,0441	3,3000	0,1733	0,2174
3	202,20	38,88	0,02805	0,874	175494,34	0,000015	0,016	0,1198	2,5000	0,0973	0,2171
4	225,00	0,00	0,02805	0,705	157522,34	0,00026	0,02205	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
5				0	0		0	0,0000		0,0000	0,0000
Total		48,88									0,6725

2 DIMENSIONAMENTO DA ESTAÇÃO ELEVATÓRIA

2.1 - CÁLCULO DA ALTURA MANOMÉTRICA

2.1.1 - CARACTERÍSTICAS TOPOGRÁFICAS

Cota inicial (Zi) 394,61 m
 Cota final (Zf) 407,50 m
 Desnível geométrico (Zf - Zi) 12,89 m

2.1.2 - PERDA DE CARGA NA TUBULAÇÃO (ΔH)

Perda de Carga na Tubulação : 0,67 m

2.1.2 - ALTURA MANOMÉTRICA

$$H_{man} = H_{geo} + \Delta H$$

Hman = altura manométrica 13,56 m
 Hgeo = desnível geométrico 12,89 m
 ΔH = perda de carga ao longo da tubulação 0,67 m

2.2 - PONTO DE OPERAÇÃO DO SISTEMA (BOMBA DE REFERÊNCIA)

PONTO	Q _{total} (L/s)	Nº. De bombas em paralelo	Q _{p/bomba} (L/s)	H (m)
P1	28,05	1,00	28,05	13,60

2.3 - DEFINIÇÃO DO CONJUNTO MOTO-BOMBA

Vazão da Bomba: 28,05 L/s
 Altura Manométrica 13,60 m
 Bomba de Referência: KSB MEGANORM 80-160
 Rotor: 172,00 mm
 Rotação: 1750 rpm
 Eficiência: 79,5 %
 NPSHr: 2,8 m
 Momento de Inércia (GD²): 0,0641 kg.m²
 Peso: 89 Kg

SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DAS COMUNIDADES DIRETAMENTE AFETADAS PELO PISF
SISTEMA COITÉ - EIXO NORTE
ADUTORA DE ÁGUA BRUTA (AAB)
DIMENSIONAMENTO ESTAÇÃO ELEVATÓRIA EEAB

2.4 - POTÊNCIA DOS CONJUNTOS MOTOR-BOMBA

2.4.1 - CÁLCULO DA POTÊNCIA TEÓRICA

$$P_t = \frac{W \cdot Q \cdot H_{man}}{N_b \cdot 75 \cdot E_b \cdot E_m}$$

P _t = Potência em cada conjunto motor-bomba	----- CV
W = Peso específico do líquido a ser recalçado	1000 kg/m³
Q = Vazão de bombeamento	0,0281 m³/s
H _{man} = Altura manométrica na estação elevatória	13,60 mca
N _b = Número de conj. motor-bomba em funcionamento simultâneo	1,00 motor(es)
E _{b1} = Eficiência da bomba na estação elevatória	79,5 %
E _{m1} = Eficiência do motor na estação elevatória	89,00 %

P _t = Potência teórica em cada conjunto motor-bomba	7,19 CV
--	---------

2.4.2 - CÁLCULO DA POTÊNCIA INSTALADA

$$P = P_t \cdot F_{AN} \cdot F_{ABNT}$$

P = Potência instalada em cada conjunto motor-bomba	----- CV
P _t = Potência teórica em cada conjunto motor-bomba	7,19 CV
F _{an} = Fator de acrésc. na potência recomendado por Azevedo Netto	1,20
F _{abnt} = Fator de acréscimo na potência recomendado pela ABNT	1,00

P = Potência instalada em cada conjunto motor-bomba	8,63 CV
---	---------

P _{total} = Potência total instalada na estação elevatória	8,63 CV
---	---------

2.4.3 - DEFINIÇÃO POTÊNCIA COMERCIAL

Potência comercial de cada conjunto motor-bomba da est. elevatória	10,00 CV
--	----------

Potencia comercial total da estação elevatória	10,00 CV
--	----------

2.4.4 - CARACTERÍSTICAS DO MOTOR

Modelo de Referência:	WEG IP55
Potência:	10,00 CV
Caraça:	132S
Rotação:	1760 rpm
Momendo de Inércia (J):	0,0465 kg.m²
Peso:	62 Kg

2.5 - AVALIAÇÃO DO NPSH

$$Z = h_{bomba} - h_{sucção\ mínimo}$$

$$NPSH_{req} = -Z + \frac{P_a - P_v}{\gamma} \times 10 - H_f$$

Em que:

NPSH _{req} = Net Positive Suction Head requerido	----- m
h _{bomba} = Cota do eixo da bomba	396,11 m
h _{sucção mínimo} = Cota do nível mínimo de sucção	394,61 m
Z = Altura de sucção	1,50 m
P _a = Pressão atmosférica	0,95 kg/cm²
P _v = Pressão de Vapor	0,02 kg/cm²
γ = Peso específico da água	1,00 kg/dm³
H _f = Perda de carga na sucção	0,127 m

SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DAS COMUNIDADES DIRETAMENTE AFETADAS PELO PISF
SISTEMA COITÉ - EIXO NORTE
ADUTORA DE ÁGUA BRUTA (AAB)
DIMENSIONAMENTO ESTAÇÃO ELEVATÓRIA EEAB

NPSHreq = Net Positive Suction Head requerido

2,80 m

NPSHdisp = Net Positive Suction Head disponível

7,69 m

NPSHdisp>NPSHreq » Funcionamento OK!

SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DAS COMUNIDADES DIRETAMENTE AFETADAS PELO PISF**SISTEMA COITÉ - EIXO NORTE****ADUTORA DE ÁGUA BRUTA (AAB)****PLANILHA DE DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO****ELEVATÓRIA EEAB : COEFICIENTES "K" DAS SINGULARIDADES**

TIPO:	K	QUANT.	K PARCIAL
Sucção			
Redução	0,15	1,00	0,15
Junta de desmontagem	0,40	0,00	0,00
Crivo	0,75	1,00	0,75
Válvula de gaveta aberta	0,20	0,00	0,00
Válvula de pé	1,75	1,00	1,75
Entrada normal em canalização	0,50	1,00	0,50
Curva 90	0,40	1,00	0,40
Outros	1,00	0,00	0,00
Ks			3,55
Barrilete			
Curva 90	0,40	3,00	1,20
Curva 45	0,20	4,00	0,80
Redução	0,15	0,00	0,00
Ampliação	0,30	1,00	0,30
Tê direto	0,60	1,00	0,60
Tê lateral	1,30	0,00	0,00
Tê bilateral	1,80	0,00	0,00
Válvula de gaveta aberta	0,20	1,00	0,20
Válvula de retenção	2,50	0,00	0,00
Junta desmontagem	0,40	0,00	0,00
Outros	5,00	0,00	0,00
Kb			3,10
K Total			6,65

SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DAS COMUNIDADES DIRETAMENTE AFETADAS PELO PISF

SISTEMA COITÉ - EIXO NORTE

ADUTORA DE ÁGUA BRUTA (AAB)

PLANILHA DE DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO

AAT-03 - ETA IV AO CENTRO DE RESERVAÇÃO: COEFICIENTES "K" DAS SINGULARIDADES

TIPO:	K	QUANT.	K PARCIAL
Adutora			
Curva 90	0,40	0,00	0,00
Curva 45	0,20	0,00	0,00
Curva 22	0,10	0,00	0,00
Curva 11	0,10	0,00	0,00
Válvula de gaveta	0,20	1,00	0,20
Tê direto	0,60	1,00	0,60
Saída de canalização	1,00	1,00	1,00
Ka			1,80

NÚMERO DE ESTACAS:

4,00 und

Kmédio

0,45

**SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DAS COMUNIDADES DIRETAMENTE AFETADAS PELO PISF
SISTEMA COITÉ - EIXO NORTE
ADUTORA DE ÁGUA BRUTA (AAB)
DIMENSIONAMENTO ESTAÇÃO ELEVATÓRIA EEAB**

3 - Estudo de Transientes Hidráulicos

3.1 - Introdução

O estudo dos transientes hidráulicos para a adutora de água bruta AAB do sistema de abastecimento de água foi elaborado visando dimensionar o sistema de proteção mais adequado para a tubulação assim como a determinação de cargas de pressão dinâmica essenciais para projetar as ancoragens necessárias para as tubulações.

Desta forma, os estudos realizados tiveram a seguinte sequência:

- a) Primeiramente, procedeu-se a análise da linha adutora em *regime permanente* para devido ajuste dos parâmetros relativos ao tipo de bomba, rotação e rotor aplicável a cada caso;
- b) Em seguida, foram simulados os transientes hidráulicos sem as proteções anti-golpe para se avaliar a compatibilidade e classe de pressão do tubo empregado;
- c) Posteriormente, após criteriosa análise, foi simulado o sistema adotando-se as proteções necessárias, primando pela economia e eficiência da proteção.

3.2. Base Metodológica e Conceitual dos Estudos

Os transientes hidráulicos ocorrem sempre que se pára de bombear a água numa instalação de recalque, porém a parada dos conjuntos pode ocorrer de forma controlada atenuando-se o golpe de aríete ou então de forma brusca, que é o pior caso, quando, por exemplo, a energia de alimentação dos conjuntos é bruscamente interrompida por um *blackout* energético.

Esta condição de parada dos motores, conforme indica a própria literatura especializada, constitui-se na condição mais crítica de funcionamento do sistema, quando são provocadas as maiores sobrepressões e subpressões nas linhas adutoras.

Para isso se deve projetar equipamentos de proteção contra o golpe de aríete que deve ser feito através de simulação computacional do funcionamento das instalações em condições tanto em regime permanente como em condições transientes para se avaliar as envoltórias de sobrepressão e subpressão que possam afetar as instalações.

Para análise dos transientes hidráulicos nas linhas adutoras do presente estudo foi empregado o programa UFC6 desenvolvido pelo Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da Universidade Federal do Ceará.

A formulação matemática da maioria dos programas de análise de transientes hidráulicos normalmente adota o Método das Características, apresentado por CHAUDHRY¹ e pode ser vista também em SOUSA² dentre outros autores consagrados.

As equações básicas utilizadas na análise de transitórios hidráulicos podem ser matematicamente expressas pela equação dinâmica do escoamento dada pela 2ª Lei de Newton e pela equação da Continuidade. O sistema dado por essas equações diferenciais pode ser resolvido pelo Método das Características permitindo-se avaliar os valores da vazão **Q** e da carga piezométrica **H** ao longo da tubulação dada pela abscissa **x** e do tempo **t**. As equações são:

**SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DAS COMUNIDADES DIRETAMENTE AFETADAS PELO PISF
SISTEMA COITÉ - EIXO NORTE
ADUTORA DE ÁGUA BRUTA (AAB)
DIMENSIONAMENTO ESTAÇÃO ELEVATÓRIA EEAB**

3.3. Equação do Movimento

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + gA \frac{\partial H}{\partial x} + \frac{f}{2DA} Q|Q| = 0$$

onde o primeiro termo do membro esquerdo da equação representa a variação da aceleração do movimento, o segundo representa a variação do gradiente de pressão, e o terceiro, representa os efeitos decorrentes da dissipação de energia.

3.4. Equação da Continuidade:

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{c^2}{gA} \frac{\partial Q}{\partial x} = 0$$

onde o primeiro termo do membro esquerdo da equação representa a variação de fluxo de massa, e o segundo termo, a variação de massa. O parâmetro c é a celeridade de propagação das ondas de pressão e de velocidade durante o transitório hidráulico conhecida comumente apenas como *celeridade da onda*.

A introdução de aparelhos e equipamentos de proteção na modelagem matemática do transitório, se faz por aplicação de condições de contorno específicas para cada caso e tipo de equipamento.

3.5. Cálculo da Celeridade da Onda:

A celeridade da onda é função das características da tubulação (elasticidade, deformação, espessura da parede da tubulação, diâmetro, grau de fixação da tubulação, etc) e das características do fluido (compressibilidade, presença de ar, etc.). A seguinte equação geral é normalmente empregada nos programas de cálculo de transientes:

$$c = \frac{\sqrt{\frac{K}{\rho}}}{\sqrt{1 + \frac{K\nu}{E}}} \quad (\text{Eq. 03})$$

e

$$\nu = \frac{D}{e} (1 - \nu^2) \quad (\text{Eq. 04})$$

Para o caso de tubulação de parede fina ancorada contra movimentação longitudinal. Na maioria dos casos:

K = compressibilidade do fluido, igual a 2,19 GPa para escoamento de água;

ν = coeficiente de Poisson, valendo 0,25 para ferro fundido; 0,40 para PVC, 0,5 a 0,55 para PRFV;

E = Módulo de Elasticidade Circunferencial do material da tubulação, sendo normalmente adotado 170 GPa para ferro fundido, 30 GPa para PVC 1 Mpa DeFoFo;

ρ = massa específica do fluido, valendo 1000 Kg/m³ para água doce;

D = diâmetro da tubulação em metros;

e = espessura do tubo;

**SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DAS COMUNIDADES DIRETAMENTE AFETADAS PELO PISF
SISTEMA COITÉ - EIXO NORTE
ADUTORA DE ÁGUA BRUTA (AAB)
DIMENSIONAMENTO ESTAÇÃO ELEVATÓRIA EEAB**

3.6. Cálculo do Momento de Inércia Total do Sistema

O momento de inércia total é a soma dos momentos de todas as partes girantes no conjunto motor-bomba. Este dado que é de suma importância no cálculo dos transientes hidráulicos, costuma ser apresentado de diversas formas pelos fabricantes, tanto das bombas quanto dos motores, gerando certa confusão. Apresenta-se a seguir, um sumário das diversas formas como estes são apresentados normalmente em catálogo de fabricantes:

J = momento de inércia (kg * m²);

GD² = 4 * momento de inércia (kg * m²);

J = GD²/4;

G = massa girante (kg);

D = diâmetro de giração = 2 * o raio de giração;

I = J = momento de inércia;

$$I = \sum_i m_i r_i^2 \quad \text{ou} \quad I = MR_G^2 \quad (\text{Eq. 05})$$

I = momento de inércia;

M = massa do corpo;

R_G = raio de giração, igual à distância ao eixo da rotação em que toda a massa poderia ser concentrada sem variar o momento de inércia.

Os momentos de inércia das bombas e motores devem ser obtidos junto a catálogos de fornecedores em função das características particulares de cada equipamento.

3.7. Conceituação Teórica dos Transientes Hidráulicos

As pressões transientes resultantes da interrupção do bombeamento por falha no fornecimento de energia aos motores são as mais extremas à que usualmente estão sujeitos os sistemas de recalque. Se o bombeamento abastecendo uma linha de recalque for subitamente interrompido, o fluxo irá também parar.

Se o perfil da tubulação, em função das cotas do terreno natural, for relativamente próximo da linha piezométrica, a súbita desaceleração da coluna de água pode causar uma queda de pressão interna a valores inferiores à da pressão atmosférica. O mais baixo valor a que poderia cair uma pressão interna é a *pressão de vapor*.

A vaporização ou mesmo a *separação de coluna* pode ocorrer em pontos altos ao longo do perfil da tubulação de recalque. Quando a onda de pressão retorna aos valores positivos, a coluna de água se reunirá dando vez à ocorrência de sobrepensões do golpe de aríete, podendo colocar em risco a estabilidade da tubulação ou dos equipamentos conectados. No a seguir estão apresentados os valores usuais da pressão de vapor nas condições da pressão atmosférica, além de outros parâmetros de interesse no cálculo dos transitórios hidráulicos.

¹ Chaudhry, M. H., "Applied Hydraulic Transients", Van Nostrand Reinhold Co. Publ., New York, 1989.

² Souza, P. A.; Martins, J. R. S.; Fadiga Jr., F. M., "Métodos Computacionais Aplicados à Engenharia Hidráulica", Centro Tecnológico de

Temperatura	Viscosidade Cinemática	Tensão de Vapor h	Módulo de Elasticidade
-------------	---------------------------	----------------------	---------------------------

SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DAS COMUNIDADES DIRETAMENTE AFETADAS PELO PISF
SISTEMA COITÉ - EIXO NORTE
ADUTORA DE ÁGUA BRUTA (AAB)
DIMENSIONAMENTO ESTAÇÃO ELEVATÓRIA EEAB

(°C)	$\nu = \mu/\rho$ (m ² s)	(mca) a 4°C	E (N/m ²)
0	$1,78 \times 10^{-6}$	0,062	$19,52 \times 10^8$
4	$1,57 \times 10^{-6}$	0,083	-
10	$1,31 \times 10^{-6}$	0,125	$20,50 \times 10^8$
20	$1,01 \times 10^{-6}$	0,239	$21,39 \times 10^8$
30	$0,83 \times 10^{-6}$	0,433	$21,58 \times 10^8$
40	$0,66 \times 10^{-6}$	0,753	$21,68 \times 10^8$
50	$0,56 \times 10^{-6}$	1.258	$21,78 \times 10^8$
60	$0,47 \times 10^{-6}$	2.033	$21,88 \times 10^8$
80	$0,37 \times 10^{-6}$	4.831	-
100	$0,29 \times 10^{-6}$	10.333	-

Conforme se pode depreender do anterior, a pressão interna mínima das tubulações nas condições de subpressão durante o transitório hidráulico deveria ser de no mínimo 0,24 mca, para uma temperatura da água em torno de 20 °C. Esta condição de estabilidade da coluna de água deve ser considerada como meta a atingir no dimensionamento do sistema de proteção das tubulações adutoras, para os pontos mais críticos das linhas adutoras.

A filosofia por trás do projeto da maioria dos equipamentos de proteção contra golpe de aríete é bastante similar. O objetivo na maioria dos casos é reduzir a *subpressão* na tubulação, causada pela parada das bombas. Assim a correspondente *sobrepressão* será reduzida ou mesmo eliminada.

O método mais comum de limitar-se a subpressão é alimentando-se a linha de recalque com água tão logo a pressão interna tenda a cair. Isto é conseguido através do emprego de uma série de equipamentos de proteção para os quais se faz aqui uma breve descrição funcional:

3.8. Equipamentos Alternativos de Proteção Contra Transientes Hidráulicos

a) Ventosas e Registros de Descarga

Os equipamentos convencionais de uso obrigatório para proteção de linhas adutoras são as *ventosas*, que devem ser instaladas nos pontos altos das canalizações, e os *registros de descarga* nos pontos baixos de curvas verticais, sendo estes últimos considerados mais um equipamento de utilidade operacional para limpeza e deságüe da canalização, do que propriamente um equipamento de segurança.

As **ventosas**, dependendo do tipo adotado, destinam-se a expulsar o ar durante a fase de enchimento da tubulação, ou mesmo das bolhas de ar que se formam durante operações normais, e de admitir também o ar para evitar as pressões negativas que podem ocorrer durante os transitórios hidráulicos, dependendo da conformação topográfica do terreno.

Do ponto de vista da segurança operacional das instalações de recalque, alguns autores recomendam que as ventosas sejam instaladas como dispositivos de proteção obrigatórios, projetadas conforme a topografia do terreno e das condições de fluxo na canalização, *mas que sejam ignoradas para efeito de cálculo* na análise dos transitórios hidráulicos.

SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DAS COMUNIDADES DIRETAMENTE AFETADAS PELO PISF
SISTEMA COITÉ - EIXO NORTE
ADUTORA DE ÁGUA BRUTA (AAB)
DIMENSIONAMENTO ESTAÇÃO ELEVATÓRIA EEAB

Esta relaxação da função da ventosa como componente ativo do sistema de proteção das linhas adutoras, se deve à recomendação herdada de consultores com larga experiência no projeto e análise de sistemas de recalque, segundo os quais, é comum a ocorrência de pressões negativas inconvenientes por mau funcionamento das ventosas, devido a ausência de manutenção adequadas das linhas, decorridos alguns anos ainda dentro da vida útil do equipamento.

Entretanto, apesar da recomendação contrária de diversos autores creditados para não se considerar a utilização das ventosas como componente ativo dos sistemas de proteção, verifica-se na prática que esta recomendação *encarece* demasiadamente os sistemas de proteção contra transientes hidráulicos, tornando inviáveis economicamente os sistemas de proteção de uma forma desnecessária.

As ventosas que atuam como proteções contra o golpe de aríete devem ser **instaladas aos pares na linha de recalque**, podendo ser em série ou em paralelo. Esta providência minimiza os riscos de colapso do sistema por mau funcionamento de uma das unidades componentes do par de ventosas.

A adoção desta sistemática de se empregar as ventosas como equipamento ativo de proteção contra o golpe de aríete, ressaltados os cuidados acima, tem viabilizado a construção de muitos sistemas de recalque de pequeno porte os quais, sem essa consideração, ficariam de sobremaneira caros e inviabilizados de serem construídos.

No caso de sistemas de esgotos sanitários existe um tipo especial de ventosa para trabalhar com este tipo de líquido.

b) Válvulas de Alívio

As *válvulas de alívio* são dispositivos de proteção destinados a reduzir os efeitos das sobrepressões indesejáveis nas instalações de recalque, sendo normalmente colocadas imediatamente a jusante dos equipamentos da estação elevatória, de preferência imediatamente a jusante da Válvula de Retenção (VR). Seu funcionamento compreende a abertura da válvula durante os períodos de sobrepressão, liberando a água para manter as sobrepressões dentro de valores tolerados pelas canalizações.

Uma restrição que se faz é que a válvula deve abrir totalmente antes que a onda de pressão negativa retorne à bomba como onda de pressão positiva num segundo momento.

Nos casos em que não se admitem sobrepressões superiores àquelas da carga de pressão do regime permanente (carga operacional), a válvula deve ser dimensionada para descarregar todo o fluxo para uma carga igual à do regime operacional.

Quando é necessária uma precisão acurada contra o golpe de aríete, ou quando o golpe é provavelmente um problema durante desligamento parcial das bombas em importantes sistemas de recalque, recomenda-se a instalação de duas ou mais válvulas de alívio em paralelo, podendo ser as mesmas ajustadas para atuar a diferentes cargas de pressão.

SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DAS COMUNIDADES DIRETAMENTE AFETADAS PELO PISF
SISTEMA COITÉ - EIXO NORTE
ADUTORA DE ÁGUA BRUTA (AAB)
DIMENSIONAMENTO ESTAÇÃO ELEVATÓRIA EEAB

c)Chaminés de Equilíbrio

As chaminés de equilíbrio são reservatórios em contacto com a superfície livre atmosférica, que são intercalados ao longo das linhas adutoras, destinados a reduzir a intensidade do golpe de aríete nas canalizações a partir da divisão do comprimento da adutora em dois trechos, cujos comportamentos hidráulicos serão diferenciados no momento da ocorrência do transitório.

No caso de linhas adutoras de estações elevatórias, o trecho de jusante em relação à chaminé de equilíbrio, ou trecho protegido da adutora, sofre um processo de *oscilação de massa* durante o transitório hidráulico, enquanto que o trecho de montante, ou trecho desprotegido, sofre um processo normal de golpe de aríete por ação da *propagação da onda elástica* quando da interrupção do bombeamento.

A principal vantagem da chaminé de equilíbrio, é a de proporcionar uma proteção adequada ao trecho de jusante da linha de recalque quer nas sobrepressões, quer nas subpressões, diminuindo substancialmente os efeitos do golpe de aríete na canalização.

Sua principal desvantagem reside no fato de requerer uma topografia favorável para sua instalação, o que nem sempre é disponível, principalmente em linhas adutoras de estações elevatórias. O uso mais comum de chaminés de equilíbrio se dá na proteção de tubulações de alimentação de turbinas em usinas hidrelétricas.

Uma variante muito útil da chaminé é o *stand pipe* ou tubo-em-pé que consiste numa tubulação colocando em linha na posição vertical e com altura adequada, ficando seu topo acima da linha piezométrica de regime permanente e da linha envoltória de sobrepressões máximas. O *stand pipe* desempenha o mesmo papel de uma chaminé de equilíbrio, porém com menor seção transversal e sem clapet na entrada, conectada diretamente com a linha a proteger.

d)Tanques de Alimentação Unidirecionais ou “One-Way”

Os tanques de alimentação unidirecionais (TAU) ou One-Ways, tem o objetivo de evitar a formação de subpressões indesejáveis na tubulação estando durante o funcionamento normal do sistema, ficando separados da tubulação de recalque por meio de uma válvula de retenção, abrindo-se esta quando ocorre uma depressão na canalização, evitando-se assim que a pressão interna diminua, devendo ser dimensionado para manter a pressão interna sempre superior à tensão de vapor da água à temperatura do bombeamento.

O tanque é alimentado por um “by-pass” servido de um flutuador ou registro automático de entrada. Normalmente são empregados em pontos elevados da linha de recalque, podendo ser únicos ou distribuídos em sequência ao longo da tubulação.

A vantagem do sistema de one-ways em relação à chaminé de equilíbrio, é a de poderem ser instalados em condições topográficas mais desfavoráveis, não requerendo grandes alturas construtivas. Sua principal desvantagem é o custo de construção da estrutura (reservatório), peças especiais de controle operacional, e, a formação indesejável de lodo no fundo do reservatório devido à sedimentação dos sólidos em suspensão quando se trata de água bruta, mas que pode ser solucionada pela construção de um sistema de drenagem do lodo. No caso de adutoras de água tratada, minimiza-se essa desvantagem.

**SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DAS COMUNIDADES DIRETAMENTE AFETADAS PELO PISF
SISTEMA COITÉ - EIXO NORTE
ADUTORA DE ÁGUA BRUTA (AAB)
DIMENSIONAMENTO ESTAÇÃO ELEVATÓRIA EEAB**

e) Reservatório Hidropneumático

O reservatório hidropneumático, é de utilização quase que obrigatória quando o transitório hidráulico pode causar subpressões inaceitáveis ao longo das canalizações que não podem ser solucionadas por sistemas de reservatórios do tipo “one-way”, ou chaminés de equilíbrio, em virtude das cotas topográficas disponíveis.

A restrição maior ao seu uso está associada às exigências rigorosas de operação e manutenção do dispositivo, que às vezes pode não ser implementada durante toda a vida útil da instalação, principalmente quando se trata de instalações de pouca importância que não disponham de um serviço contínuo de manutenção e operação permanentes.

A instalação de um reservatório hidropneumático requer a presença permanente de um sistema compressor de ar destinado a manter uma pressão interna adequada de ar dentro do vaso hidropneumático. Esta condição pressupõe também a instalação de um grupo gerador de forma a manter o sistema em condições operacionais permanentes, mesmo quando da interrupção do fornecimento de energia elétrica.

Esta restrição pode inviabilizar economicamente seu emprego, requerendo também a presença constante de profissional habilitado para sua operação e manutenção. Uma falha de operação pode causar acidentes indesejáveis caso não haja outros mecanismos de segurança para proteção do sistema.

Na verdade, a proteção mais adequada quase nunca é conseguida com o emprego de um único equipamento numa instalação de recalque de grande importância, mas sim com uma combinação otimizada de equipamentos dimensionada e projetada para cada caso específico.

3.9. Avaliação dos Transientes na Linha de Recalque

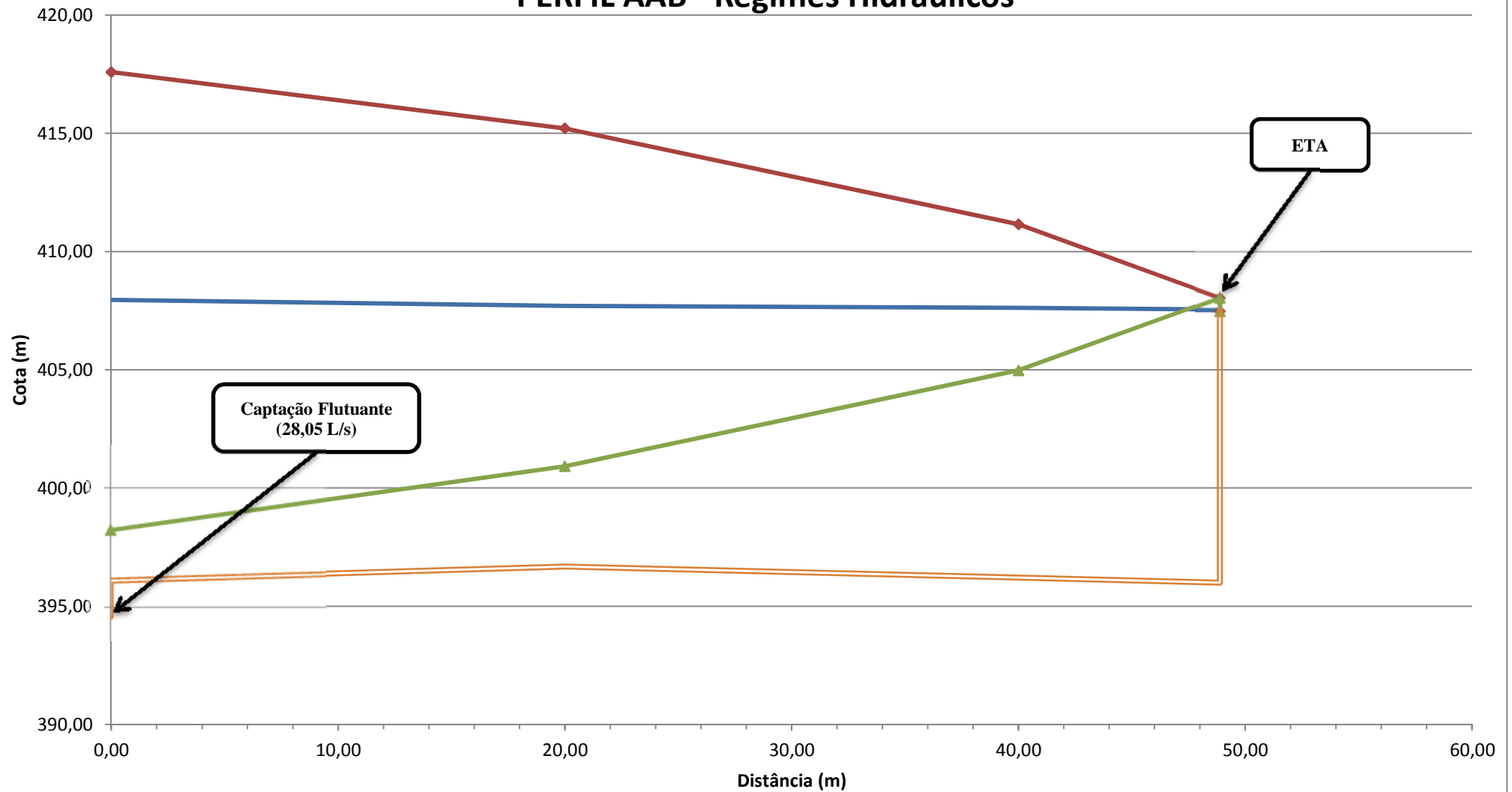
Os resultados das simulações sem e com proteção contra transientes hidráulicos para a linha de recalque podem ser observados a seguir.

SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DAS COMUNIDADES DIRETAMENTE AFETADAS PELO PISF
SISTEMA COITÉ - EIXO NORTE
ADUTORA DE ÁGUA BRUTA (AAB)

QUADRO DE DIMENSIONAMENTO DOS TRANSIENTES HIDRÁULICOS

Distância Acumulada (m)	Cota Tubulação (m)	Cargas (m)						Pressões (m)				Tubulação	Observação
		Regime Permanente	Regime Transiente sem proteção		Regime Transiente com proteção		Sistema sem Proteção		Sistema com Proteção				
			Máxima	Mínima	Máxima	Mínima	Máxima	Mínima	Máxima	Mínima			
0,00	396.11	407.96	417.59	398.23			21.48	2.12	-396.11	-396.11	PVC DEFoFo	Captação Flutuante	
20.00	396.68	407.70	415.21	400.92			18.53	4.24	-396.68	-396.68	PVC DEFoFo		
40.00	396.21	407.63	411.15	404.98			14.94	8.77	-396.21	-396.21	PVC DEFoFo		
48.88	396.00	407.55	408.06	408.06			12.06	12.06	-396.00	-396.00	PVC DEFoFo		
48.88	407.50	407.50	407.50	407.50			0.00	0.00	-407.50	-407.50	PVC DEFoFo	ETA	

PERFIL AAB - Regimes Hidráulicos



— Linha Piez. Regime Permanente

— Linha Piez. Max Sem proteção

— Linha Piez. Mín sem proteção

— Linha Piez. Max com proteção

— Linha Piez. Mín. Com Proteção

— Perfil da Tubulação