

1. CARACTERÍSTICAS GERAIS

1.1 - LINHA DE RECALQUE

Tipo de material da tubulação

$Q_{\max}$ = Vazão máxima de bombeamento

L = Comprimento da tubulação

1.2 - ESTAÇÃO ELEVATÓRIA

N_b = Número de bombas em funcionamento simultâneo (ativas)

N_{br} = Número de bombas reservas

Tipo de bombas:

2. DIMENSIONAMENTO DAS TUBULAÇÕES

2.1 - CÁLCULO DO DIÂMETRO ECONÔMICO

O cálculo do diâmetro econômico é obtido pela fórmula de Bresse apresentada a seguir:

$$D = K \cdot \sqrt[3]{Q}$$

Onde:

D = Diâmetro econômico

K = Coeficiente da fórmula de Bresse

Q = Vazão máxima de fim de plano, em m³/s

Por esta equação o diâmetro da tubulação de recalque (D_R) seria de:

Deverá ser adotado diâmetro comercial próximo ao calculado da 2ª etapa, podendo ser inferior ou não em função da velocidade a ser desenvolvida (entre 0,6 e 3,0m/s). Neste caso, tem-se:

D_r = Diâmetro de recalque

D_b = Diâmetro de barrilete

2.2 - CÁLCULO DA VELOCIDADE NO TRECHO

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

$$V = \frac{4 \cdot Q^2}{\pi \cdot D^2}$$

Onde:

Q = Vazão na tubulação, em m³/s

D = Diâmetro de recalque, em m

V = Velocidade do fluxo na tubulação, em m/s

2.3 - CÁLCULO DA PERDA DE CARGA LINEAR

Pela fórmula de HAZEN-WILLIAMS, obtém-se a perda de carga linear na tubulação, conforme equação a seguir:

$$j = \frac{10,643 \cdot Q^{1,85}}{C^{1,85} \cdot D^{4,87}}$$

Onde:

j = Perda de carga linear

Q = Vazão no trecho

D = Diâmetro no tubo

C = Coeficiente de Hazen-Williams

Por esta equação, a perda de carga linear na tubulação é igual à:

j = perda de carga linear

2.4 - CÁLCULO DA PERDA DE CARGA LOCALIZADA

Segundo Azevedo Netto, as perdas de carga localizadas são função do quadrado da velocidade e do coeficiente "K". O valor deste coeficiente diz respeito aos tipos de singularidades existentes nas tubulações do barrilete e na própria linha de recalque. Pela equação a seguir:

$$h_f = K_b \frac{V_b^2}{2g} + K_r \frac{V_r^2}{2g}$$

Implantação

1ª Etapa

2ª Etapa

PVC - DEFºFº

PVC - DEFºFº

15,80 L/s

19,26 L/s

945,57 m

945,57 m

1 bomba

1 bomba

1 bomba

1 bomba

Centrífugas

Centrífugas

1,20

1,20

0,016 m³/s

0,019 m³/s

151 mm

167 mm

200 mm

200 mm

200 mm

200 mm

0,0158 m³/s

0,0193 m³/s

200 mm

200 mm

0,50 m/s

0,61 m/s

0,0158 m³/s

0,0193 m³/s

0,200 m

0,200 m

130

130

0,00154m/m

0,00222m/m

Onde:

- K_b = Coeficiente relacionado às singularidades no barrilete
 K_r = Coeficiente relacionado às singularidades na linha de recalque
 V_b = Velocidade do fluxo no barrilete
 V_r = Velocidade do fluxo na linha de recalque
 g = Aceleração da gravidade
 h_b = Perda de carga localizada no barrilete
 h_r = Perda de carga localizada na linha de recalque
 h_f = Perda de carga localizada total

OBS: K foi obtido através do somatório de todos os K(s) relativos à todas as singularidades na linha de recalque e sucção. Ver tabela a seguir:

Barrilete			
TIPO	K	QUANT.	K PARCIAL
Curva 45°	0,20	3,00	0,60
Ampliação d/D=3/4	0,19		
Redução d/D=1/2	0,33		
Curva 90°	0,40	5,00	2,00
Tê (passagem direta)	0,90		
Tê (saída lateral)	2,00		
Te bilateral	1,80		
Registro de gaveta	0,20		
Válvula de retenção	3,00		
Outros	1,00	1,00	1,00

Recalque			
TIPO	K	QUANT.	K PARCIAL
Curva 45°	0,20		
Ampliação d/D=3/4	0,19	1,00	0,19
Redução d/D=1/2	0,33		
Curva 90°	0,40	11,00	4,40
Tê (passagem direta)	0,90	1,00	0,90
Tê (saída lateral)	2,00	1,00	2,00
Te bilateral	1,80		
Válvula de gaveta	0,20	1,00	0,20
Válvula de retenção	3,00	1,00	3,00
Outros	1,00		

K_b

K_r

K_{Total}

A perda de carga localizada será (h_f):

2.5 - CÁLCULO DA PERDA DE CARGA TOTAL

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

$$H_j = L \cdot j + h_r$$

Onde:

- L = Comprimento da tubulação
 j = Perda de carga linear
 h_r = Perda de carga localizada
 H_j = Perda de carga total na tubulação

3. DIMENSIONAMENTO DA ESTAÇÃO ELEVATÓRIA

3.1 - CÁLCULO DA ALTURA MANOMÉTRICA

Para o cálculo da altura manométrica total da(s) bomba(s), somou-se ao desnível geométrico o valor da perda de carga distribuída ao longo da tubulação de recalque e a perda de carga localizada total.

O desnível geométrico é dado pela diferença entre a cota mais alta do ponto de recalque e a cota mínima do líquido no poço de sucção. Ver a equação a seguir:

$$H_g = C_{MAX,rec} - C_{MIN,suc}$$

Implantação

1ª Etapa

2ª Etapa

3,60	3,60
10,69	10,69
0,61 m/s	0,61 m/s
0,61 m/s	0,61 m/s
9,81 m/s²	9,81 m/s²
0,07 m	0,07 m
0,20 m	0,20 m
0,27 m	0,27 m

3,60 3,60

10,69 10,69

14,29 14,29

0,27 m 0,27 m

945,57 m	945,57 m
0,00154m/m	0,00222m/m
0,27 m	0,27 m
1,73 m	2,37 m

Onde:

$C_{máx,rec}$ = Cota do ponto mais alto da linha de recalque
 $C_{mín,rap}$ = Cota do nível mínimo do reservatório apoiado

Desta forma obtém-se o seguinte desnível geométrico

H_g = Desnível Geométrico

A altura manométrica total (AMT) será dada pela equação a seguir:

$$AMT = H_g^* + H_j$$

Onde:

H_g^* = Desnível Geométrico

H_j = Perda de carga total

AMT = Altura Manométrica Total

3.2 - CÁLCULO DA POTÊNCIA DOS MOTORES

A potência dos motores foi calculada utilizando-se a equação a seguir. Para isto levou-se em conta o número de motores em funcionamento simultâneo.

$$P = \frac{W \cdot Q_{max} \cdot AMT}{N_b \cdot 75 \cdot \eta} \cdot F_s$$

Onde:

P = Potência instalada para cada conj. motor-bomba da estação elevatória

W = Peso específico do líquido a ser recalcado

$Q_{máx}$ = Vazão de bombeamento para fim de plano para cada bomba

H_g^* = desnível geométrico

AMT = Altura Manométrica Total

N_b = Número de conjuntos motor-bomba em funcionamento simultâneo

η = Rendimento do conjunto motor-bomba

F_s = Fator de Serviço

Para o cálculo, adotou-se as bombas com as seguintes características

Tipo de bombas:

η_b = Rendimento da bomba

η_m = Rendimento do motor

Aplicando a equação acima, a potência instalada em cada conjunto motor-bomba é igual à:

P = Potência instalada por conjunto motor-bomba:

Os motores elétricos normalmente não possuem a potência especificada, portanto foi necessário utilizar as seguintes potências comerciais:

Potência comercial em cada conjunto motor-bomba da estação elevatória:

Potência comercial total da estação elevatória:

3.3 CURVAS CARACTERÍSTICAS

Na Figura a seguir, estão apresentadas as curvas características da bomba e do sistema. A curva do sistema foi caracterizada em função da vazão, conforme equação abaixo:

$$AMT = H_g + \left(\frac{h_f}{Q^2} \right) \cdot Q^2 + \left(\frac{L \cdot j}{Q^{1,85}} \right) \cdot Q^{1,85}$$

Aplicando os valores obtidos ao longo do dimensionamento, chega-se à seguinte curva do sistema:

$$AMT = 36,73 + 0,001096 \cdot Q^2 + 0,00883 \cdot Q^{(1,85)}$$

Implantação	
1ª Etapa	2ª Etapa
47,590	47,590
10,860	10,860
36,73 m	36,73 m
36,73 m	36,73 m
1,73 m	2,37 m
38,46 m	39,10 m
1000 Kg/m³	1000 Kg/m³
0,0158 m³/s	0,0193 m³/s
36,73 m	36,73 m
38,46 m	39,10 m
1 bomba(s)	1 bomba(s)
68,1%	67,8%
1,15	1,15
Centrífugas	Centrífugas
79,8%	79,8%
85,4%	85,0%
13,7 CV	17,0 CV
13,5 HP	16,8 HP
10,05 kW	12,51 kW
15,00 CV	20,00 CV
15,00 CV	20,00 CV

3.4 - CÁLCULO DO NPSH

A sigla NPSH (*Net Positive Suction Head*) é adotada universalmente para designar a energia disponível na sucção. Há dois valores a considerar: NPSH requerido que é uma característica da bomba, fornecida pelo fabricante e o NPSH disponível, que é uma característica das instalações de sucção, que pode ser calculada pela seguinte equação:

$$\text{NPSH}_{\text{disp.}} = \frac{P_a - P_v}{\gamma} - Z - H_f \quad \text{sendo:} \quad Z = h_{\text{bomba}} - h_{\text{min, suc}}$$

Onde:

h_{bomba} = Cota do eixo da bomba
 $h_{\text{min, suc}}$ = Cota do NA mínimo do poço de sucção
 Z = altura de sucção
 P_a = Pressão atmosférica
 P_v = Pressão de vapor
 γ = Peso específico da água
 h_f = Perda de carga localizada na sucção

Implantação

1ª Etapa	2ª Etapa
11,600	11,600
9,600	9,600
-1,90 m	-1,90 m
10.092,22 Kg/m³	10.092,22 Kg/m³
0.752,17 Kg/m³	0.752,17 Kg/m³
1.000,00 Kg/m³	1.000,00 Kg/m³
3,60 m	3,60 m
7,64 m	7,64 m

NPSH_{disp.}