

Cálculo das Capacidades das Linhas de Recalque do Guarapiranga - Alto da Boa Vista e Alto da Boa Vista (Teodoro Ramos) - Jabaquara

Eng^o.s PAULO DE PAIVA CASTRO E
EDUARDO FERREIRA BORBA JUNIOR
(D. A. E. — S. P.)

1 — PRELIMINARES

O trabalho seguinte está sendo publicado, como um exemplo da aplicação da equivalência de encanamentos e da regra de Dupuit ao cálculo de instalações de recalque com várias linhas, de diâmetros e materiais diferentes, e que permitem o estudo do funcionamento das bombas de recalque com variações nas alturas manométricas.

O nosso intuito, ao promover esta publicação, foi apenas o de sugerir a algum colega que esteja em dificuldades para solucionar problema semelhante, com dois exemplos concretos, um método simples e prático de resolver a questão.

Preferimos, em nossos cálculos, o emprêgo da fórmula de Hazen-Williams, por ser, hoje em dia, a de emprêgo mais corrente nas Américas e por sua grande versatilidade.

As duas instalações de recalque que servem como exemplo são: a do Guarapiranga — Alto da Boa Vista, Teodoro Ramos e a de Teodoro Ramos — Jabaquara.

2 — GUARAPIRANGA

2.1 — Capacidade das instalações de recalque do Guarapiranga.

Na estação de recalque de Guarapiranga, estão instalados atualmente 9 grupos bombamotor com capacidade nominal, cada um, de recalcar 1,00 m³/seg e cuja curva característica Q/H, segue adiante. Essas bombas estão acopladas a motores elétricos síncronos com potência de 1.200 HP. Vão ser instalados mais 5 grupos com a mesma capacidade, perfazendo o total de 14, sendo 3 de reserva.

Partem do Guarapiranga para a Estação de Tratamento do Alto da Boa Vista 6 linhas de recalque, sendo 3 com diâmetro de 1,00 m, em ferro fundido e 3 em aço revestido e concreto protendido com diâmetro de 1,20 m. Uma sétima linha de recalque liga o Guarapiranga à Estação de Tratamento Teodoro Ramos, mista em aço sem revestimento e ferro fundido, com os diâmetros adiante especificados.

Tôdas essas linhas têm a capacidade, como veremos adiante, de aduzirem 11,670 m³/seg. Como a capacidade final do Guarapiranga vai ser de 20,00 m³/seg, haverá necessidade de ser estudada e projetada nova captação e instalação de recalque para mais 8,330 m³/seg. Naturalmente, esta nova instalação deverá ser projetada com grupos elevatórios maiores que os atuais. Desde já sugerimos o emprêgo de 5 grupos, com capacidade, cada um de 2,08 m³/seg, sendo um de reserva. Deverão ser, ainda estudadas mais 2 linhas de recalque, para o Alto da Boa Vista, em aço revestido com diâmetro de 1,70 m.

2.2 — Linhas de recalque

Teremos então, entrando na Estação de Tratamento do Alto da Boa Vista, vindo do Guarapiranga, as seguintes linhas:

- 3 linhas com diâmetro $\phi = 1,00$ m
 3 linhas com diâmetro $\phi = 1,20$ m
 2 linhas com diâmetro $\phi = 1,70$ m

Na Estação de Tratamento Theodoro Ramos chega apenas uma linha de recalque com diâmetro $\phi = 1,50$ m (antiga linha de aço), a qual, no trecho próximo ao Guarapiranga, bifurca-se em 2 linhas de ferro fundido, sendo uma com diâmetro $\phi 0,95$ m, e outra com diâmetro $\phi 1,00$ m. Atualmente, a linha está ligada a Estação Elevatória Velha por intermédio do ramal de 0,95 m de diâmetro. Deverá, entretanto, ser ligada à nova instalação elevatória, uma vez que a Estação Velha deverá desaparecer.

2.2.1 — Cálculo do comprimento de canalização de diâmetro $\phi = 1,00$ m equivalente às conexões, registros e demais peças especiais existentes na nova Casa de Bombas do Guarapiranga.

Na tabela abaixo, apresentamos, nos respectivos diâmetros, os comprimentos de canalização equivalentes a cada uma das peças especiais existentes na nova Casa de Bombas do Guarapiranga, desde a válvula de pé até o medidor Venturi. Tais comprimentos, obtidos através de recentes dados experimentais, publicados no Journal da American Water Works Association, n.º 6, vol. 53, junho 1961 (v. apêndice), foram a seguir transformados para maior facilidade de cálculo, em comprimentos equivalentes de diâmetro $\phi = 1,00$ m.

PEÇA	ϕ (m)	Comprimento equivalente (m)	Compr. equiv. em $\phi = 1,00$ m (m)
Válvula de pé com crivo	0,800	24,0	71,0
Canalização	0,800	1,5	4,5
Curva 90º, R = 1.500 mm.	0,800	8,0	24,0
Canalização	0,800	3,5	10,5
Redução $\phi 800 \times \phi 600$	0,600	4,2	51,0
Curva redução 90º, $\phi 600 \times \phi 450$. R = 700	0,450	11,5	564,0
Canalização	0,600	0,5	6,0
Curva 90º, R = 700 mm	0,600	10,8	130,0
Alargamento $\phi 600 \times \phi 800$	0,600	4,2	51,0
Alargamento $\phi 800 \times \phi 1.000$	0,800	4,0	12,0
Canalização	1,000	7,1	7,0
Registro de gaveta	1,000	7,0	7,0
Tê (passagem direta)	1,000	20,0	20,0
Válvula de retenção	1,000	80,0	80,0
Tê (passagem direta)	1,000	20,0	20,0
Canalização	1,000	8,8	9,0
Redução $\phi 1.000 \times \phi 600$	0,600	5,4	65,0
Alargamento $\phi 600 \times \phi 1.000$	0,600	7,8	94,0
Canalização	1,000	6,0	6,0
TOTAL			1.232,0

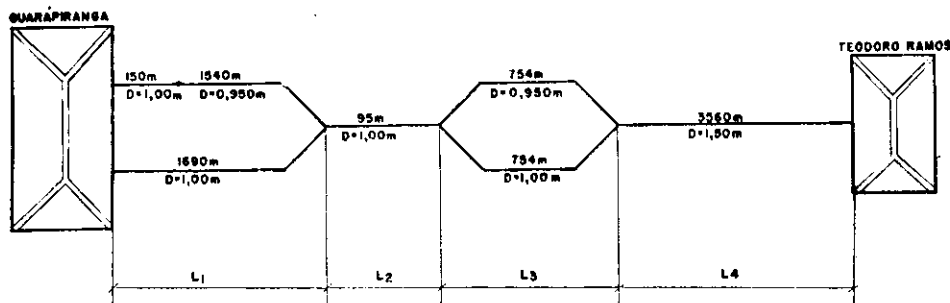
2.2.2 — Cálculo do comprimento de canalização de diâmetro $\phi = 1,00$ m equivalente a linha mista para a Est. Tratamento Theodoro Ramos.

A sequência de cálculo (v. desenho esquemático) é a seguinte:

2.2.2.1 — Equivalência de 1 540 m de tubo de $\phi = 0,950$ m em tubo de $\phi = 1,00$ m.

$$L = \left(\frac{1,00}{0,95} \right)^{4,87} \times 1.540 = 1,283 \times 1.540 = 1.975 \text{ m}$$

CROQUIS DA LINHA MISTA
 GUARAPIRANGA-TEODORO RAMOS



2.2.2.2 — Equivalência da linha dupla: 2.120 m de $\phi = 1,00$ m e 1.690 m de $\phi = 1,00$ m em uma só de $\phi = 1,00$ m.

$$\frac{1}{0,54} = \frac{1}{(2120) 0,54} + \frac{1}{(1690) 0,54} = \frac{1}{63,0} + \frac{1}{55,2} = \frac{1}{29,4}$$

L_1
 $L_1 = 520$ m

2.2.2.3 — Equivalência da linha de 754 m de $\phi = 0,950$ m em $\phi = 1,00$ m

$$L = \left(\frac{1,00}{0,95} \right)^{1,87} \times 754 = 1,283 \times 754 = 968$$

2.2.2.4 — Equivalência da linha dupla: 968 m de $\phi = 1,00$ m e 754 m de $\phi = 1,00$ m em uma só de $\phi = 1,00$ m.

$$\frac{1}{0,54} = \frac{1}{(968) 0,54} + \frac{1}{(754) 0,54} = \frac{1}{41,0} + \frac{1}{35,9} = \frac{1}{19,2}$$

L_3
 $L_3 = 238$ m

2.2.2.5 — Equivalência de 3.560 m de $\phi = 1,50$ m em $\phi = 1,00$ m.

$$L_4 = \left(\frac{1,00}{1,50} \right)^{4,87} \times 3.560 = 0,139 \times 3.560 = 495$$

2.2.2.6 — Comprimento total em $\phi = 1,00$ m equivalente à linha mista

$$\begin{aligned} L_1 &= 520 \text{ m} \\ L_2 &= 95 \text{ m} \\ L_3 &= 238 \text{ m} \\ L_4 &= 495 \text{ m} \\ \hline \text{Total} &= 1.348 \text{ m} \end{aligned}$$

2.2.3 — Cálculo das perdas de carga

2.2.3.1 — Na Casa de Bombas

$$J = 0,0021 \times \frac{Q^{1,852}}{D^{4,87}} \quad (\text{Hazen-Williams, } C = 100)$$

Para $D = 1,00$ m e $L = 1.232$ m, vem:

$$H_1 = 1.232 \times 0,0021 \times Q^{1,852} = 2,59 Q^{1,852}$$

onde Q é a vazão e H_1 a perda de carga na Casa de Bombas.

Temos:

Q m ³ /s	H ₁ m
1,00	2,59
1,25	3,91
1,50	5,47
2,00	9,35

2.2.3.2 — Na linha mista

$$J = 0,0021 \times \frac{Q^{1,852}}{D^{4,87}} \quad (C = 100)$$

Para D = 1,00 m e L = 1.348 m, vem:

$$H_2 = 1.348 \times 0,0021 \times Q^{1,852} = 2,83 Q^{1,852}$$

Temos:

Q m ³ /s	H ₂ m
2,00	10,40
2,50	15,40
3,00	21,60
4,00	36,80

Na linha mista para a Estação de Tratamento Theodoro Ramos deverão ser ligados 2 conjuntos de recalque. Então, podemos compor a seguinte tabela:

Vazão de bomba m ³ /s	Vazão na linha m ³ /s	H ₁ m	H ₂ m	H _T = H ₁ + H ₂ m
1,00	2,00	2,59	10,40	12,99
1,25	2,50	3,91	15,40	19,31
1,50	3,00	5,47	21,60	27,07
2,00	4,00	9,35	36,80	46,15

2.2.3.3 — Nas linhas de ferro fundido, diâmetro $\phi = 1,00$ m

$$J = 0,0021 \times \frac{Q^{1,852}}{D^{4,87}} \quad (C = 100)$$

Para D = 1,00 m e L = 5.360 m, vem:

$$H_2 = 5.360 \times 0,0021 \times Q^{1,852} = 11,25 Q^{1,852}$$

Temos:

Q m ³ /s	H ₂ m
1,00	11,25
1,25	17,00
1,50	23,80
2,00	40,60

No caso das linhas de ferro fundido, cada bomba recalcará em uma só linha. Temos, então:

Vazão da bomba e da linha m ³ /s	H ₁ m	H ₂ m	H _T = H ₁ + H ₂
1,00	2,59	11,25	13,84
1,25	3,91	17,00	20,91
1,50	5,47	23,80	29,27
2,00	9,35	40,60	49,95

2.2.3.4 — Nas linhas novas de aço revestido e concreto de $\phi = 1,20$ m

Para D = 1,20 m, L = 5.650 m, C = 150, temos:

$$H_2 = 0,472 \times 5.650 \times 0,0021 \times \frac{Q^{1,852}}{(1,2)^{4,87}} = 2,30 Q^{1,852}$$

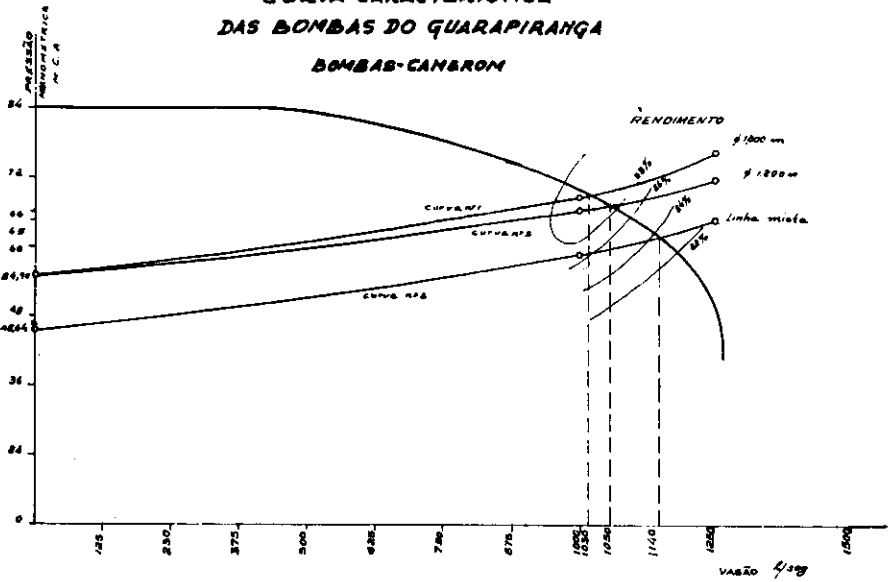
Temos:

Q m ³ /s	H ₂ m
2,00	8,30
2,50	12,60
3,00	17,60
4,00	29,90

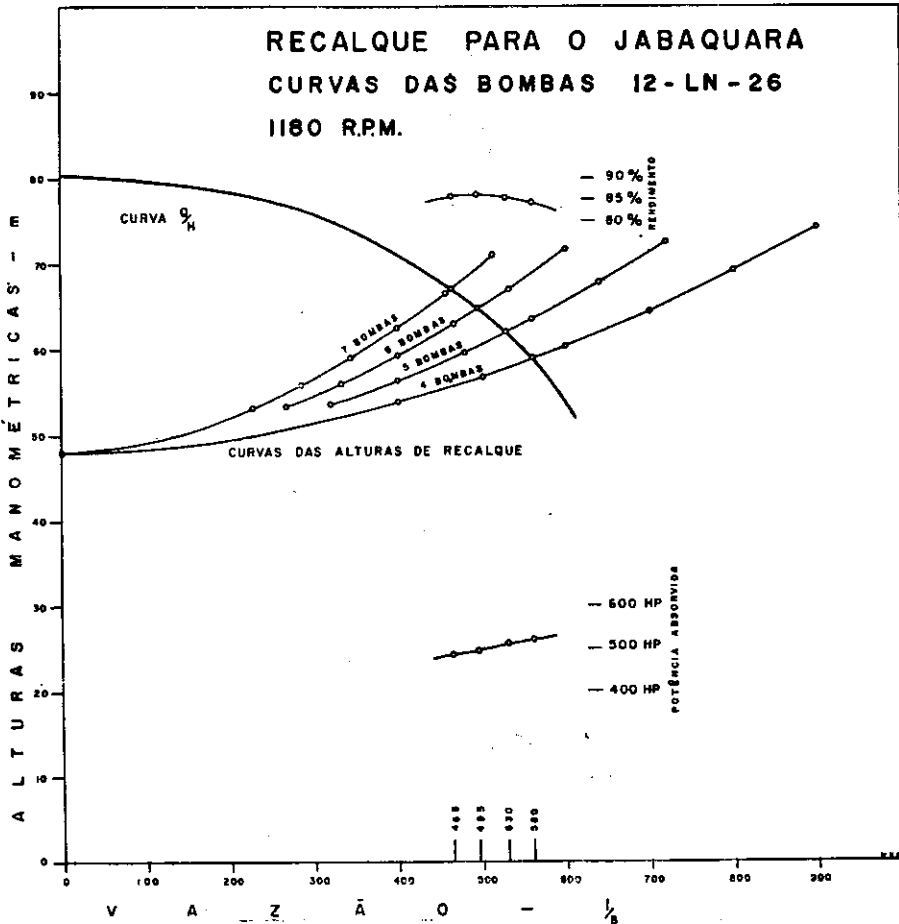
Como nestas linhas teremos 2 bombas recalcando em cada linha, vem:

Vazão da bomba m ³ /s	Vazão na linha m ³ /s	H ₁ m	H ₂ m	H _T = H ₁ + H ₂ m
1,00	2,00	2,59	8,30	10,89
1,25	2,50	3,91	12,60	16,51
1,50	3,00	5,47	17,60	23,07
2,00	4,00	9,35	29,90	39,25

**CURVA CARACTERÍSTICA
DAS BOMBAS DO QUARAPIRANGA
BOMBAS-CAMERON**



**RECALQUE PARA O JABAQUARA
CURVAS DAS BOMBAS 12-LN-26
1180 R.P.M.**



2.2.4 — Cálculo das alturas manométricas

A altura geométrica de recalque para o Alto da Boa Vista será:

N.A. de chegada no Alto da Boa Vista	778,60 m
N.A. de tomada no Guarapiranga	723,70 m
Altura geométrica de recalque	54,90 m

E para Theodoro Ramos:

N.A. de chegada	769,345 m
N.A. de tomada no Guarapiranga	723,700 m
Altura geométrica de recalque	45,645 m

Somando estes valores às perdas de carga, já calculadas, determinamos as alturas manométricas, conforme a tabela abaixo:

Vazão nas linhas m ³ /s	Hmanométrica linha de $\phi = 1,00$ m de ferro fundido m	Hmanométrica linha mista m	Hmanométrica linha de $\phi = 1,20$ m
0,00	54,900	45,645	54,900
1,00	68,740		
1,25	75,810		
1,50	84,170		
2,00	104,850	58,635	65,790
2,50		64,955	71,410
3,00		72,715	77,970
4,00		91,795	94,150

2.2.5 — Distribuição das vazões

Com as alturas manométricas acima, desenhamos as curvas de altura manométrica:

- n.º 1 — linha de fºfº de $\phi = 1,00$ m
- n.º 2 — linha mista
- n.º 3 — linha de $\phi = 1,20$ m

observando a mesma escala da curva característica Q/H das bombas instaladas no Guarapiranga (v. gráfico). Os pontos de intersecção dão as vazões que as bombas recalcarão nas diversas linhas. Temos:

Cada linha simples de $\phi = 1,00$ m, fºfº	1,030 m ³ /s
Cada linha simples de $\phi = 1,20$ m, aço	2,100 m ³ /s
Linha mista	2,0 × 1,140 = 2,280 m ³ /s

E portanto:

Vazão para Theodoro Ramos	2,280 m ³ /s
Vazão para Alto da Boa Vista	
3 linhas simples de $\phi = 1,00$ m, fºfº	3 × 1030 = 3,090 m ³ /s
3 linhas simples de $\phi = 1,20$ m, aço	3 × 2100 = 6,300 m ³ /s
Total	11,670 m ³ /s

Logo será necessário, ainda, ampliar o recalque do Guarapiranga em mais 20,00 —
— 11,67 = 8,33 m³/s.

A atual instalação de recalque tem o canal de chegada, poços de sucção e caixas de areia projetadas para 11 m³/s. Poderão ser sobrecarregadas para dar os 11,67 m³/s, sem nenhum inconveniente. A atual Casa de Bombas não poderá ser ampliada na direção em que o vem sendo, além da capacidade de 11,67 m³/s. Pensamos que a solução para o caso será projetar-se uma nova instalação de recalque, para 8,33 m³/s, em local a ser escolhido de modo a aproveitar a mesma instalação de transformação de energia elétrica, apenas com ampliação. Sugerimos que sejam instalados nessa nova Estação Elevatória 5 grupos, sendo um de reserva, com a capacidade de 2,08 m³/s, cada um. A vazão total de 8,33 m³/s seria recalçada por meio de 2 linhas em aço revestido, com diâmetro $\phi = 1,70$ m (deverão ser pesquisados os diâmetros de 1,60 m e 1,50 m, sob o ponto de vista econômico) e comprimento total de 5.500 m aproximadamente. O caminhamento seria pelas Avenidas de Pinedo, Avenida Socorro, Praça Dom Francisco de Souza, Rua das Bandeiras, Rua Baxiuva, Rua Senador Vergueiro até a Estação de Tratamento do Alto da Boa Vista.

A perda de carga nessas linhas seria:

$$H = 0,472 \times 5.500 \times 0,0021 \times \frac{(4,16)^{1,852}}{(1,7)^{4,87}} = 5,74 \text{ m}$$

Admitindo-se uma perda de carga, dentro da Casa de Bombas, igual a 5,0 m, teremos:

Altura geométrica de recalque	54,90 m
Perda de carga na linha	5,74 m
Perda de carga na Casa de Bombas	5,00 m
TOTAL	65,64 m

Tomando-se o rendimento de 88% para as bombas, teremos a potência necessária dos motores:

$$P = \frac{2.100 \times 65,64}{75 \times 0,88} = 2.190 \cong 2.400 \text{ HP}$$

Ficam assim definidas as linhas que deverão alcançar as estações de tratamento de água do Alto da Boa Vista e Theodoro Ramos. Uma das linhas de diâmetro $\phi = 1,00$ m em ferro fundido, deverá fornecer ao Alto da Boa Vista somente 735 l/s; os restantes 295 l/s de sua capacidade total de 1 030 l/s, seguirão para Theodoro Ramos, por meio de ligação existente.

Assim, teremos entrando no Alto da Boa Vista:

2 × 1.030 l/s =	2.060 l/s
1 × 735 l/s =	735 l/s
3 × 2.100 l/s =	6.300 l/s
2 × 4.165 l/s =	8.330 l/s
Total	17.425 l/s

E, na Theodoro Ramos:

1 × 2.280 l/s =	2.280 l/s
1 × 295 l/s =	295 l/s
Total	2.575 l/s
Total Geral	20.000 l/s

3 — JABAQUARA

3.1 — Na estação de recalque para o Jabaquara estão instalados 7 grupos de recalque com capacidade nominal cada um de 500 l/seg e cuja curva característica Q/H, vai junto. Essas bombas estão acopladas a motores elétricos assíncronos de 600 HP.

3.2 — Alturas manométricas de recalque

Para o Jabaquara já existia uma linha de recalque com diâmetro $\phi = 0,800$ m, em ferro fundido. Foi construída outra linha, em concreto protendido, com diâmetro $\phi = 1,200$ m.

Tomaremos, para a linha de ferro fundido, o coeficiente C, da fórmula de Hazen-Williams, igual a 100. Para a linha de concreto, de acordo com o relatório da Comissão da American Water Works Association, para tubos de aço com revestimento de concreto centrifugado, com diâmetro superior a 16", pode ser usado o coeficiente C = 150 (v. "Journal American Water Works Association", n.º 6, Jun 61).

O diâmetro D = 1,200 m, em concreto, com C = 150, é equivalente a um diâmetro, com coeficiente C = 100, igual a

$$D_{100} = (1,5)^{0,38} \times D_{150} = 1,167 \times 1,20 = 1,400 \text{ m}$$

Sendo os comprimentos das 2 linhas, de $\phi = 0,800 \text{ m}$ e de $\phi = 1,200 \text{ m}$, praticamente iguais, o diâmetro de uma linha, com perda de carga equivalente a das 2, será:

$$D^{2,63} = (1,40)^{2,63} + (0,80)^{2,63} = 2,420 + 0,556 = 2,976$$

$$D = 1,515 \text{ m}$$

O comprimento das linhas é de 7.200 m e a altura geométrica de recalque é de 48 m. Pela fórmula de Hazen Williams, temos:

$$H_1 = 7.200 \times 0,0021 \times \frac{Q^{1,852}}{D^{4,87}} = 15,12 \times \frac{Q^{1,852}}{(1,515)^{4,87}} = 2,00 \times Q^{1,852}$$

Por meio desta equação, calculamos os valores da perda de carga H₁ na linha para diversos valores da vazão de linha Q.

A fim de calcular a perda de carga H₂ na Casa de Bombas, apresentamos abaixo uma tabela, na qual as peças especiais existentes são equiparadas (para efeito de cálculo de perda de carga) a comprimentos de canalização de mesmo diâmetro, transformados a seguir, em comprimentos equivalentes de diâmetro $\phi = 0,600 \text{ m}$.

PEÇA	Diâmetro (m)	Comprimento equivalente (m)	Comprimento equivalente de $\phi = 0,600\text{m}$ (m)
Redução $\phi 1,000 \times \phi 0,600$	0,600	5,4	5,4
Curva $\phi 0,600 \times 90^\circ$ — 6 segmentos	0,600	9,0	9,0
Tôco $\phi 0,600$	0,600	0,7	0,7
Tôco $\phi 0,600$	0,600	0,6	0,6
Redução excêntr. $\phi 0,600 \times \phi 0,450$	0,450	3,2	13,0
Alargamento $\phi 0,350 \times \phi 0,600$	0,350	7,0	97,2
Curva $\phi 0,600 \times 90^\circ$ — 6 segmentos	0,600	9,0	9,0
Tôco $\phi 0,600$	0,600	0,7	0,7
Curva $\phi 0,600 \times 90^\circ$ — 6 segmentos	0,600	9,0	9,0
Válvula de retenção $\phi 0,600$	0,600	48,0	48,0
Tôco $\phi 0,600$	0,600	0,9	0,9
Registro de gaveta $\phi 0,600$	0,600	4,2	4,2
Tê $\phi 0,600$ (passagem direta)	0,600	12,0	12,0
Alargamento $\phi 0,600 \times \phi 0,800$	0,600	4,2	4,2
Junção $\phi 0,800$	0,800	16,0	4,0
Tôco $\phi 0,800$	0,800	1,0	0,2
Tôco $\phi 0,800$	0,800	2,0	0,5
Curva $\phi 0,800 \times 90^\circ$ — 6 segmentos	0,800	12,0	3,0
Tê $\phi 0,800$ (passagem lateral)	0,800	36,0	8,9
Registro de gaveta $\phi 0,800$	0,800	5,6	1,5
Total			232,0

Pela fórmula de Hazen-Williams:

$$H = \frac{Q^{1,852} \times L}{(0,2785 \times C \times D^{2,63})^{1,852}}$$

Aplicando ao nosso caso:

$$H_2 = \frac{q^{1,852} \times 232}{(0,2785 \times 100 \times 0,6^{2,63})^{1,852}} = 5,92 q^{1,852}$$

Podemos agora, com esta equação, calcular a perda H_2 para várias vazões de bomba q . As tabelas abaixo, organizadas para os vários acoplamentos possíveis, nos dão as respectivas alturas manométricas H_m .

Para 4 bombas:

Vazão na linha Q (m^3/s)	Perda na linha H_1 (m)	Vazão em cada bomba q (m^3/s)	Perda na bomba H_t (m)	Perda total H_2 (m)	Altura geométrica H_G (m)	Altura manométrica H_m (m)
1,600	4,77	0,400	1,08	5,85	48,00	53,85
2,000	7,20	0,500	1,64	8,84	48,00	56,84
2,400	10,10	0,600	2,30	12,40	48,00	60,40
2,800	13,44	0,700	3,06	16,50	48,00	64,50
3,200	17,20	0,800	3,93	21,13	48,00	69,13
3,600	21,40	0,900	4,87	26,27	48,00	74,27

Para 5 bombas:

1,600	4,77	0,320	0,72	5,49	48,00	53,49
2,000	7,20	0,400	1,08	8,28	48,00	56,28
2,400	10,10	0,480	1,52	11,62	48,00	59,62
2,800	13,44	0,560	2,03	15,47	48,00	63,47
3,200	17,20	0,640	2,59	19,79	48,00	67,79
3,600	21,40	0,720	3,22	24,62	48,00	72,62

Para 6 bombas:

1,600	4,77	0,267	0,52	5,29	48,00	53,29
2,000	7,20	0,333	0,77	7,97	48,00	55,97
2,400	10,10	0,400	1,08	11,18	48,00	59,18
2,800	13,44	0,467	1,45	14,89	48,00	62,89
3,200	17,20	0,533	1,85	19,05	48,00	67,05
3,600	21,40	0,600	2,30	23,70	48,00	71,70

Para 7 bombas:

1,600	4,77	0,228	0,39	5,16	48,00	53,16
2,000	7,20	0,286	0,58	7,78	48,00	55,78
2,400	10,10	0,343	0,82	10,92	48,00	58,92
2,800	13,44	0,400	1,08	14,52	48,00	62,52
3,200	17,20	0,457	1,39	18,59	48,00	66,59
3,600	21,40	0,514	1,73	23,13	48,00	71,13

3.3 — Vazão das bombas

Com as alturas manométricas acima, traçamos as curvas das alturas de recalque (v. desenho) para 4, 5, 6 e 7 bombas trabalhando em paralelo. Na curva Q/H das bombas já instaladas (12-LN-26, 1180 RPM), determinamos os pontos de intersecção das curvas traçadas. Assim, as vazões, a serem obtidas com os diversos acoplamentos possíveis, são as seguintes:

- Para 4 bombas: $Q = 4 \times 560 = 2.240 \text{ l/s}$
- Para 5 bombas: $Q = 5 \times 530 = 2.650 \text{ l/s}$
- Para 6 bombas: $Q = 6 \times 495 = 2.970 \text{ l/s}$
- Para 7 bombas: $Q = 7 \times 465 = 3.255 \text{ l/s}$

APÊNDICE

Transcrevemos, a seguir, do Journal American Water Works Association, Vol. 53, n.º 6, de junho de 1961, duas tabelas de inestimável valor para o engenheiro projetista.

1 — Coeficientes da fórmula de Hazen-Williams para diversos tipos de superfície interna de tubos.

Superfície interna do tubo	C médio
Ferro fundido, nôvo, com pintura de piche (diâmetro maior que 400 mm)	135 *
Idem (diâmetro menor que 400 mm)	125 *
Revestimento interno de cimento (aplicado manualmente)	136 ^{xx}
Idem (aplicado centrifugamente)	150 ^{xx}
Revestimento com esmalte de "coal-tar" (diâmetro maior que 400 mm)	150 *
Idem (diâmetro menor que 400 mm)	145 *

* Baseado no diâmetro nominal

^{xx} Baseado no diâmetro real

2 — Comprimentos de tubos equivalentes, em perda de carga, a peças especiais de mesmo diâmetro e material.

Tipo de conexão	Comprimento equivalente em diâmetros
Curvas de aço em segmentos	
22,5º — 2 segmentos	4
30º — 2 segmentos	7
45º — 2 segmentos	15
45º — 3 segmentos	10
60º — 2 segmentos	25
60º — 3 segmentos	15
90º — 2 segmentos	65
90º — 3 segmentos	25
90º — 4 segmentos	15
Tê	
Passagem direta	20
Passagem de derivação para direta ou de direta para derivação (sem estrangulamento)	65
Idem (com estrangulamento)	45
Lateral	45

Contração brusca

Relação entre diâmetro de entrada e diâmetro de saída

4 para 1	14 *
2 para 1	11 *
4 para 3	7 *

* Valores aplicados ao menor diâmetro

Alargamento brusco

Relação entre diâmetro de entrada e diâmetro de saída

1 para 4	32 *
1 para 2	20 *
3 para 4	7 *

* Valores aplicados ao menor diâmetro

Redução

¼ Redução	26 *
½ Redução	32 *

* Valores aplicados ao menor diâmetro

Entrada de tubo em parede de concreto

Em ângulo reto	16
Em cone convergente (5° — 10°)	6

Curvas comuns de 90° (sem segmentos)

Relação entre raio de curva e diâmetro do tubo

1	18
2	9
3	8
4	7
5	8
6	9
8	12
10	14
12	16

Tipo de conexão	Comprimento equivalente em diâmetros
14	17
16	18
18	18
20	18

Registros de gaveta

Totalmente aberto	7
¼ fechado	40
½ fechado	200
¾ fechado	850

Válvula de retenção

Totalmente aberta	80
-------------------	----