

CONTROLE DO GOLPE DE ARIETE NA ELEVATÓRIA DO GUARAPIRANGA

Professor TUFI MAMED ASSY*
FREDERIC STIEBLER COUTO**

I — INTRODUÇÃO

A elevatória do Guarapiranga é uma das instalações de recalque mais antigas de São Paulo. Com o tempo, sofreu uma série de modificações e ampliações. Num futuro próximo já estará operando com a sucção longa e em carga (Vide Fig. 3). Serão 11 bombas a recalcar em paralelo, ao longo de 7 adutoras, a vazão total aproximada de 12,0 m³/s. Na saída de cada bomba estão previstos os equipamentos de antes: válvulas de retenção e válvulas antigolpe do tipo blondelet. Ao longo da linha estão instaladas ventosas de duplo efeito. Até há pouco tempo, vinha sendo constatado um grande número de arrebentamentos nas diversas adutoras e este número vinha se acentuando de ano para ano como se pode constatar pelo exame das Figs. 1 e 2. Em consequência admitiu-se que entre outras causas está, provavelmente, como causa principal dos arrebentamentos, a sobrelevação da pressão ao longo das adutoras, decorrentes do rejuntamento das colunas líquidas, previamente separadas nas

seções onde se atinge a pressão de vapor (ou a pressão atmosférica quando na seção há ventosa) causadas pelas freqüentes paralisações dos grupos moto-bombas por interrupção da energia elétrica. Por essa razão, a Superintendência de Projetos de Sistemas da SABESP — Cia. de Saneamento Básico do Estado de São Paulo — solicitou a elaboração de programas completos de cálculo de golpe de ariete por computador. O presente trabalho é uma referência a um desses programas, que acaba de ser ultimado para o caso em que a elevatória opere nas condições seguintes (Fig. 3):

- 1 — Com canalização de sucção longa, em carga.
- 2 — Com conjuntos moto-bombas de características diferentes (Vide n.º 1 — item III).
- 3 — Com válvulas de retenção de fechamento instantâneo na saída de cada bomba.
- 4 — Com barriletes na entrada e na saída das bombas.
- 5 — Com a geometria das adutoras conforme apresentada no desenho supra indicado (Fig. 3).
- 6 — Com ou sem válvulas blondelet instaladas no barrilete de saída das bombas e/ou instaladas em quaisquer das seções das adutoras sem limite quanto ao número de seções a considerar.

* Professor Titular da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Engenheiro Consultor da SABESP.

** Analista de Sistemas do Departamento de Processamento de Dados da SABESP.

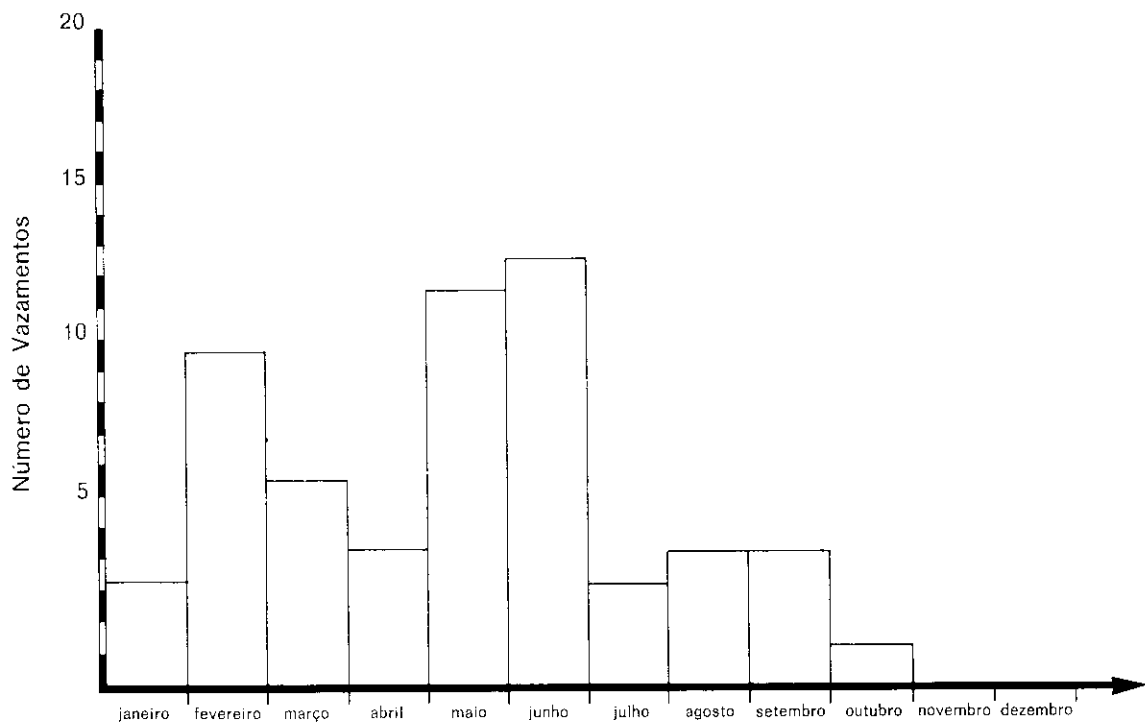


Fig. 1 — Ocorrência de vazamentos subsequentes à interrupção da energia elétrica para a Elevatória do Guarapiranga (Ano 1973).

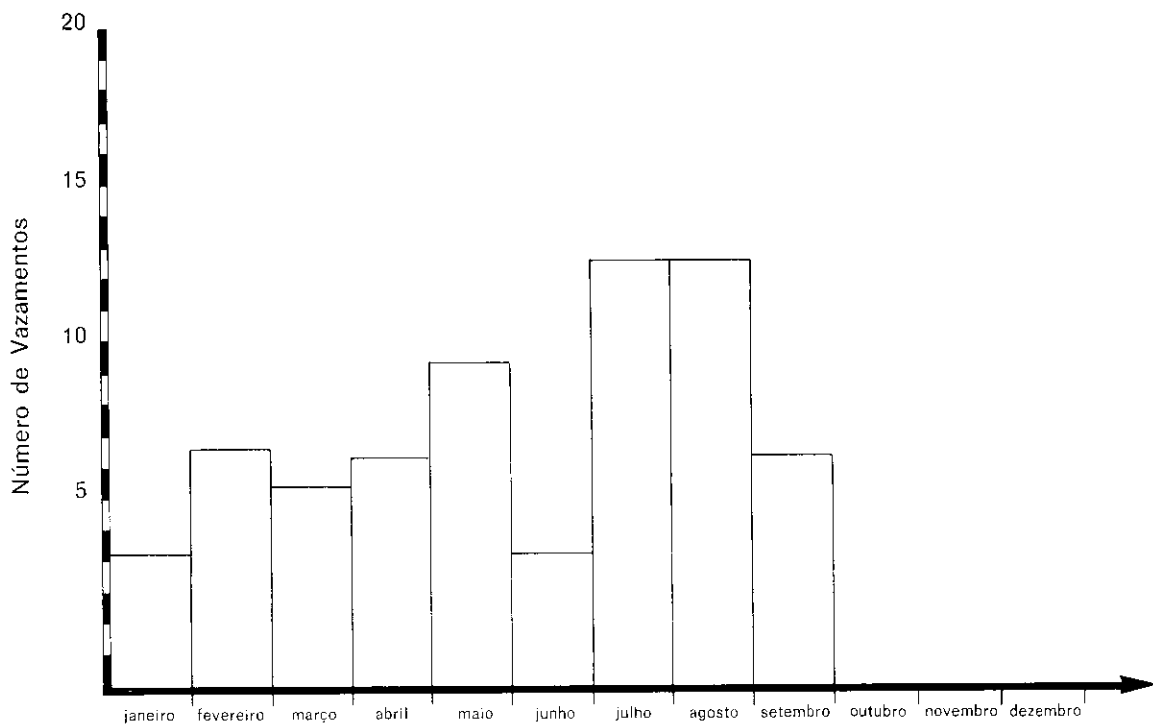
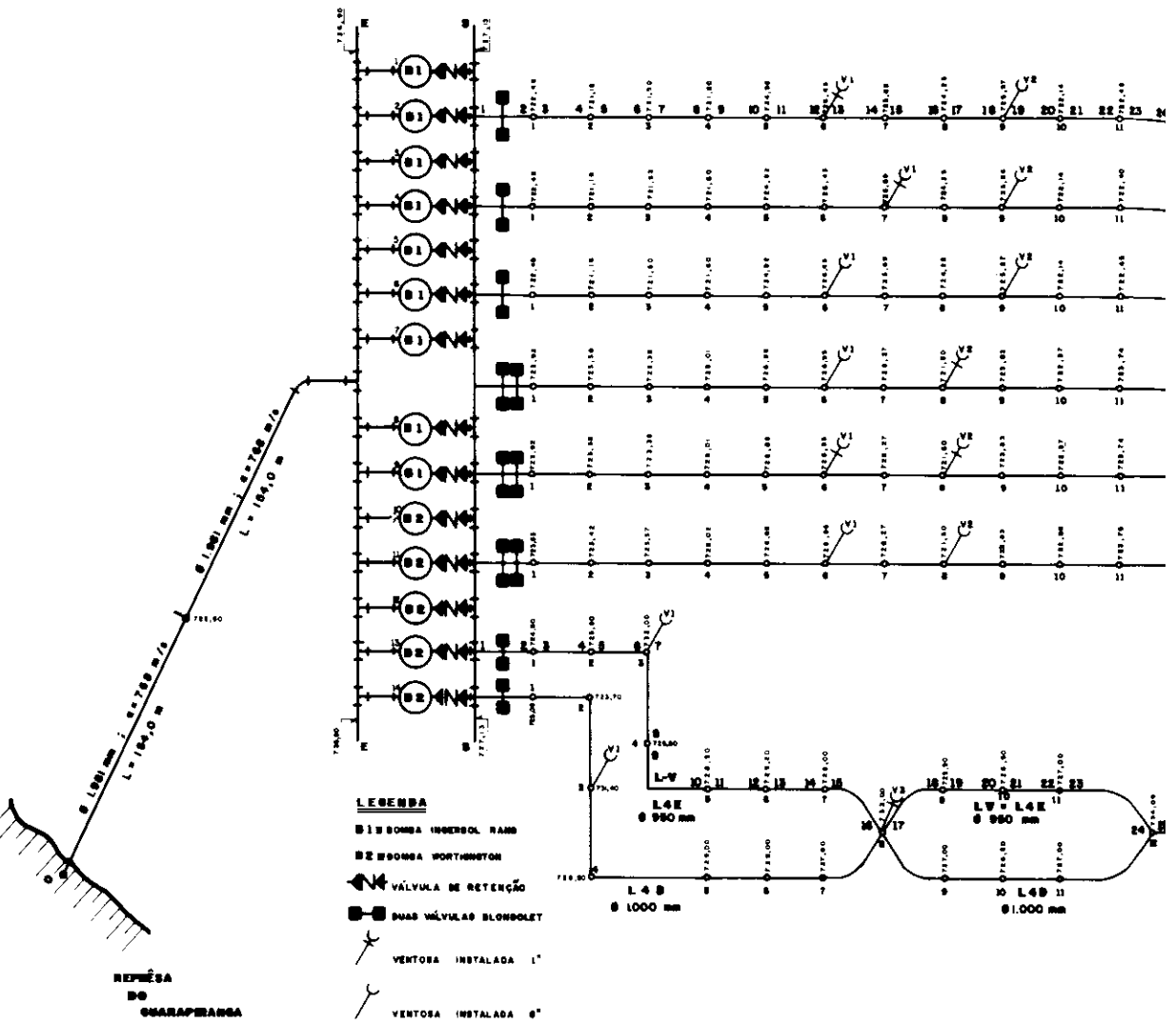


Fig. 2 — Ocorrência de vazamentos subsequentes à interrupção da energia elétrica para a Elevatória do Guarapiranga (Ano 1974).



NOTAS

- 1) A CCELERIDADE NO RECALQUE É A MESMA PARA TODAS AS TUBULAÇÕES 1:1000 m/s
- 2) AS COTAS MENCIONADAS AO LONGO DA TUBULAÇÃO FORAM ESTIMADAS A PARTIR DOS DESENHOS N°

7 — Com ou sem ventosas instaladas em qualquer uma das seções de cada adutora, sem limite quanto ao número destas válvulas.

8 — Com ou sem chaminé de equilíbrio unidirecional "one-way surge tank" em qualquer seção de cada adutora, sem limite quanto ao número das seções.

A chaminé de equilíbrio unidirecional é usada para evitar que se realize o fenômeno da separação de coluna líquida. A chaminé é conectada à adutora, na seção onde uma separação de coluna pode ocorrer, por meio de uma válvula de retenção. Esta válvula abre quando a carga na seção da adutora cai abaixo da carga existente na superfície livre da água dentro da chaminé. Desse modo, o escoamento se faz da chaminé para a adutora e isso impede a separação da coluna líquida.

A válvula anti-golpe blondelet é utilizada para reduzir a carga na seção. Quando a carga de abertura da válvula é superada pela carga reinante na seção, a válvula abre e a carga na seção começa a decrescer e enquanto isso a válvula inicia o seu fechamento lento.

A ventosa, no caso presente, tem a função de admitir a entrada de ar, quando a pressão na seção atinge o valor da pressão atmosférica. A coluna líquida se separa para depois re-juntar-se e o ar é então expulso através da ventosa.

O programa foi feito com a finalidade de testar a instalação na situação atual e na situação futura, admitindo na instalação os equipamentos existentes e, eventualmente, os dispositivos anti-golpe que vierem a ser recomendados.

O presente trabalho mostra, ainda, o formulário utilizado e a forma como são obtidas as equações que regem o escoamento em regime transitório. Descreve-se também o programa para os cálculos numéricos por computador digital e alguns resultados e gráficos são apresentados a título de ilustração.

II — HIPÓTESES DE CÁLCULO

1 — A onda de pressão se propaga instantaneamente entre as seções de entrada e de saída das bombas.

2 — Os níveis de água nos reservatórios permanecem fixos em relação ao tempo.

3 — A altura cinética na seção de um conduto é desprezível em face das variações das alturas de pressão.

III — FORMULÁRIO UTILIZADO

1 — Há duas marcas de bombas na elevatória do Guarapiranga (Vide Fig. 3). Para o

presente trabalho adotaram-se as curvas características fornecidas pelos fabricantes^{(1)*}. As curvas características das bombas "Ingersol Rand" conduziram às seguintes equações:

$$H_{m1} = 0,360N^2 + 2,095NQ - 53,535Q^2 \quad (1a)$$

$$M_1 = 0,554N^2 + 94,518NQ - 766,534Q^2 \quad (1b)$$

e para as bombas Worthington (Rotor novo) obtiveram-se as relações:

$$H_{m2} = 0,364N^2 + 2,537NQ - 43,565Q^2 \quad (2a)$$

$$M_2 = 0,964N^2 + 62,026NQ - 236,818Q^2 \quad (2b)$$

2 — O movimento das peças girantes do motor e da bomba, incluindo a água dentro do rotor, subsequente à interrupção da energia elétrica, é expresso por:

$$\frac{dN}{dt} = - \frac{M}{2\pi I} \quad (3)$$

3 — A carga manométrica de cada uma das categorias de bombas está relacionada às carga nas seções de entrada e saída por:

$$H_c - H_s = - H_{m1} = - H_{m2} \quad (4)$$

4 — As vazões nas seções que precedem e seguem um dos entroncamentos e-e e s-s de entrada e saída das bombas verificam, em cada instante, as relações:

$$Q_c = v_1 Q_{b1} + v_2 Q_{b2} \quad (5)$$

$$\sum Q_i = v_1 Q_{b1} + v_2 Q_{b2} \quad (6)$$

5 — A vazão de cada válvula blondelet é dada por

$$Q_v = \eta(\theta) \sqrt{H - Z} \quad (7)$$

onde

$$\eta(\theta) = C_{d0} S_0 \sqrt{2g - \tau(\theta)} \quad (8)$$

e $\tau(\theta)$ representa a lei de abertura-fechamento.

6 — As diversas equações que regem o escoamento do interior da chaminé para o interior do conduto são: (Fig. 4)

a — equação da continuidade no entroncamento.

$$Q_1 + Q_3 = Q_2 \quad (9)$$

b — Igualdade das cargas no entroncamento.

* O número entre colchetes indica a bibliografia citada no final deste trabalho.

$$H_1 = H_2 = H \quad (10)$$

c — Relação de Bernoulli.

$$Z(t) - H = K_s \frac{V_3^2}{2g} \quad (11)$$

d — Equação da continuidade na chaminé

$$Z(t) - Z(t - \Delta t) = \int_{t-\Delta t}^t \frac{Q_3}{S_3} dt \quad (12)$$

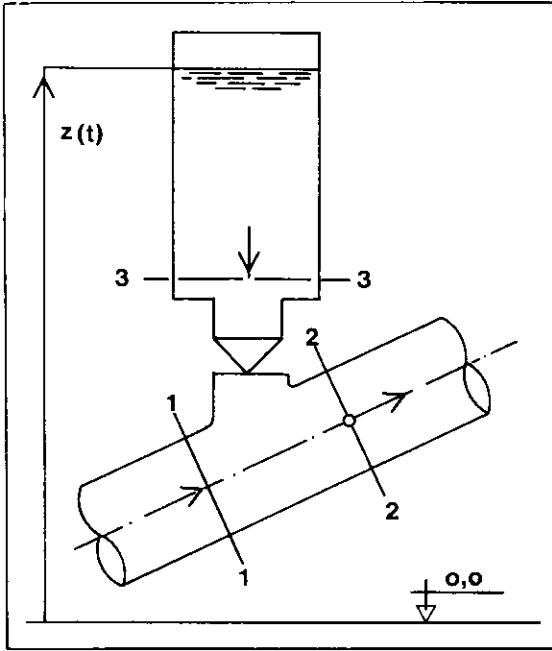


Fig. 4 — Chaminé Unidirecional.

7 — Quando no nó há ventosa e a pressão atinge o valor da pressão atmosférica ou quando sem ventosa mas a pressão atinge a pressão de vapor do líquido à temperatura em que ele está escoando, forma-se uma cavidade cujo volume é regido pela equação:

$$\nabla_c (I_K, T) = \nabla_c (I_K, T-1) + \nabla_c \quad (13A)$$

onde

$$\nabla_c = (\sum Q_{I_{K-1}, T} - \sum Q_{I_K, T}) \times DT \quad (13B)$$

8 — As razões que precedem e seguem cada um dos entroncamentos nas adutoras verificam, em cada instante, uma relação do tipo (Fig. 5).

$$Q_1 + Q_2 = Q_3 + Q_4 \quad (14)$$

9 — Os níveis nos reservatórios inferior e superior permanecem fixos e, então:

$$Z_{inf} = Cte. \quad (15A)$$

$$Z_{sup} = Cte. \quad (15B)$$

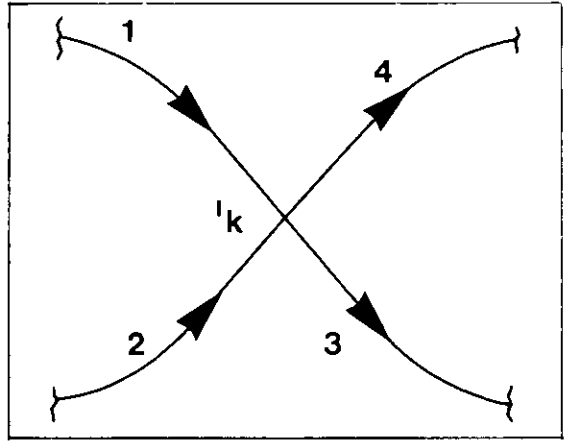
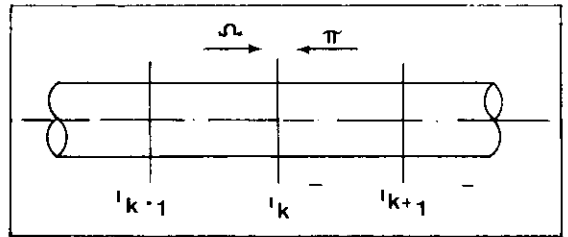


Fig. 5 — Entroncamento tipo.

10 — Em todas as seções I_k de cada conduto K , o método das características [2] fornece uma ou ambas as fórmulas:

$$\Omega (M_{I_K}, T) - \Omega (I_{K-1}, T-1) - (I_{K-1}, T-1) \times DT \quad (16)$$

$$\pi (I_K, T) - \pi (M_{K+1}, T-1) + (M_{K+1}, T-1) \times DT \quad (17)$$



Seções intermediárias.

onde, respeitadas as notações aí usadas:

$$\Omega (M_{I_K}, T) = \alpha (I_K) H (I_K, T) + Q (M_{I_K}, T) \quad (18)$$

$$\pi (I_K, T) = \alpha (I_K) H (I_K, T) - Q (I_K, T) \quad (19)$$

$$i (I_{K-1}, T-1) = \frac{f (I_{K-1}, T-1) | Q (I_{K-1}, T-1) |}{2D (I_K) S (I_K)} Q (I_{K-1}, T-1) \quad (20)$$

Caso se utilize a fórmula de resistência devida a Hazen e William faz-se em (20):

$$f = \frac{133,5 S^{0,15}}{C^{1,85} Q^{0,15} D^{0,17}} \quad (21)$$

onde C é o coeficiente de rugosidade.

IV — EQUAÇÕES DO GOLPE DE ARIETE

As Eqs. (16) e (17) fornecem em cada instante t , uma repartição das funções Ω ou Π nas seções intermediárias, e nas seções extremas. O conhecimento de cada uma destas variáveis permite introduzir uma das Eqs. (18) e (19). A resolução destas equações e a solução delas combinadas com as equações anteriores permitem obter-se a repartição de Ω e Π , anteriormente incógnitas, em todas as seções, como a seguir se expõe.

1 — Entre as seções de entrada e-e e saída s-s das bombas o escoamento é regido pelas Eqs. (1), (2), (3), (4), (5), (6), (18), (19), estas duas últimas sendo aplicadas, respectivamente, em e-e e s-s de cada uma das adutoras. Este sistema de equações deve ser resolvido para se obter as variáveis Π (na seção e-e), Ω (em cada s-s), H e Q (em cada uma das seções e-e e s-s) e as variáveis ligadas às bombas (N , Q_b , H_m). Como o sistema de equações contém uma equação diferencial, pode-se adotar um processo de resolução de Runge-Kutta [3]. Quando a vazão se anula em um dos conjuntos de grupos moto-bomba e não no outro, as válvulas de retenção se supõem fechadas para o primeiro conjunto, o sistema de equações possui as equações antes citadas mas em que a resolução é mais simples. Quando se anulam as vazões em ambos os conjuntos, as válvulas de retenção se supõem fechadas para todas as bombas, e o sistema se comporá das Eqs. (5), (6), (18) e (19), e das Eqs. (7) e (8) se a carga na seção s-s estiver acima da carga de abertura da válvula blondelet. Quando as bombas voltam a funcionar depois de anuladas as vazões pela primeira vez, caso em que a carga na seção de entrada e-e supera a carga na saída s-s, o sistema se comporá das Eqs. (1), (2), (3), (4), (5), (6), (18) e (19) e das Eqs. (7) e (8) se a válvula blondelet já vinha descarregando.

2 — Entre as seções situadas à montante, MI_k , e à juzante, JI_k , de um nó I_k , o escoamento é regido apenas pelas Eqs. (18) e (19) se I_k é um nó normal, i.é, se a pressão reinante é maior do que a pressão atmosférica, quando há ventosa, ou maior do que a pressão de vapor quando não há ventosa. Quando ocorre a separação de coluna, a pressão na seção será a pressão de vapor se não há ventosa ou a pressão atmosférica se há ventosa. A carga na seção é então facilmente obtida. O valor desta carga e as Eqs. (18) e (19) resolvem completamente o problema da separação de coluna líquida. Este fenômeno prossegue até se anular o volume da cavidade de acordo com o exposto

no n.º 7, item III, quando então o nó passa a se comportar como normal.

Se o nó é um entroncamento simples (como, por exemplo, os nós 8 e 12 da Fig. 3), o escoamento é regido pelas Eqs. (14), (18) e (19). A técnica de resolução é a mesma que para um nó simples com escoamento normal ou com separação de coluna líquida.

3 — O escoamento nas seções intermediárias munidas de chaminé de equilíbrio comum ou unidirecional é regido pelas Eqs. (9), (10), (11), (12), (18) e (19). Das três primeiras relações e das Eqs. (18) e (19) se deduz uma relação entre Q_i e Z_t . Uma outra relação entre estas variáveis é dada pela Eq. (12). A solução é então obtida por tentativas.

4 — O escoamento nas seções intermediárias munidas de válvulas do tipo blondelet, que começam a descarregar quando a carga na seção supera a carga de abertura da válvula, pode ser resolvido combinando as Eqs. (7), (8), (9), (18) e (19). Estas válvulas podem ser dotadas de dispositivos tais que se comportam como ventosas quando a pressão atinge a pressão atmosférica e como válvulas blondelet quando a carga na seção supera a carga de abertura previamente fixada.

5 — O escoamento nas seções extremas (junto aos reservatórios inferior e superior) é regido pelas Eqs. (15), (18) e (19). Neste caso, a carga é conhecida na seção com a qual as Eqs. (18) e (19) fornecem logo as incógnitas desejadas.

V — PROGRAMA DE COMPUTADOR (TRANSIT)

O desenvolvimento de um programa para o cálculo do golpe de ariete numa elevatória do porte e da complexidade daquela do Guarapiranga exige uma série de cuidados especiais a fim de obter um compromisso "ótimo" entre flexibilidade e eficiência.

De acordo com o exposto no n.º I, o programa admite ventosas, válvulas blondelet e chaminés de equilíbrio (comuns e unidirecionais) em qualquer seção e sem restrições, quanto ao número de seções. Além disso, a estrutura modular do programa permite sejam inseridos outros dispositivos anti-golpe, diferente dos já citados, sem maiores dificuldades.

O programa foi desenvolvido voltado para uma máquina de grande porte. Utilizou-se, através de tele-processamento, o computador CDC-6600 do Centro de Computação da Control Data em Washington.

A utilização do tele-processamento influi na estrutura do programa, determinando um volume mínimo de entrada e saída de dados.

FIG.5.1-ELEV. DO GUARAPIRANGA (L.7)
CURVA DE MAXIMAS E DE MINIMAS PRESSÕES.

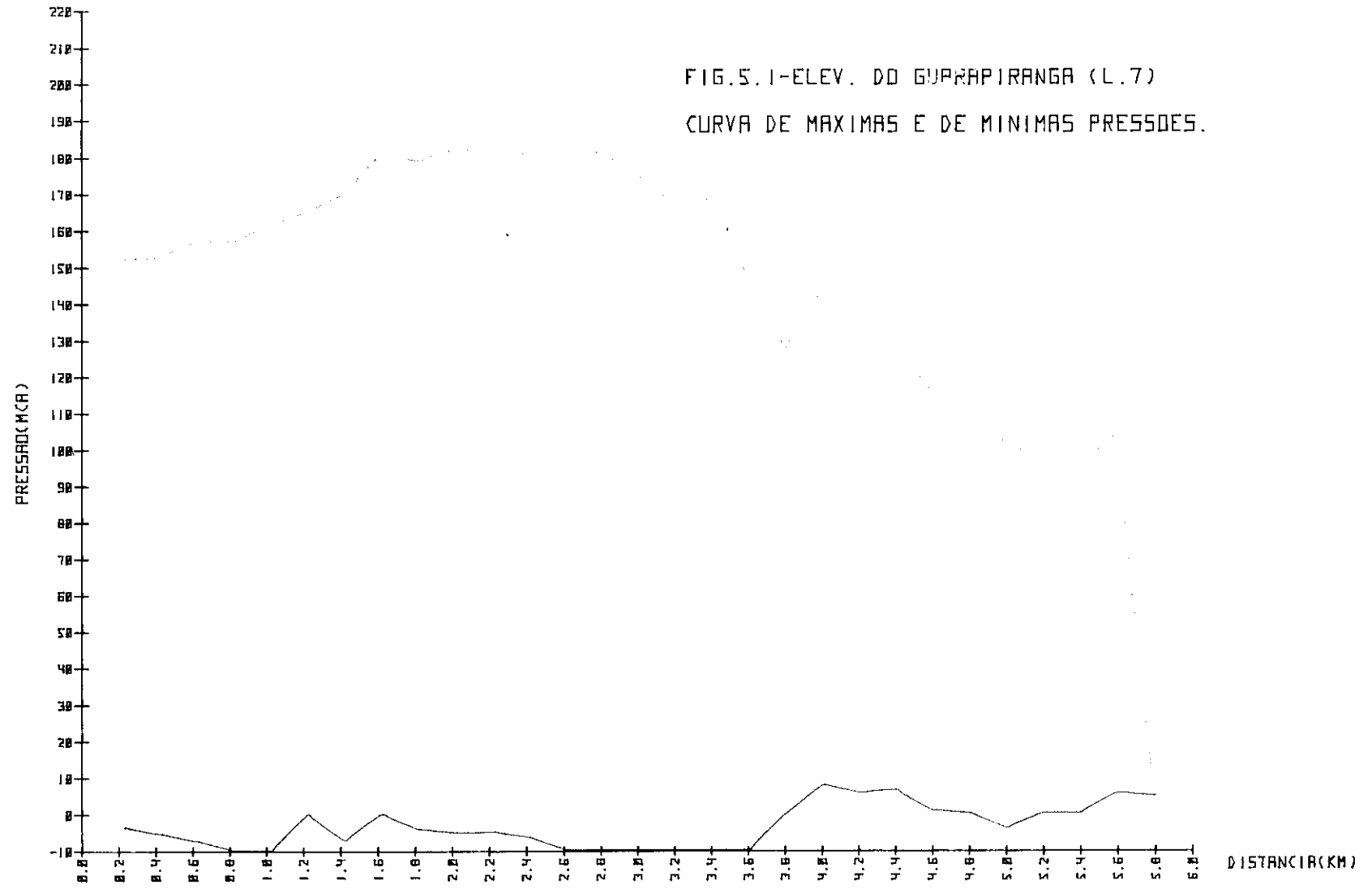


Fig. 6 — Linhas de máximas e de mínimas pressões ao longo da adutora L.7.

Todos os resultados calculados ficam disponíveis ao usuário em disco e apenas um resumo do processamento contendo os valores máximos e mínimos é impresso automaticamente. Quando a análise dos resultados exige mais informações, apenas os dados necessários serão impressos. Isto é importante pois o Transit calcula cargas e vazões em 300 seções das adutoras do Guarapiranga a cada "DT". Um processamento típico é feito com $DT = 0,2$ seg. e tempo de simulação de 2 minutos, o que conduz ao cálculo de 120.000 valores da pressão. Desse modo é fácil imaginar como a impressão indiscriminada dos resultados tornaria inviável a utilização do tele-processamento e também o próprio manuseio dos resultados.

O Transit utiliza aproximadamente 300 KB de memória principal e 2 MB de memória auxiliar em disco. Isto determina um tempo CPU pequeno da ordem de um minuto para um processamento típico.

Uma outra característica do Transit é que a quantidade de memória necessária independe do tempo de simulação.

O Transit permite, ainda, ao usuário optar por uma saída gráfica das variáveis de interesse (Vide Figs. 6, 7 e 8)*.

VI — EXEMPLOS

A elevatória do Guarapiranga terá, num futuro próximo, como já foi dito, a configuração indicada esquematicamente na Fig. 3. Equipada a elevatória com os mesmos equipamentos atualmente instalados, a saber, com válvula de retenção na seção de saída de cada bomba, com válvulas anti-golpe blondelet no barrilete de saída das bombas (tempo de abertura da ordem de 33,0s) e com as ventosas instaladas nas seções indicadas na Fig. 3, os resultados obtidos, em decorrência da interrupção simultânea da energia elétrica para todos os grupos moto-bombas, podem ser resumidos como segue:

1 — Ao longo das adutoras, as pressões máximas se revelaram, de uma maneira geral, bastante elevadas. As pressões mínimas atingem, em diversas seções, o valor da pressão de vapor. O gráfico da Fig. 6 é um exemplo ilustrativo do andamento dessas pressões ao longo da adutora L-7, e a Fig. 9 é a tabela dos valores das pressões máximas e mínimas e dos volumes máximos das cavidades formadas em correspondência com os instantes em que as referidas variáveis ocorrem pela 1.ª vez. A Fig.

10 dá as máximas vazões de admissão e de saída de ar ou da água, em cada nó e para cada adutora, na eventualidade de se pretender testar o desempenho no nó de uma ventosa, de uma chaminé ou de uma válvula de alívio.

2 — As curvas das vazões das duas categorias de bombas estão representadas na Fig. 7. Admite-se que com a anulação da vazão dá-se a paralisação total das bombas. A Fig. 7 mostra as bombas que voltam a operar de novo entre os instantes 24s e 34s. Isto significa que as válvulas de retenção estão sujeitas a um movimento de abrir e fechar que pode comprometer a vida útil das mesmas.

3 — O andamento das pressões com o tempo nas seções de entrada e saída das bombas é visto na Fig. 8. Na seção de entrada a máxima pressão atingida foi de 30,94 mca que ocorre no instante 0,8s, e a mínima pressão foi de -0,82 mca. Entre os instantes 18s e 26s há uma flutuação quase brusca e continuada da pressão e em virtude da entrada em operação, de novo, das bombas, a flutuação da pressão prossegue com menos intensidade a partir do instante 34,0s. Na seção de saída a máxima pressão atingida foi de 95,9 mca e a mínima pressão foi de 2,03 ocorrida no instante 7,4s.

VII — CONCLUSÕES

Apresentou-se um método de análise bastante completo do escoamento em regime transitório na elevatória do Guarapiranga e para diferentes equipamentos anti-golpe e se desenvolveu um programa flexível por computador digital para a execução dos cálculos numéricos. Os diversos processamentos efetuados a título de testes mostraram que os equipamentos atualmente instalados (como ventosas e válvulas blondelet) se revelaram inadequados para a proteção da elevatória em relação aos fenômenos do golpe de ariete. Os estudos prosseguem no sentido de se obter os equipamentos mais recomendáveis para a completa segurança e máxima eficiência operacional da instalação.

VIII — SIMBOLOGIA

H_m	carga manométrica
M	momento ou conjugado aplicado ao eixo da bomba
N	freqüência no movimento de rotação do rotor da bomba
I	momento de inércia
t	variável tempo
DT	intervalo de tempo

Fig. 7 — Curva das vazões das duas categorias de bombas instaladas na Elevatória do Guarapiranga, durante o movimento em regime transitório.

FIG.5.2--ELEV. DO GUARAPIRANGA-CURVA DAS
VAZDES DAS BOMBAS B1-AZUL , B2-VERMELHO

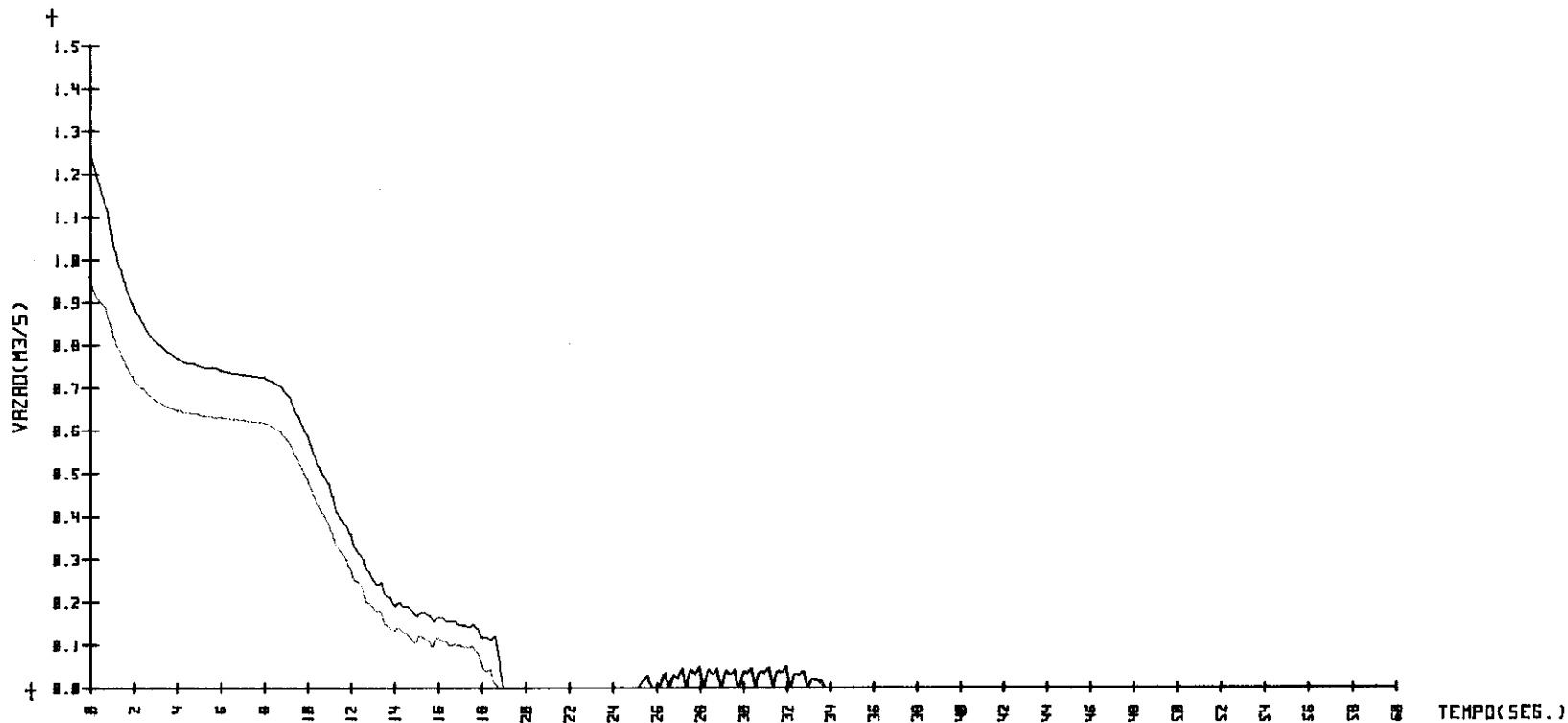


Fig. 7 — Curva das vazões das duas categorias de bombas instaladas na Elev. do Guarapiranga, durante o movimento em regime transitório.

FIG. 5.3-ELEV. DO GUARAPIRANGA-CURVA DAS PRESSÕES NAS SEÇÕES E-AZUL, S-VERMELHO

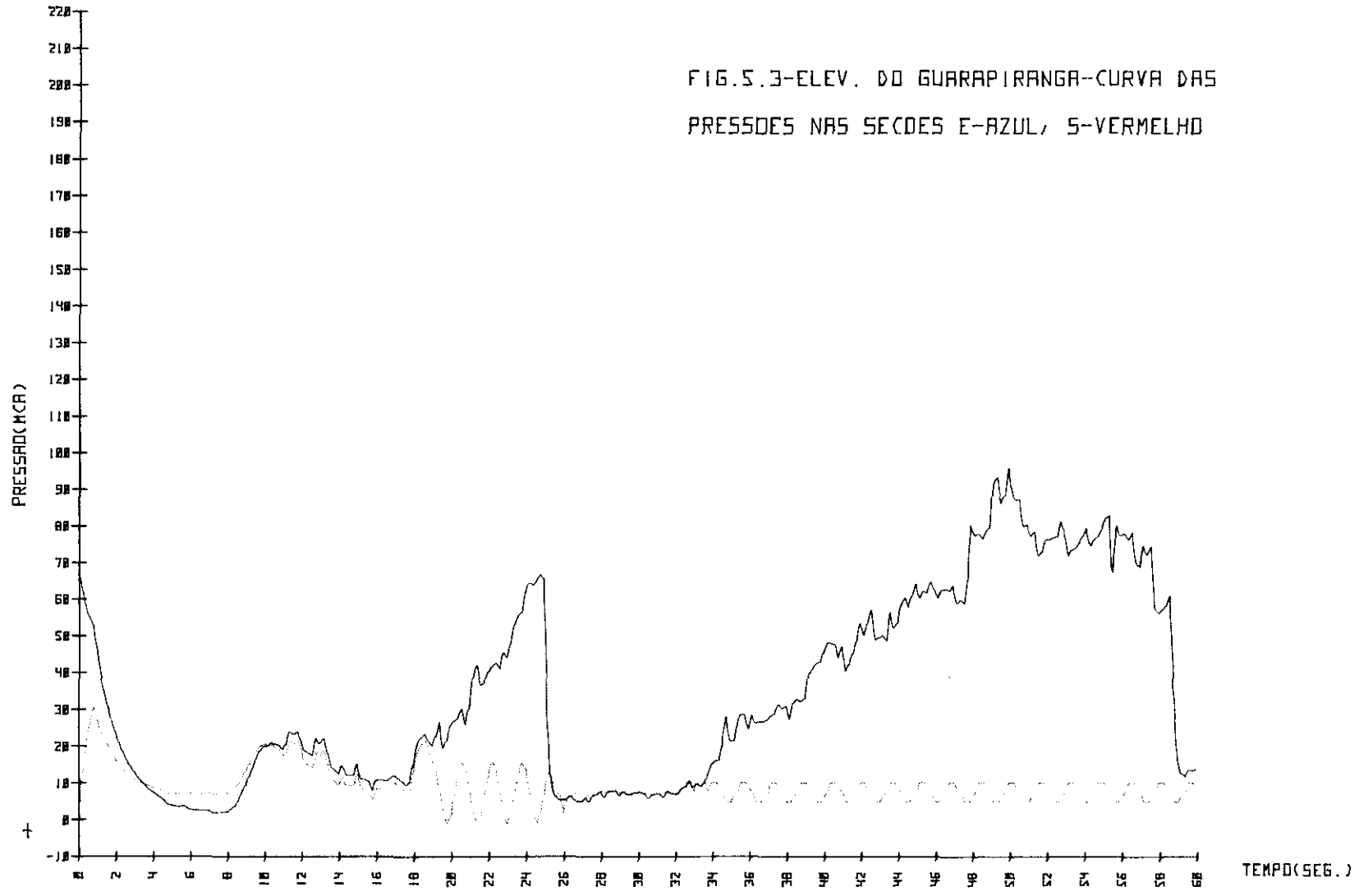


Fig. 8 — Curvas das pressões nas seções da entrada e saída das bombas durante o movimento em regime transiçõo.

SABESP - COMPANHIA DE SANEAMENTO BASICO DO ESTADO DE SAO PAULO
 ELEVATORIA DO GUARAPIRANGA - ESTUDO DO GOLPE DE ARIETE
 PROCES.S SUCCAO LONGA COM VALV. DE RETENCAO E BLONDELET NO BARRILETE E VENTOSAS

VALORES MAXIMOS E MINIMOS OCORRIDOS NA L.7 ATE O INSTANTE 60.00 SEG.

NO. DO NO	COTA (M)	CARGA (M)	PRESSAO (M)	INST. (S)	V.CAV. (M3)	INST. (S)	CARGA (M)	PRESSAO (M)	INST. (S)
1	723,530	835,471	111,941	44,400	0,000	0,000	717,384	-6,146	55,800
2	723,420	836,932	113,512	44,600	0,000	0,000	725,689	2,269	55,600
3	723,370	848,651	125,281	43,800	0,000	0,000	721,726	-1,644	56,200
4	725,020	854,812	129,792	43,800	0,024	56,600	715,020	-10,000	56,400
5	726,860	856,269	129,409	44,000	0,010	55,200	716,860	-10,000	55,000
6	726,960	858,243	131,283	44,200	0,050	56,000	726,960	0,000	55,200
7	726,270	858,537	132,267	44,400	0,032	55,600	716,270	-10,000	55,600
8	721,500	859,491	137,991	44,600	0,001	55,400	721,500	0,000	55,400
9	723,830	862,743	138,913	44,800	0,000	0,000	716,044	-7,786	55,200
10	722,880	863,395	140,515	45,000	0,000	0,000	721,717	-1,163	55,200
11	723,750	863,919	140,169	45,200	0,000	0,000	726,971	3,221	55,600
12	725,710	866,280	140,570	45,600	0,000	0,000	731,465	5,755	55,800
13	727,980	866,754	138,774	45,600	0,000	0,000	732,819	4,839	55,800
14	728,270	858,838	130,568	45,200	0,000	0,000	737,146	8,876	5,600
15	735,590	859,312	123,722	45,200	0,000	0,000	739,362	3,772	48,600
16	743,640	847,221	103,581	44,800	0,000	0,000	744,725	1,085	47,800
17	745,290	844,431	99,141	44,800	0,000	0,000	744,544	-7,746	48,200
18	756,910	840,860	83,950	43,400	0,009	48,000	746,910	-10,000	48,000
19	768,480	841,388	72,908	43,600	11,605	26,800	768,480	0,000	4,800
20	755,280	843,753	88,473	43,800	0,007	57,200	745,280	-10,000	57,200
21	756,830	844,231	87,401	44,000	0,000	0,000	750,662	-6,168	57,400
22	756,860	845,299	88,439	43,600	0,041	49,400	756,860	0,000	49,200
23	765,300	842,862	77,562	43,400	0,017	49,200	755,300	-10,000	49,200
24	773,130	842,326	69,196	43,400	1,221	56,200	773,130	0,000	5,400
25	773,900	844,519	70,619	42,800	0,000	0,000	769,868	-4,032	17,400
26	776,250	844,997	68,747	43,000	1,143	59,800	776,250	0,000	5,600
27	776,690	844,422	67,732	42,200	0,100	52,400	776,690	0,000	5,800
28	769,190	846,590	77,400	42,400	0,000	0,000	768,834	-3,356	49,000
29	776,910	781,740	4,830	0,000	0,000	0,000	781,740	4,830	0,000

Fig. 9 — Valores das máximas e das mínimas pressões e do volume da cavidade ocorridos nas diversas seções da adutora L-7.

SABESP - COMPANHIA DE SANEAMENTO BASICO DO ESTADO DE SAO PAULO
 ELEVATORIA DO GUARAPIRANGA - ESTUDO DO GOLPE DE ARIETE
 PROCES.S SUCCAO LONGA COM VALV. DE RETENCAO E BLONDELET NO BARRILETE E VENTOSAS

VALORES MAXIMOS E MINIMOS DE " ACAV/DT "

L.1		L.2		L.3		L.5		L.6		L.7		L.4E		L.4D		L.4	
MAXIMO	MINIMO	MAXIMO	MINIMO	MAXIMO	MINIMO	MAXIMO	MINIMO	MAXIMO	MINIMO	MAXIMO	MINIMO	MAXIMO	MINIMO	MAXIMO	MINIMO	MAXIMO	MINIMO
0,0000	0,0000	0,0016	-0,0016	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,0000	0,0000	0,0792	-0,0628	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,2223	-0,3605	0,2316	-0,3170	0,0000	0,0000
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0822	-0,1193	0,0000	0,0000	0,0778	-0,1052
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,3660	-0,0483	0,0000	0,0000	0,1345	-0,0865
0,0834	-0,0826	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0159	-0,0159	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,1525	-0,1159	0,1400	-0,1041	0,0000	0,0000
0,0364	-0,0182	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,1618	-0,0884	0,0331	-0,0331	0,0000	0,0000
0,0000	0,0000	0,1156	-0,4829	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0039	-0,0035	0,1389	-0,1389	0,1389	-0,1389
0,0000	0,0000	0,1374	-0,5573	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,0000	0,0000	0,0114	-0,0114	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,0000	0,0000	0,0206	-0,0206	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0148	-0,0228	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,0000	0,0000	0,1153	-0,0905	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,0000	0,0000	0,0082	-0,0082	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,0000	0,0000	0,0488	-0,0954	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,0010	-0,0010	0,5389	-0,4260	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,2350	-0,2941	0,8666	-0,9813	0,5053	-0,0609	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,4398	-0,4551	1,6500	-1,5335	0,7997	-1,0919	0,1459	-0,1217	0,1043	-0,1843	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,720	-0,6441	0,6512	-0,0596	0,0000	0,0000	1,2379	-1,3243	1,8798	-2,608	0,1504	-0,2045	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,0289	-0,0289	0,1010	-0,1147	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,0438	-0,0438	0,2991	-0,2008	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,0829	-0,0829	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

Fig. 10 — Valores das vazões para o dimensionamento das ventosas instaladas na seção da adutora L-7.

H	carga total média na seção
Q	vazão em volume
v	número de grupos moto-bomba
Z	variável cota
S	área da seção
C_d	coeficiente de descarga
l_k	seção I da adutora K
MI_k	seção à montante vizinha de l_k
Jl_k	seção à juzante vizinha de l_k
v	volume
T	variável tempo em unidades DT
α	produto da área da seção pela aceleração da gravidade g dividido pela celeridade
D	diâmetro
Ks	coeficiente de perda de carga singular

INDICES:

e, s	seção de entrada e saída da bomba, respectivamente
b	indica bomba.

BIBLIOGRAFIA

1. PROMON-MAIN — **Sistemas de Recalques do Guarapiranga** — Relatório Final — 1971.
2. ASSY, T. M. — **Método de Resolução dos Escoamentos em Regime Transitório** — Revista DAE — n.º 100 — 1975.
3. STREETER, V. L. e WYLIE, E. B., "Hydraulic Transients", McGraw Hill Book Co. N.Y. 1967.