

Análise sobre o dimensionamento de tanques alimentadores de um sentido

REINALDO MILLER MARTINS (*)

RESUMO

O presente trabalho apresenta uma análise comparativa entre diferentes métodos de cálculo para dimensionamento dos tanques alimentadores de um sentido, cuja finalidade é proteger sistemas de bombeamento com relação aos efeitos da supressão, durante uma parada acidental.

São comparados: o método das características com auxílio de computador digital, o método gráfico de Bergeron e um método simplificado.

No final do trabalho ficam evidentes as limitações, que deverão ser atendidas para uso de cada método.

1. INTRODUÇÃO

É comum, em sistemas de bombea-

mento de água, a ocorrência de pressões transientes severas, durante a parada acidental dos conjuntos elevatórios. Em adutoras longas, essas pressões, ao decrescerem na primeira fase do fenômeno, podem atingir valores ligeiramente inferiores à atmosférica nos pontos dotados de válvulas ventosas de grande orifício ou a pressão de vapor do líquido nos pontos onde o ar atmosférico é impedido de entrar na adutora. Quando a linha piezométrica atinge valores tão baixos, a coluna líquida separa-se com o consequente aparecimento de vazios.

Na fase seguinte do fenômeno, as colunas líquidas chocam-se e provocam o crescimento instantâneo e localizado da pressão e, simultaneamente, há a propagação da mesma para montante e para jusante.

A adutora sofre os efeitos da pressão negativa, quando não há válvula ventosa de grande orifício, que podem levar ao colapso, no caso de tubo de parede fina, bem como da pressão positiva dinâmica elevada, que podem danificá-la. Usualmente, instala-se dispositivos de proteção, reduzindo os esforços que solicitam estruturalmente o sistema de bombeamento.

A utilização de tanque hidropneumático, chaminé de equilíbrio ou volante fica impraticável no caso de adutoras longas que apresentam grande altura total. Resta então compatibili-

zar os esforços solicitantes com as características estruturais dos materiais, através de válvula para admissão e expulsão de ar, com abertura rápida na primeira fase do fenômeno e fechamento lento regulado de acordo com as características do sistema ou de tanque alimentador de um sentido ("one way surge tank").

A válvula de abertura rápida e fechamento lento permite a admissão de uma quantidade suficiente de ar atmosférico, eliminando a possibilidade de ocorrência de pressões próximas à pressão de vapor, substituindo a função da válvula ventosa. Porém, após a primeira fase do fenômeno, ela permite a saída do ar que entrou no conduto forçado, bem como de certa quantidade de água, funcionando como um desvio por ocasião do choque, não havendo, portanto, uma desaceleração brusca das colunas.

Considera-se agora a utilização de tanques alimentadores de um sentido, cujo funcionamento difere fundamentalmente da válvula descrita acima. Trata-se de um tanque cheio de água, aberto à atmosfera, ligado à adutora através de um tê provido de uma válvula de retenção, que permite a passagem do líquido somente no sentido tanque alimentador-adutora. Durante a operação em regime permanente, a linha piezométrica situa-se acima do nível de água do tanque alimentador.

(*) Engenheiro Mecânico formado pela Escola de Engenharia da Universidade Mackenzie, 1969. Mestre em Engenharia Mecânica pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1980. Professor do Departamento de Engenharia Mecânica da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Realiza estudos a respeito de transientes hidráulicos em instalações de recalque e aplicação de métodos numéricos em solução de problemas envolvendo fenômenos de transporte. Chefe da Divisão de Obras da Região Metropolitana de São Paulo na Superintendência de Engenharia - Gerência de Obras da CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental.

Na primeira fase do fenômeno, a água do interior do dispositivo de proteção alimenta a adutora, evitando a ocorrência de vazios, eliminando completamente o choque de colunas subsequentes.

Deve-se, então, montar um modelo para estimar a quantidade e o nível de água a ser previsto no tanque alimentador de um sentido, de modo a eliminar a ocorrência de separação de coluna na adutora. A figura 1 apresenta o esquema simplificado de tanque alimentador de um sentido, num sistema de bombeamento.

Visto o exposto, será mostrada, neste trabalho, a variação do volume de água necessário para o tanque alimentador de um sentido, em função do método de cálculo empregado para seu dimensionamento.

Será feito um exemplo numérico, utilizando o método das características (1) e os resultados serão comparados com a solução obtida através do método gráfico de Bergeron (2), utilizando a sistemática mostrada por Parmakian (3).

Após a comparação, serão mostradas as divergências encontradas em relação ao método simplificado, proposto por Donsky (3).

Um segundo propósito deste trabalho é mostrar a variação do volume necessário de um tanque alimentador de um sentido, em função da seção transversal do mesmo. Será utilizado, para este caso, o método das características.

2. EQUACIONAMENTO ATRAVÉS DO MÉTODO DAS CARACTERÍSTICAS

O tanque alimentador de um sentido é ligado à adutora através de um trecho de tubo e conexão em forma de T, dividindo-a em dois trechos, um a montante e outro a jusante do tanque alimentador. Neste estudo, o trecho de montante receberá o índice 1, o de jusante o índice 2 e o ramal o índice 3.

Uma vez obtidas as equações matemáticas que governam o escoamento na adutora, pode-se aplicá-las no equacionamento do tanque alimentador de um sentido (1).

Pela equação da continuidade:

$$Q_{P_{1, NS}} = Q_{P_3} + Q_{P_{2,1}}$$

O sistema de equações a ser resolvido, fica, então:

$$Q_{P_3} = CDA \sqrt{2g(H_p - H_{P_3})}$$

$$LL_3 = L_3 + \frac{Q_{P_3} + Q_3}{2 \cdot A_3}$$

$$Q_{P_{1, NS}} = Q_{P_3} + Q_{P_{2,1}}$$

$$H_{P_3} = LL_3 + Z$$

$$H_{P_{2,1}} = CM_2 + B_2 Q_{P_{2,1}}$$

$$H_{P_{1, NS}} = CP_1 - B_1 Q_{P_{1, NS}}$$

$$H_p = H_{P_{2,1}} = H_{P_{1, NS}}$$

A figura 2 mostra o tanque alimentador de um sentido, como condição de contorno de contorno.

3. EXEMPLOS DE APLICAÇÃO

Como primeiro exemplo, será analisado o sistema de bombeamento, cujas características encontram-se abaixo:

• comprimento da adutora	(m)	15.300
• diâmetro da adutora	(mm)	900
• vazão da adutora	(m ³ /s)	1,4
• altura estática da adutora	(m)	124
• perda de carga da adutora	(m)	67
• coeficiente da perda de carga do tubo		0,0155
• material da adutora		FRP dúctil-K-9

Os tanques alimentadores de um sentido apresentam as seguintes características:

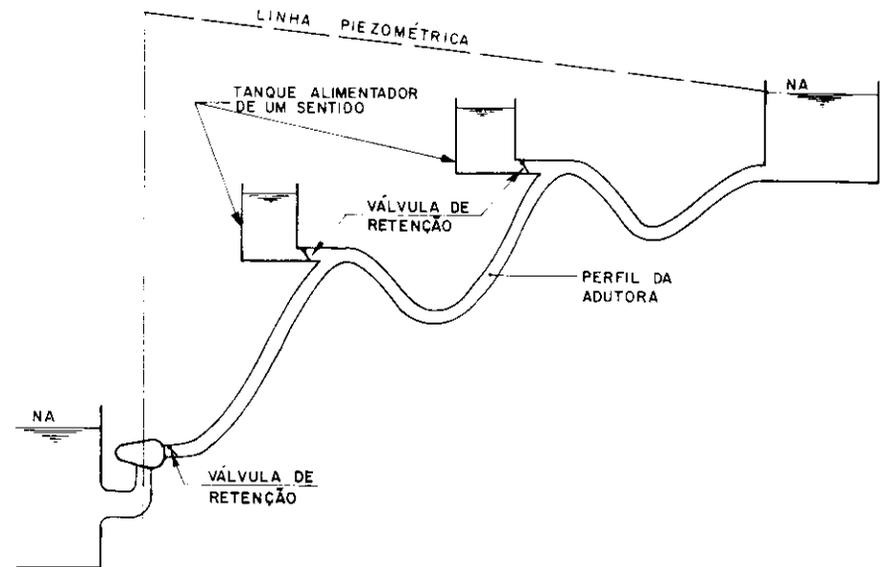


Figura 1 – Tanque alimentador de um sentido

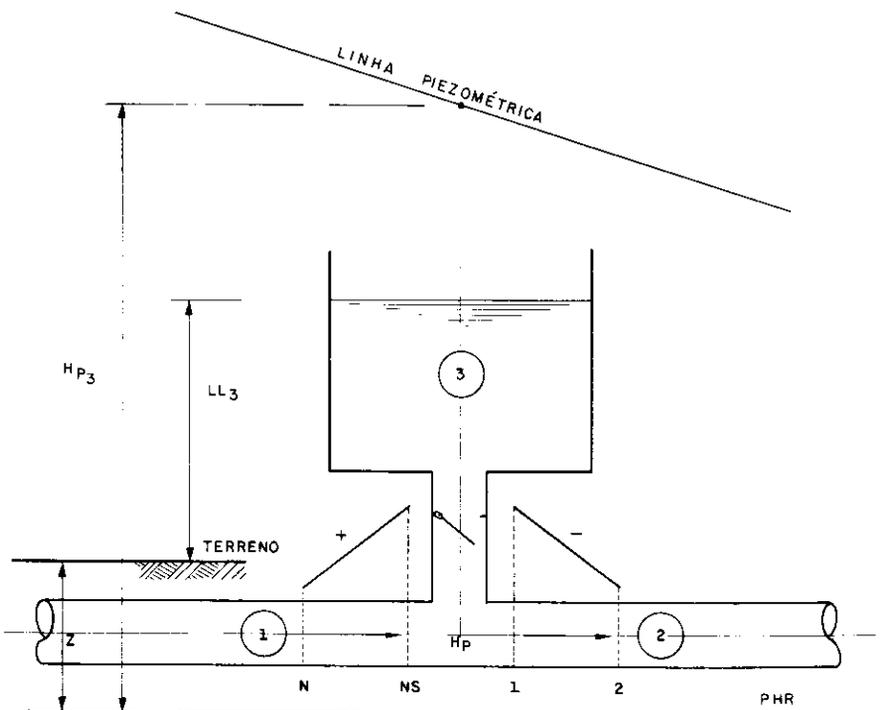


Figura 2 – Condição de contorno do tanque alimentador de um sentido.

		tanque 1	tanque 2
● distância da estação elevatória (m)		2.925	12.675
● cota do nível d'água em relação ao reservatório de sucção (m)		72	103
● diâmetro do tanque (m)		3,2	3,2
● diâmetro da tubulação de ligação tanque-adutora (mm)		600	600
● altura do tanque em relação ao solo (m)		17	17

A seguir, são apresentadas as características de operação dos tanques alimentadores de um sentido:

	Método das características em computador digital		Método gráfico de Bergeron	
	tanque 1	tanque 2	tanque 1	tanque 2
● volume (m ³)	27,74	5,95	31,74	3,43
● vazão máxima de alimentação da adutora (m ³ /s)	1,116	0,689	1,400	0,385
● volume (considerando parada instantânea da coluna de montante) (m ³)			35,38	19,71

Utilizando o método simplificado, proposto por Donsky (3), encontra-se:

	tanque 1	tanque 2
● tempo de parada da coluna de montante (s)	9,12	70,62
● tempo de parada da coluna de jusante (s)	70,62	31,27
● volume (m ³)	43,05	valor negativo
● volume (considerando parada instantânea da coluna de montante) (m ³)	49,43	21,88

4. CONCLUSÕES

Após análise dos valores obtidos e transcritos no ítem 3 deste trabalho, conclue-se que:

4.1. PRIMEIRO EXEMPLO DE APLICAÇÃO

- a) Os métodos das características com auxílio do computador digital e de Bergeron, através de gráficos, apresentam pequena divergência. Observa-se maior diferença em relação ao tanque alimentador de um sentido 2, aquele mais distante dos conjuntos elevatórios.
- b) Esses métodos mostram que o tanque alimentador 2 cessa o fornecimento de água à adutora antes que as colunas de montante e de jusante atinjam velocidade nula. Portanto, para este tanque alimentador, não faz sentido o cálculo do tempo de parada das colunas líquidas, como preconiza o método simplifica-

do de Donsky e, ainda, observa-se que a diferença dos tempos de parada das colunas líquidas é um valor negativo.

- c) A hipótese, para o método gráfico de Bergeron, de parada instantânea da coluna de montante, em relação ao tanque alimentador, acarreta um acréscimo no volume de 11% para o tanque 1 e de 375% para o tanque 2. Isto mostra que realmente a coluna de montante não pára durante a operação do tanque 2.

4.2. SEGUNDO EXEMPLO DE APLICAÇÃO

- a) O aumento do diâmetro do tanque alimentador de um sentido não altera a vazão máxima de alimentação da adutora.
- b) Multiplicar o diâmetro do tanque alimentador de um sentido por 2,2 acarreta a necessidade de volume 3,4 vezes maior e, quando o

Como segundo exemplo, será analisado o sistema de bombeamento, cujas características encontram-se abaixo:

● comprimento da adutora (m)	62.000
● diâmetro da adutora (mm)	1.200
● vazão da adutora (m ³ /s)	2,0
● altura estática da adutora (m)	24
● perda de carga da adutora (m)	114
● coeficiente de perda de carga do tubo	0,0135
● material da adutora	f9f9 dúctil-K-7

Foram considerados cinco tanques alimentadores, distribuídos ao longo da adutora, a saber:

	tanque 1	tanque 2	tanque 3	tanque 4	tanque 5
● distância da estação elevatória (m)	0	6.000	36.000	49.000	54.000
● cota do nível de água em relação ao reservatório de sucção (m)	17	24	24	24	24
● diâmetro do tanque (m)	5 11 14	7,5	4,5	3,6	3,6
● altura do tanque em relação ao solo (m)	17,00	15,60	18,00	12,70	13,00

A seguir, são apresentadas as características de operação do tanque alimentador de um sentido número 1, em função do seu diâmetro:

	5	11	14
● diâmetro do tanque alimentador (m)	5	11	14
● volume (m ³)	24,74	83,94	125,58
● vazão máxima de alimentação da adutora (m ³ /s)	0,752	0,755	0,756
● perda de carga tanque/adutora dada em CDA	0,164	0,164	0,164
● abaixamento do nível de água no tanque (m)	1,26	0,84	0,81

diâmetro é multiplicado por 2,8, o volume fica multiplicado por 5,1. No primeiro caso, a razão do aumento de volume por aumento de diâmetro é 1,55 e, no segundo caso, é 1,82. Portanto, quando for dimensionado um tanque alimentador de um sentido, deverá ser fixado o diâmetro do tanque, juntamente com seu volume.

NOMENCLATURA

- A_3 — área do tanque alimentador de um sentido
- C_p — constante característica "mais"
- C_M — constante característica "menos"
- CDA — coeficiente de vazão multiplicado pela área
- H — carga instantânea
- H_p — carga no instante considerado

- L – altura do tanque alimentador de um sentido
- LL – altura do tanque alimentador de um sentido no instante considerado
- Q – vazão instantânea

- Qp – vazão no instante considerado
- Z – cota do terreno na base do tanque alimentador de um sentido.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Wylie, B. e Streeter, V. – “Fluid Tran-

sients” – McGraw Hill, New York, 1978.

2. Bergeron, L. – “Du Coup de Bélier en Hydraulique au Coup – de Foudre en Electricité” – Dunod, Paris, 1950.
3. Parmakian, J. – “One-Way Surge Tanks for Pumping Plants” – Transactions of the ASME, October 1958.