

## I-140 - RESERVATÓRIOS HIDROPNEUMÁTICOS PARA A PROTEÇÃO DE ADUTORAS POR RECALQUE EM SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA: ESTUDO DE DOIS CASOS

**Marcos Rocha Vianna<sup>(1)</sup>**

Engenheiro Civil pela Escola de Engenharia da UFMG. Mestre em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP). Doutor em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Escola de Engenharia da UFMG. Diretor da Bloom Consultoria Ltda.

**Márcio Ribeiro Vianna Neto<sup>(1)</sup>**

Engenheiro Químico pela Escola de Engenharia da UFMG. Mestre em Engenharia Química pela Escola de Engenharia da UFMG. Pesquisador convidado na Lappeenranta Teknillinen Yliopisto, Finlândia. Diretor da Bloom Consultoria Ltda.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua das Dálías, 504 – Morro do Chapéu Golfe Clube – Nova Lima - MG - CEP: 34010-552 - Brasil - Tel: (31) 3547-4252 - e-mail: [mrvianna@bloomconsultoria.com](mailto:mrvianna@bloomconsultoria.com)

### RESUMO

Embora possam se mostrar extremamente úteis no combate ao golpe de aríete, sendo há muito recomendados para essa finalidade, de modo geral os denominados reservatórios hidropneumáticos não se encontram entre as primeiras opções a serem contempladas em sistemas de abastecimento de água brasileiros.

Este trabalho explica o funcionamento desses reservatórios e a forma através da qual atenuam as cargas transitórias em adutoras por recalque. Mostra que, em certas condições de projeto, o reservatório hidropneumático pode ser a solução mais adequada para o controle das cargas transitórias extremas resultantes do fenômeno do golpe de aríete nessas adutoras.

Recomenda que a utilização desse dispositivo seja considerada uma opção válida pelos setores responsáveis por sistemas de abastecimento de água. Sua simplicidade operacional pode sobrepujar as aparentes dificuldades motivadas pela necessidade de se observar atenta e frequentemente a pressão de ar e o nível d'água em seu interior.

**PALAVRAS-CHAVE:** Reservatórios hidropneumáticos, golpe de aríete, atenuação de transientes hidráulicos, atenuação de cargas transitórias.

### INTRODUÇÃO

Basicamente, um reservatório hidropneumático (RHO) é um tanque contendo água e ar comprimido em seu interior, interligado à adutora, de modo geral junto à estação elevatória. Assim sendo, quando a adutora tende a ser submetida a acréscimos de pressão, a energia correspondente é transmitida ao ar do reservatório que, comprimindo-se, a armazena como energia elástica.

Inversamente, quando a adutora tende a ser submetida a decréscimos de pressão, a energia correspondente é transmitida ao ar do reservatório que, distendendo-se, cede-a como energia elástica.

A figura 1 ilustra um reservatório desse tipo.

O esquema de funcionamento dessas unidades é extremamente simples, sendo representado na figura 2.

A situação (a) ocorre durante o regime permanente. Nela estão representados o poço de sucção, a extremidade de chegada da linha de recalque, a estação elevatória, o reservatório hidropneumático, as alturas geométrica ( $H_g$ ) e manométrica ( $H_{man}$ ) e a perda de carga na linha de recalque ( $h$ ), além da linha piezométrica (LP).

As demais situações ali representadas ocorrerão após a paralisação do funcionamento da estação elevatória.

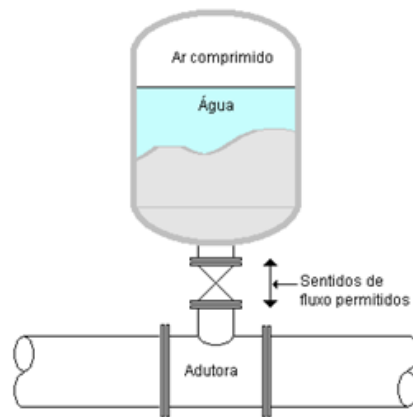


Figura 1: Reservatório hidropneumático (RHO): desenho esquemático.

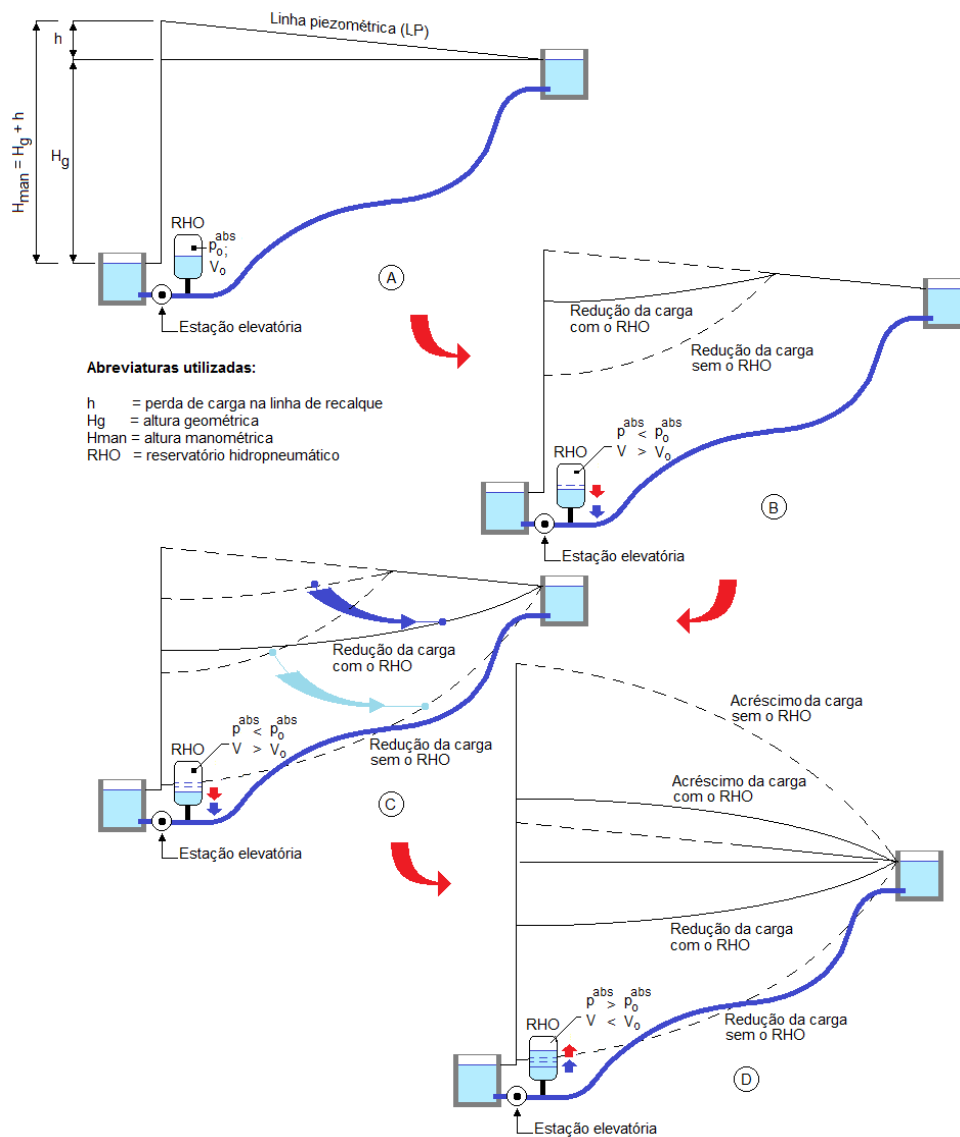
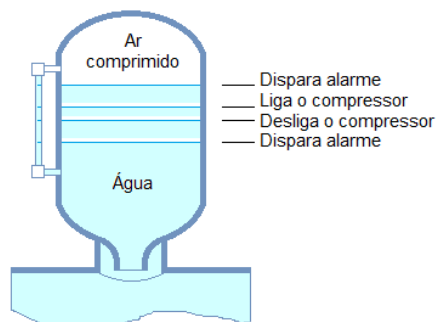


Figura 2: Modelo ilustrado da atuação de um reservatório hidropneumático (RHO).

Quase sempre o reservatório hidropneumático é instalado próximo às bombas. Isto facilita sua manutenção e a observação de suas condições de funcionamento.

De modo geral, as desvantagens apontadas a seu respeito devem-se à falta de familiaridade com este tipo de equipamento, e não com sua natureza.

O reservatório hidropneumático clássico apresenta uma interface ar-água. Tendo em vista que o ar se encontra comprimido, ele tenderá a se emulsionar na água. Assim sendo, o volume do ar, responsável pelo amortecimento das cargas transitórias, pode se tornar insuficiente para este propósito. Por este motivo, é importante que a instalação conte com um compressor que é acionado por sensores de nível: liga quando o nível d'água no interior do tanque fica muito alto e desliga quando esse nível se torna muito baixo, ver figura 3.



**Figura 3: Níveis de controle do reservatório hidropneumático.**

Esta necessidade é considerada uma desvantagem, pois torna o bom funcionamento do equipamento dependente do compressor e dos sensores de nível. Alguns reservatórios são fornecidos com um visor de nível para permitir sua visualização.

Existem reservatórios hidropneumáticos que são fornecidos com uma membrana interna que, isolando água e ar, impedem o emulsionamento. Fica dispensada, desta forma, a necessidade do compressor.

## MATERIAL E MÉTODOS

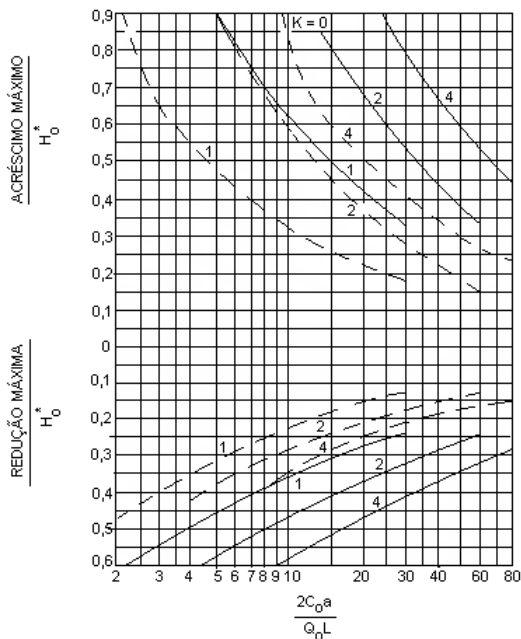
O dimensionamento clássico do reservatório hidropneumático é feito através da utilização de cartas apresentadas por Parmakian (1963) e reproduzidas na figura 4.

É importante ressaltar que, na elaboração dessas cartas, foram assumidas as hipóteses a seguir.

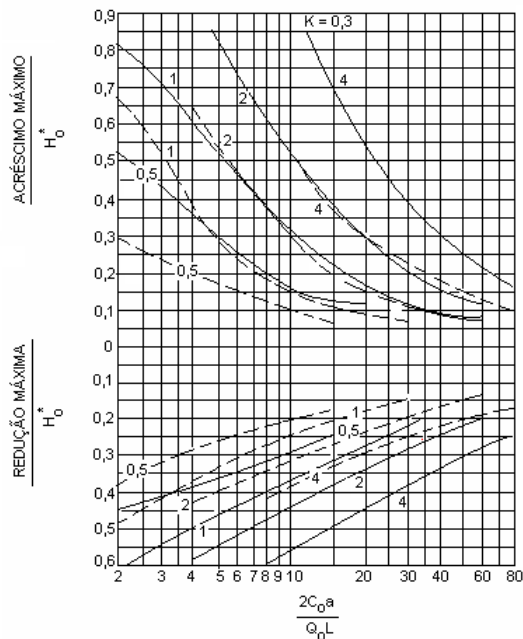
- O reservatório hidropneumático está instalado perto da bomba.
- A válvula de retenção da bomba se fecha imediatamente quando ocorre a falha do bombeamento.
- A relação pressão:volume para o ar comprimido no interior do reservatório hidropneumático é:  $H^* \cdot C_{1,2} = \text{constante}$ .
- A relação entre a perda de carga total, correspondente à mesma vazão, para o interior e para o exterior do reservatório hidropneumático é 2,5:1;  $K \cdot H_o^*$  é a soma das perdas de carga hidráulicas na adutora e no estrangulamento da saída do reservatório hidropneumático quando uma vazão reversa e igual a  $Q_o$  está entrando no reservatório.

O orifício de interligação cujas relações geométricas são mostradas na figura 5 oferece a relação 2,5:1 indicada na letra (d) anterior, segundo Parmakian (op. citada).

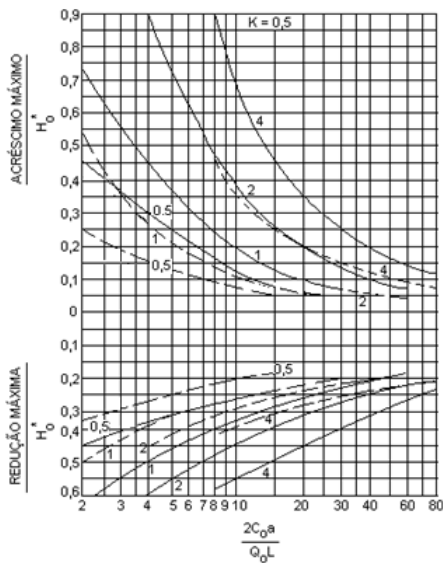
Com o advento do cálculo eletrônico, o dimensionamento do reservatório hidropneumático passou a ser feito através do denominado *método das características*. As bases para este tipo de cálculo foram apresentadas por Wylie, Streeter e Suo (1993).



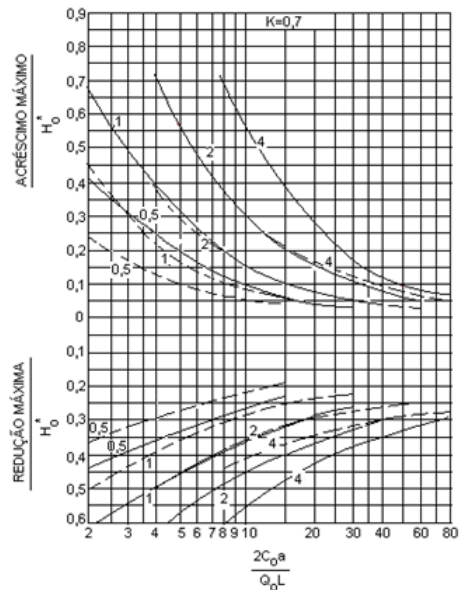
Carta para o reservatório hidropneumático K=0



Carta para o reservatório hidropneumático K=0,3



Carta para o reservatório hidropneumático K=0,5



Carta para o reservatório hidropneumático K=0,7

OS NÚMEROS NAS CURVAS SÃO OS VALORES DE  $2p^*$   
 ————— JUNTO À BOMBA  
 - - - - - A MEIO CAMINHO DA ADUTORA

**Figura 4: Cartas para dimensionamento de reservatório hidropneumático, segundo Parmakian (1963).**

Para a fixação das condições de contorno em seu programa de cálculo, os autores admitiram que o reservatório estará instalado próximo às bombas, da maneira mostrada na figura 6. Além disto, desconsideram o efeito atenuador devido à continuidade de funcionamento da bomba após a falha do motor responsável por sua rotação. A válvula de retenção se fecha imediatamente. Toda a responsabilidade para a atenuação das cargas transitórias fica atribuída, portanto, ao reservatório hidropneumático.

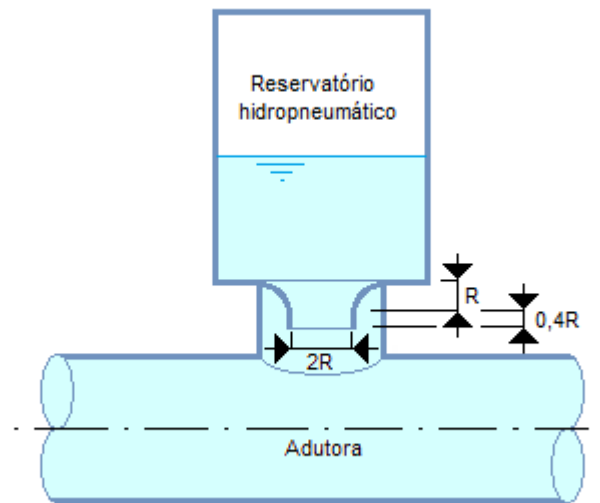


Figura 5: Relações geométricas do orifício de interligação, segundo Parmakian (1963).

$\bar{H}$  = carga correspondente à pressão atmosférica, em m H<sub>2</sub>O

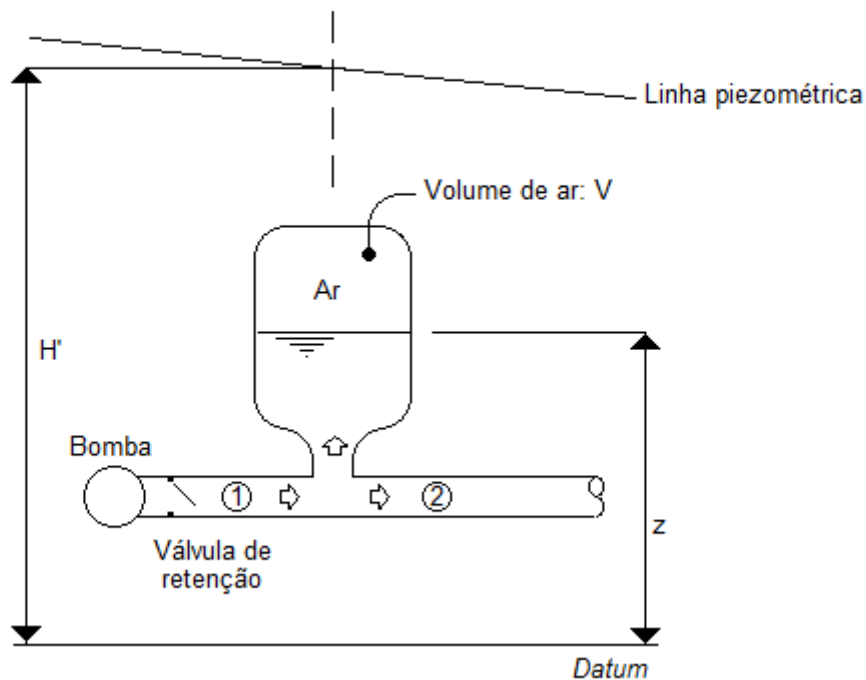


Figura 6: Modelo adotado pelos autores para o programa de cálculo eletrônico.

Isto posto, tomou-se, para a condição de contorno correspondente ao reservatório hidropneumático, a equação aplicável às transformações politrópicas dos gases:

$$H_A \cdot V^n = C_A$$

em que:

$C_A$  = constante correspondente ao reservatório

$V$  = volume de ar no interior do reservatório em determinado momento, m<sup>3</sup>

$n$  = expoente politrópico, adotado igual a 1,2

$H_A$  = altura piezométrica absoluta a que o ar está submetido em determinado instante, dada por

$$H_A = H' + \bar{H} - z$$

Assim sendo, uma vez iniciado o regime transitório, tem-se, na extremidade de montante, a condição de contorno expressa pela expressão a seguir.

$$(H' + \bar{H} - z)[V - \Delta t \cdot (Q' + Q)]^n = C_A$$

## RESULTADOS OBTIDOS

Foram estudados dois casos.

O primeiro refere-se a uma adutora de água bruta de ferro dúctil, diâmetro 400 mm, extensão de 3047 m e altura geométrica 223,85 metros e vazão 200 L/s. As figuras 7 e 8 representam, respectivamente, o diagnóstico (sem proteção anti-golpe) e o resultado obtido após a instalação do RHO.

O segundo refere-se a uma adutora de água tratada, instalada no interior da malha urbana de uma capital brasileira. Ela foi construída com dois trechos: o primeiro de ferro dúctil, diâmetro 600 mm, extensão de 11000 m e vazão 630 L/s; o seguinte de ferro dúctil, diâmetro 1000 mm, extensão de 3557 m e mesma vazão 630 L/s. A figura 9 representa o resultado obtido após a instalação do RHO.

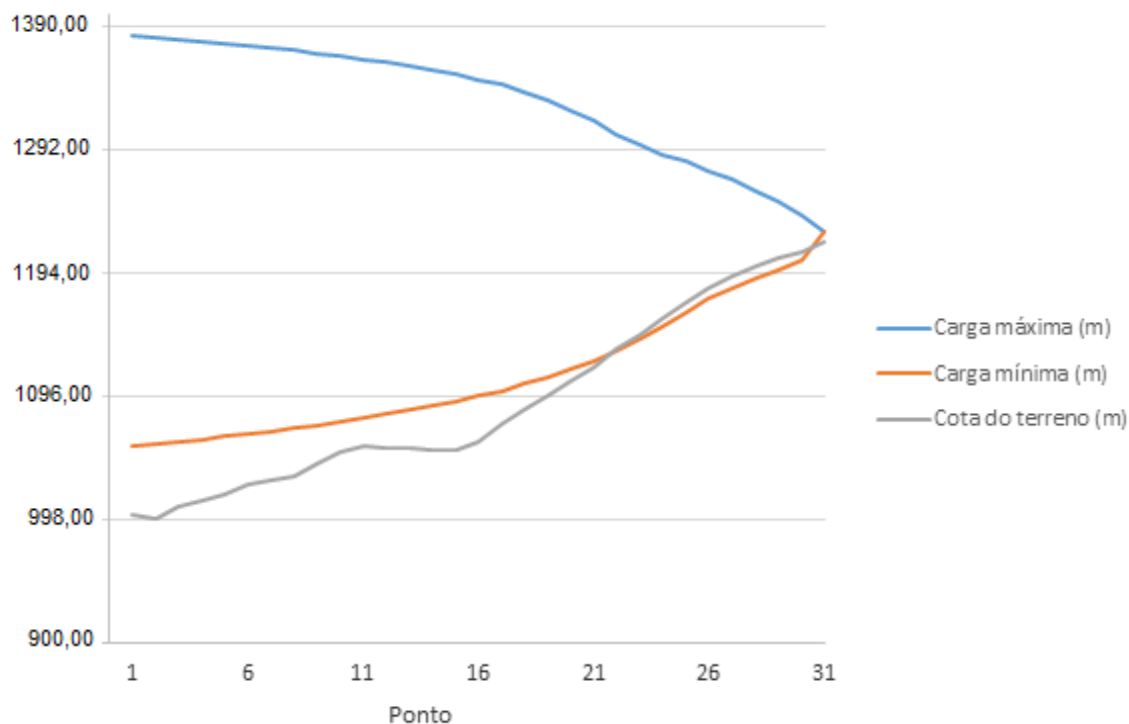
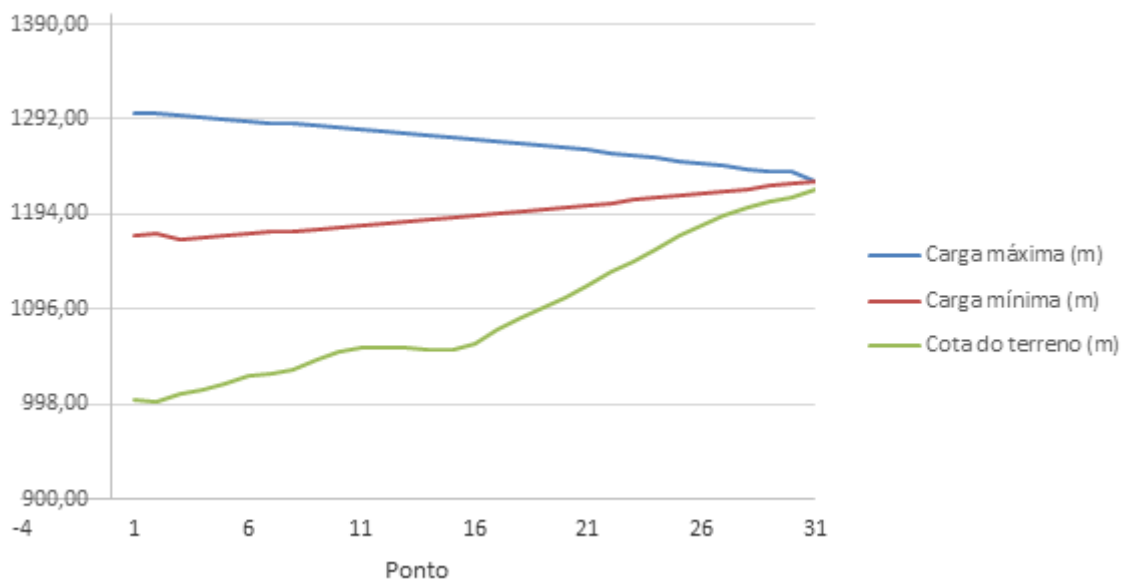
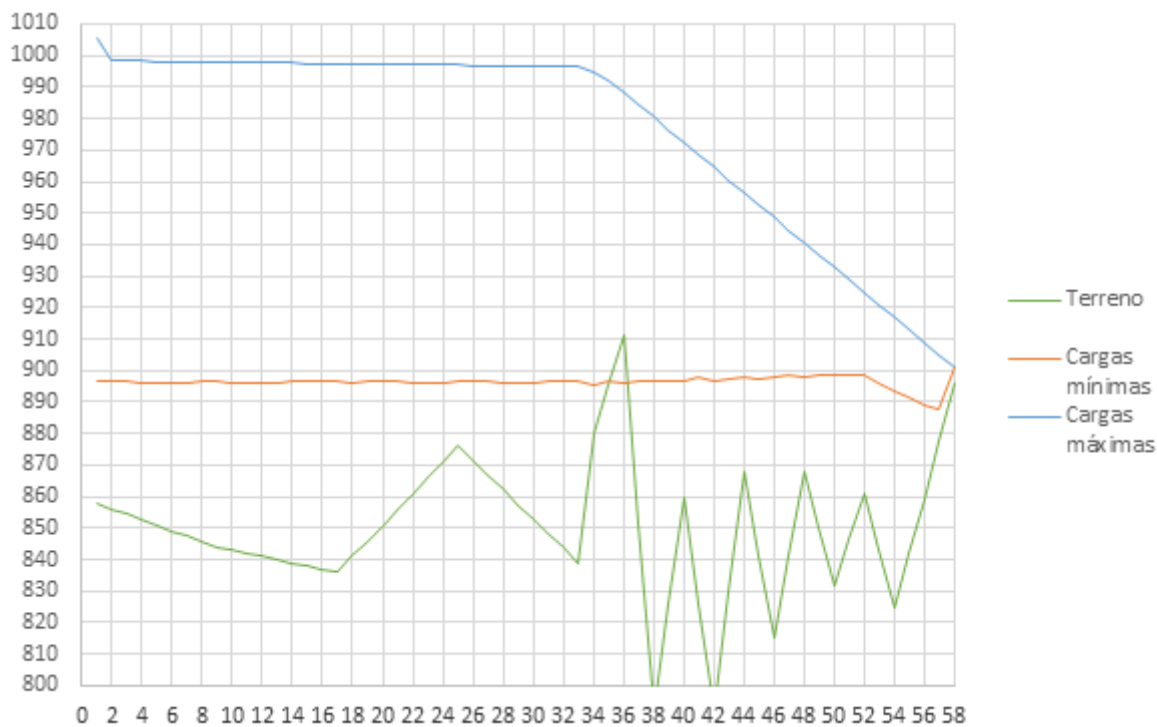


Figura 7: Primeiro caso estudado – cargas transitórias sem dispositivos de proteção.



**Figura 8: Primeiro caso estudado – cargas transitórias após instalação do RHO.**



**Figura 9: Segundo caso estudado – cargas transitórias após instalação do RHO.**

Entretanto, ao se comparar as figuras 7 e 8, referentes ao primeiro caso, é possível observar sensível redução da amplitude das cargas transitórias extremas obtida em virtude da instalação do RHO.

Por sua vez, pode-se observar na figura 9 que, no segundo caso, as cargas mínimas se tornaram praticamente iguais à linha de carga correspondente à vazão nula.

## CONCLUSÃO/RECOMENDAÇÃO

O trabalho conclui que, em certas condições de projeto, o reservatório hidropneumático pode ser a solução mais adequada para o controle das cargas transitórias extremas resultantes do fenômeno do golpe de aríete em adutoras por recalque de sistemas de abastecimento de água.

Recomenda que a utilização desse dispositivo seja considerada uma opção válida pelos setores responsáveis por sistemas de abastecimento de água. Sua simplicidade operacional pode sobrepujar as aparentes dificuldades motivadas pela necessidade de se observar atenta e frequentemente a pressão de ar e o nível d'água em seu interior.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. CHAUDRHY, M. H . *Applied hydraulic transients*. New York: Springer. 2014.
2. PARMAKIAN, John. *Waterhammer analysis*. Denver: Dover. 1963.
3. WILLIE, B; STREETER, V. L.; SUO, L. *Fluid transients in systems*. New Jersey: Prentice Hall. 1993.