

Golpe de Ariete em linhas de recalque

Eduardo Gomes dos Reis

Engenheiro do Serviço de Obras Novas da R. A. E.

O golpe de ariete se verifica ao se fechar gradativa ou repentinamente uma válvula ou registro de uma canalização, cujo conteúdo está animado de certa velocidade. Como consequência haverá aumento de pressão sobre a válvula ou registro, dependendo do tempo de fechamento e da velocidade da água dentro da canalização. Como se sabe, o golpe será máximo quando o fechamento for instantâneo e considerado nulo, quando o tempo de fechamento for demasiado longo.

Portanto, o cálculo da grandeza do golpe de ariete implica no conhecimento prévio do tempo de fechamento e da velocidade estancada, elementos desconhecidos nas linhas de recalque, por o golpe se dar em sentido contrário ao movimento da água.

Quando se desliga o motor de uma bomba de recalque, a coluna líquida, animada de velocidade, continua em ascensão até o ponto em que a inércia é vencida pela ação da gravidade. Portanto, a secção extrema superior da coluna continua a percorrer certa distância, a partir do instante em que houve o desligamento do motor.

Para melhor compreensão podemos admitir que a partir desse instante a canalização se prolongue com a mesma declividade, além do nível máximo de recalque.

Vejamos agora o que se passa com a secção inferior da canalização, durante o período de ação da inércia.

Desligado o motor, cessa a ação da força impulsora e, devido à pressão interna da coluna líquida, fecha-se a válvula de retenção, situada entre a bomba e o início da canalização de recalque. Devido à inércia do conjunto motor bomba, não ha simultaneidade entre o desligamento e o fechamento da válvula de retenção, havendo entre eles um diminuto espaço de tempo.

Como ponto básico deste estudo, admitiremos a válvula de retenção em perfeitas condições de funcionamento, como se recomenda na prática.

A pressão reinante na coluna líquida junto à válvula de retenção no instante em que o motor foi desligado, é igual à pressão estática acrescida da perda de carga necessária para a vazão de recalque.

Como se sabe, essa soma de pressões constitue a pressão manométrica. Devido a esta última a coluna líquida acha-se comprida e deformada. Desligado o motor e fechada a válvula de retenção da maneira anteriormente descrita, a coluna líquida continua a subir provocando descompressão junto à válvula de retenção.

Terminada a fase de descompressão, si a inércia ainda fôr suficiente, haverá uma pequena depressão, ocasionando entrada de água pela válvula de retenção, entrada essa que se dará enquanto durar a ascensão, não havendo ruptura da coluna líquida e nem descontinuidade de massa.

No instante em que cessar a inércia a coluna líquida tende a voltar, havendo praticamente nesse mesmo instante o fechamento da válvula de retenção, e retornando sobre si própria ocasiona o golpe de ariete, cuja grandeza vamos calcular.

Si a coluna líquida e a tubulação fossem indeformáveis pela ação da pressão interna, teríamos sobre a válvula de retenção uma carga brusca ou queda de altura nula, instantânea, cuja pressão seria o dobro da pressão estática.

Esse fenômeno é semelhante ao de um corpo que cai sobre outro, da altura nula, cuja pressão na seção de contacto é duas vezes maior do que aquela que se verificaria se o acréscimo de carga devida ao peso do corpo crescesse gradativamente, de zero até o seu valor final.

Mas, devido à elasticidade da água e da tubulação, essa queda não é instantânea, havendo uma infinidade de quedas de moléculas umas sobre as outras, do início ao fim da coluna líquida, tendo como consequência uma diminuição da manifestação externa daquela pressão dupla que chamaremos 2P. O tempo que levam as moléculas para cair uma sobre as outras, é evidentemente o mesmo que leva a onda de choque para percorrer toda a canalização, do extremo inferior ao superior.

Por provocar deformação na coluna líquida e na canalização, a pressão 2P não se manifesta externamente em toda a sua amplitude. Essa deformação longitudinal dividida pelo tempo de percurso da onda de choque, dá uma velocidade média de deformação que nos permite calcular a grandeza do golpe.

Possuimos agora os elementos que nos faltavam que são o tempo de fechamento (instantâneo) e a velocidade estancada.

Baseados nesse raciocínio, vamos calcular o golpe de ariete em uma das três novas linhas de recalque da Adutora de Santo Amaro, em construção.

Em determinado ponto próximo à nova Estação de Tratamento do Alto da Boa Vista, também em construção, existe uma ventosa que para efeito de golpe, divide a linha em dois segmentos distintos. Esse ponto tem maior cota do que a nova Estação de Tratamento.

As características do segmento que nos interessa são as seguintes:

Tubulação de ferro fundido com comprimento de 3975m, altura estática de 56,43m, vazão de 1,000m³/seg, diâmetro interno nominal de 1,00m e espessura de 0,027m.

Admitiremos para o ferro fundido $E_r = 10^{10}$ kg/cm² e para a água $E_a = 20.700$ kg/cm². A pressão manométrica calculada é aproximadamente de 66m. Essa pressão, de diagrama triangular, produz a seguinte deformação longitudinal na água:

$$\lambda_1 = \frac{PL}{2E_a} = \frac{66 \times 3975 \times 1000}{207.000.000 \times 2} \approx 0,63m$$

No tubo produz a seguinte deformação diametral:

$$2 e \sigma = D P \therefore \sigma = \frac{DP}{2e}$$

Sendo D o diâmetro deformado, tem-se:

$$\pi D_1 = \pi D + \frac{\sigma}{E_t} \pi D \text{ ou } D_1 = D + \frac{D^2 P}{2 e E_t}$$

$$D_1 = 1 + \frac{66.000}{2 \times 0,027 \times 10^{10} \times 2} = 1,0000611$$

Esse aumento médio de diâmetro ocasiona uma diminuição no comprimento da coluna líquida de:

$$\lambda_2 = L - \frac{DL}{D_1} = 3975 - \frac{3975}{1,0000611} = 0,25m$$

A deformação total longitudinal que sofre a coluna líquida sob a ação da pressão manométrica de 66m é:

$$\lambda = 0,63 + 0,25 = 0,88m$$

Sendo a vazão de 1,000m³/seg, a velocidade de recalque será:

$$V = \frac{Q}{S} = \frac{1}{0,7854} = 1,273 \text{ m/seg}$$

O percurso feito pela seção extrema da tubulação após o desligamento do motor é:

$$d = \frac{v^2}{2g} = \frac{1,273^2}{2 \times 0,139} = 5,83m$$

Sendo 0,139 a intensidade média da gravidade no sentido geral da tubulação, pois:

$$g' = g \text{ sen} \alpha = g \frac{H}{L}$$

Como se vê, o caminho percorrido pela seção superior da canalização é maior do que a deformação total. Cessada esta, abre-se a válvula de retenção e ha entrada de água como já foi descrito.

Após o percurso de 5,83m da seção superior, ligeiramente diminuído pelo atrito interno, cessa a ação da inércia e a água totalmente descomprimida tende a voltar, fechando-se a válvula de retenção.

A pressão 2P produz na coluna líquida a seguinte deformação:

$$\lambda'_1 = \frac{56437 \times 3975}{207.000.000} = 1,083m$$

O diâmetro médio do tubo deformado é:

$$D_1 = 1 + \frac{56437}{2 \times 0,027 \times 10^{10}} = 1,0001045m$$

e a correspondente diminuição da coluna líquida é:

$$\lambda'_2 = 3975 - \frac{3975}{1,0001045} = 0,42m$$

A deformação total é:

$$\lambda' = 1,083 + 0,42 = 1,503m$$

A velocidade de propagação da onda de choque é:

$$a = \sqrt{\gamma \frac{g}{\left[\frac{1}{E_a} + \frac{1}{E_t} \cdot \frac{D}{e} \right]}}$$

ou

$$a = \sqrt{1000 \frac{g}{\left[\frac{1}{2,07 \times 10^8} + \frac{1}{10^{10} \times 0,027} \right]}} = 1072 \text{ m/sg}$$

O tempo necessário para que a onda de choque percorra toda a tubulação é:

$$t = \frac{L}{a} = \frac{3975}{1072} \cong 3,71 \text{ sg}$$

e a velocidade média de deformação da água é:

$$v = \frac{\lambda'}{t} = \frac{1,503}{3,71} \cong 0,40 \text{ m/sg}$$

Com essa velocidade, entramos na fórmula que dá a sobre-presão com fechamento instantâneo.

$$H' = \frac{av}{g} = \frac{1072 \times 0,40}{9,81} = 43,71\text{m}$$

A pressão total do golpe será de:

$$H'' = 56,43 + 43,71 = 100,14\text{m}$$

Si quizermos deduzir a perda por atrito,

$$Q = \frac{3,14}{4} \times 0,40 \cong 0,314 \text{ m3/sg}$$

cuja perda de carga total é

$$0,26 \times 3,975 \cong 1,03\text{m}$$

que deverá ser deduzida da pressão do golpe.

Como vemos, o atrito interno representa aproximadamente 1% do valor total, e como tal pode ser desprezado.

A pressão no momento de golpe no ponto da linha de cota 29,43 é:

$$P = \frac{99,11 \times 29,43}{56,43} = 51,68\text{m}$$

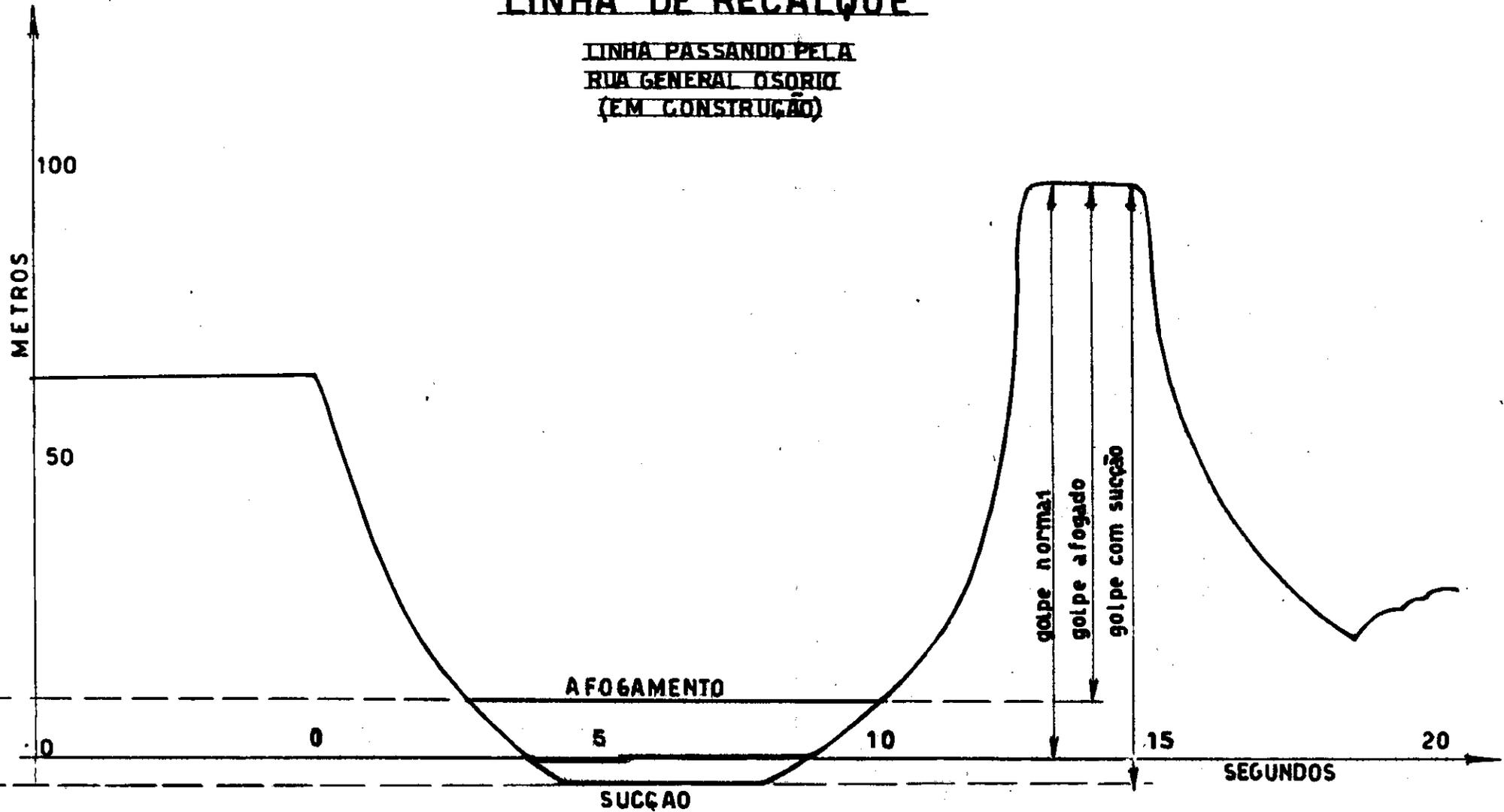
Para que o golpe seja integral, é necessário que se realize totalmente a descompressão antes de terminar a ação da inércia.

$$V = \sqrt{2 g' \lambda} = \sqrt{2 \times 0,139 \times 0,88} = 0,49 \text{ m/sg}$$

que é a velocidade de recalque mínima para essa linha, para que se dê o golpe em toda a sua amplitude.

GOLPE DE ARIETE EM LINHA DE RECALQUE

LINHA PASSANDO PELA
RUA GENERAL OSÓRIO
(EM CONSTRUÇÃO)



ESCALAS $H = 1 \text{ cm/seg}$
 $v = 10 \text{ m/cm}$

CARACTERÍSTICAS = $D = 1,00 \text{ m}$
 $Q = 1,000 \text{ m}^3/\text{seg.}$

$L = 3975 \text{ m}$
 $P_{\text{est.}} = 56,43 \text{ m}$
 $P_{\text{manom.}} = 66 \text{ m}$

$$t = \sqrt{\frac{2L}{g}}$$

Para velocidades de recalque menores do que essa, por exemplo, 0,30m/sg, o percurso da seção extrema devido à inércia é:

$$e = \frac{v^2}{2 \times g} = \frac{0,30^2}{2 \times 0,139} = 0,32m$$

Fazendo os cálculos anteriores com a nova pressão manométrica de 62m, a deformação da coluna líquida será aproximadamente de 0,83m.

A descompressão se realizou até a ordenada 0,32m, restando a deformação de:

$$0,83 - 0,32 = 0,51m$$

A relação da deformação direta da água para a relativa ao tubo é aproximadamente de 1,40 para essa linha.

Portanto, a deformação da água isoladamente é:

$$\frac{0,51}{1,40} \approx 0,36m$$

Logo:

$$H = \frac{2\lambda E}{L\gamma} = \frac{2 \times 0,36 \times 207.000.000}{3975 \times 1000} = 37,49m$$

assim evitamos o trabalho da fórmula de retorno.

O verdadeiro golpe no caso é:

$$H = 1000,14 - 37,49 = 62,65m$$

e a sôbre pressão verificadada:

$$62,65 - 56,43 = 6,22m$$

Si a válvula de retenção estiver afogada ou deprimida, no cálculo das alturas estáticas e manométricas, para efeito do golpe, dever-se-à levar em conta a pressão de afogamento ou a altura de sucção, qual seja o caso.

Si a válvula de retenção não funcionar perfeitamente, haverá retorno da coluna líquida, aumentando consideravelmente o golpe de ariete na ocasião do seu fechamento:

Em linha de recalque com tubulação de diâmetro e material variado, segue-se o mesmo sistema, fazendo-se com o auxílio do perfil, os cálculos dos diversos elementos: