



ASSOCIAÇÃO PORTUGUESA DOS RECURSOS HÍDRICOS



**ABES ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE
ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL**

I SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE
ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

SISTEMAS DE PRODUÇÃO E DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA
DIMENSIONAMENTO DAS PROTECÇÕES CONTRA O GOLPE
DE ARÍETE NUM SISTEMA COMPLEXO DE CONDUTAS
ELEVATÓRIAS

A. MENDES BORGA (1)

E. VICENTE NUNES (2)

(1) Engenheiro Civil (IST); Director técnico da ENGIDRO;
Docente na Academia Militar; Docente no IST

(2) Engenheiro Mecânico (UL); Colaborador da ENGIDRO

RESUMO

No presente trabalho os autores descrevem um estudo efectuado para a EPAL - Em presa Pública das Águas Livres, em que foi utilizado um modelo matemático baseado no método das características para o dimensionamento dos dispositivos de protecção contra o golpe de aríete de um sistema complexo de condutas elevatórias (sub-sistema das Lezírias).

Após uma descrição sumária das características do sistema e do método de cálculo utilizado, os autores apresentam e discutem os resultados obtidos e as conclusões do estudo.

1 - INTRODUÇÃO

Com o advento dos computadores digitais tornou-se possível a análise de sistemas complexos de condutas elevatórias, no que diz respeito ao seu funcionamento em regime variável, com uma precisão e rapidez até então impossíveis de alcançar.

Alguns dos métodos de cálculo actualmente utilizados são de aplicação relativamente simples, podendo ser implementados mesmo em microcomputadores de reduzida capacidade. A capacidade do computador necessário e o tempo de cálculo dependem fundamentalmente da complexidade do sistema e da precisão pretendida.

Neste trabalho os autores apresentam um estudo efectuado em Maio de 1984 para a EPAL - Empresa Pública das Águas Livres, em que foi utilizado um modelo matemático baseado no método das características para efectuar o dimensionamento dos dispositivos de protecção contra o golpe de aríete nas condutas elevatórias do sub-sistema das Lezírias.

2 - CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA

Apresenta-se na Fig. 1 uma planta esquemática das condutas do sub-sistema das Lezírias.

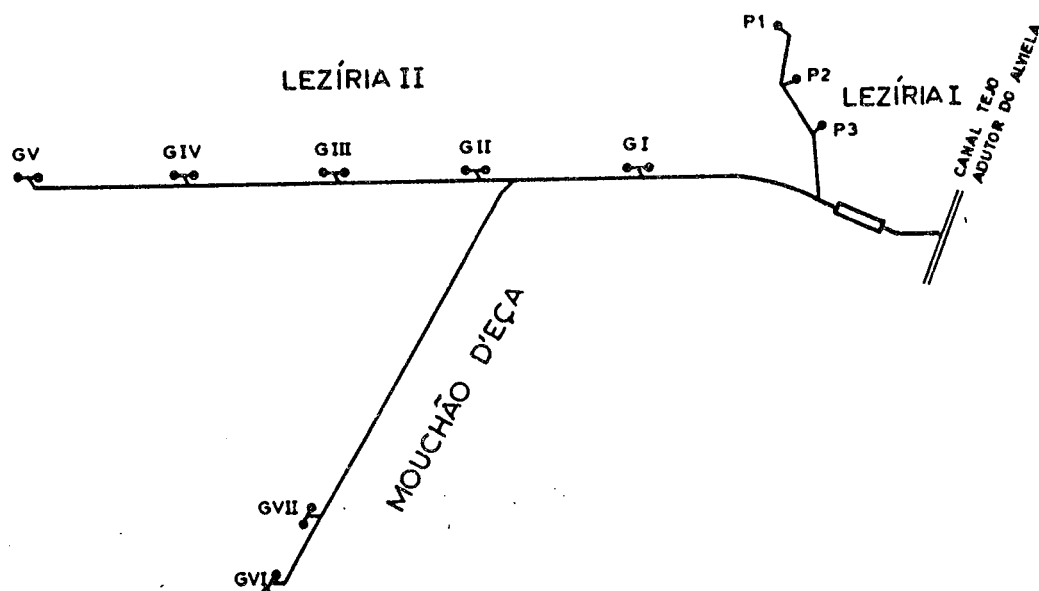


Fig. 1 - Planta esquemática do sistema

A conduta principal deste sub-sistema é em betão pré-esforçado de diâmetro 1000 mm, com um comprimento de cerca de 9350 m, implantada ao longo da Recta do Cabo, junto de Vila Franca de Xira, com início na captação GV e descarregando no canal Tejo e aqueduto do Alviela à cota 36,70 m. A travessia da ponte de Vila Franca de Xira é efectuada por duas condutas paralelas, uma em políester reforçado a fibra de vidro e outra em aço, ambas com o diâmetro de 800 mm e cerca de 520 m de comprimento.

A cerca de 5000 m da sua extremidade de montante a conduta recebe a ligação de uma outra proveniente de Mouchão d'Eça, em fibrocimento classe 18, constituída por dois trechos de 400 mm e 500 mm de diâmetro e 750 m e 4000 m de comprimento respectivamente.

Cerca de 200 m a montante da ponte existe outra ligação, de uma conduta pro

veniente do conjunto de poços de Lezíria I, constituída por dois trechos em betão, com os diâmetros de 300 mm e 1000 mm e os comprimentos de 500 m e 1200 m respectivamente.

Nas secções indicadas na Fig. 1 encontram-se ligadas as captações existentes e actualmente em funcionamento designadas por GI e GVII e P₁ a P₃.

As captações encontram-se munidas de grupos electrobomba submersíveis, estando instalados dois grupos em cada uma das captações GI a GVII e um grupo nas captações P₁ a P₃.

Encontram-se já instalados e em funcionamento, junto às captações GVI e GVII (Mouchão d'Eça), dois reservatórios de ar comprimido com um volume inicial de ar de 2,2 m³ cada, os quais foram considerados nas análises efectuadas.

Existem ainda duas válvulas de descarga automática (hidroescapes) instaladas junto das captações GV e P₃.

3 - MÉTODO DE ANÁLISE UTILIZADO

O comportamento das condutas, grupos electrobomba e dispositivos de protecção em regime transitório foi analisado utilizando um programa de cálculo baseado no método das características.

Admitiu-se que a situação mais desfavorável para o sistema, dentro de um critério de probabilidade significativa, consiste na paragem simultânea de todos os grupos electrobomba, causada por uma falta generalizada de energia. Embora seja possível considerar manobras capazes de produzir flutuações de pressão mais elevadas, pela sobreposição de efeitos, estas teriam que ser constituídas por uma sucessão de paragens e arranques de alguns grupos de bombagem, em instantes determinados, que não é razoável ocorrer acidentalmente.

3.1 - Condutas

Na modelação do comportamento das condutas admitiram-se como válidas as hipóteses simplificativas habitualmente consideradas, tais como:

- . A distribuição de velocidade e de pressão é uniforme nas secções transversais da conduta;
- . As perdas de carga unitárias são iguais às de um escoamento uniforme com a mesma velocidade média, admitindo-se que esta se mantém puramente turbulenta;
- . Os termos convectivos das equações da continuidade e da dinâmica são desprezáveis;
- . O comportamento reológico da água e do material da conduta é elástico e linear;
- . O escoamento é homogéneo e monofásico, durante todo o regime variável;
- . O eixo da conduta é imóvel e desprezam-se as forças de inércia do invólucro;
- . A altura cinética do escoamento na conduta é desprezável face à altura piezométrica.

Os intervalos de tempo e os comprimentos dos trechos de cálculo considerados, obedeceram à condição de estabilidade do método de cálculo (número de Courant $C_r = \frac{a \Delta t}{\Delta x} \leq 1$), tendo a compatibilização entre os intervalos de tempo nas diferentes condutas sido efectuada com recurso à interpolação entre as condições do escoamento em secções de cálculo consecutivas.

3.2 - Grupos electrobomba

Os grupos electrobomba instalados nas captações são do tipo submersível, de pequena inércia e reduzido tempo de anulação de caudal.

Atendendo a que as bombas se encontram munidas de válvulas de retenção e estão instaladas a cotas muito inferiores às das condutas e a que se pretende evitar que estas entrem em depressão, a modelação das condições de funcionamento das bombas foi efectuada considerando apenas as zonas de bombagem normal.

Esta modelação foi efectuada admitindo que a altura total de elevação das bombas H_t pode ser dada em cada instante pela equação

$$H_t = AN^2 + BNQ - CQ^2$$

em que N é a velocidade de rotação, Q o caudal bombeado e A , B e C são coeficientes determinados a partir da respectiva curva característica à velocidade nominal.

O rendimento das bombas foi considerado variável em função da velocidade de rotação e do caudal e dado por

$$\eta = \frac{Q \times H_t}{DN^2 Q + ENQ^2 + FN^3}$$

com os coeficientes D , E e F determinados de forma semelhante aos anteriores.

A variação da velocidade de rotação durante o regime transitório foi calculada em cada instante em função do binário resistente e do momento de inércia dos grupos.

3.3 - Reservatórios de ar comprimido (RAC)

Atendendo a que a principal função dos RAC previstos consiste em evitar a ocorrência de depressões na conduta, sendo as sobrepressões consequentes automaticamente limitadas, não se prevê a instalação no ramal de ligação RAC - conduta de dispositivos de criação de perda de carga assimétrica.

Na modelação da variação do volume de ar no interior do RAC, considerou-se a equação

$$pV^{1,2} = cte$$

sendo P a pressão absoluta no interior e V o volume de ar.

Admitiu-se a verificação em cada instante da equação da continuidade na derivação para o RAC e da igualdade das cotas piezométricas no interior do RAC e no ponto de derivação da conduta.

3.4 - Outras condições de fronteira

Todas as restantes condições de fronteira, tais como alterações das características da conduta, bifurcações e descarga foram modeladas através da consideração da equação da continuidade e da constância das cotas piezométricas.

3.5 - Válvulas de descarga automática (hidroescapes)

Não sendo conhecidas as características de comportamento destas válvulas em regime variável, considerou-se que estes dispositivos se encontram regulados de forma a não entrarem em funcionamento durante o regime transitório previsto, constituindo assim apenas uma protecção adicional.

4 - ANÁLISE PRELIMINAR

Foi efectuada uma análise do comportamento do sistema actualmente em funcionamento a fim de se ajuizar da necessidade de instalação de dispositivos de protecção da conduta e do tipo e localização eventualmente mais vantajosos.

Por observação do andamento das piezométricas, concluiu-se que a conduta ficaria sujeita a depressões na maior parte da sua extensão.

A ocorrência de depressões na conduta começaria por dar origem à libertação dos gases dissolvidos na água, alterando o valor da celeridade e transformando o escoamento em difásico, o que invalidaria a formulação de cálculo utilizada. Se a pressão na conduta descesse até à tensão máxima do vapor de água, esta vaporizar-se-ia, dando origem a bolhas ou cavidades de vapor mais ou menos extensas, podendo mesmo verificar-se a ruptura da coluna líquida nalgumas secções da conduta.

Devido às variações de celeridade produzidas pela presença de gases nas condutas e à elevada velocidade atingida pelo escoamento durante a fase da condensação, poderiam verificar-se na conduta sobrepressões extremamente elevadas cuja quantificação exigiria a utilização de modelos matemáticos apropriados, com resultados que são ainda pouco seguros sem uma calibração adequada.

Considerou-se assim que deveriam ser instalados dispositivos de protecção devidamente dimensionados, de modo a evitar-se a ocorrência de depressões nas condutas.

5 - ESCOLHA E DIMENSIONAMENTO DOS DISPOSITIVOS DE PROTECÇÃO

De uma forma geral a protecção de uma conduta elevatória contra as depressões provocadas pelo golpe de aríete, pode ser conseguida mediante a instalação de um ou vários dos seguintes dispositivos de protecção:

- . Volante de inércia;
- . Conduta de aspiração paralela (by-pass);
- . Reservatório unidireccional;
- . Chaminé de equilibrio;
- . Reservatório de ar comprimido.

No presente caso, não era possível a utilização de volantes de inércia nem de condutas de aspiração paralela, uma vez que se tratam de grupos electrobomba submersíveis instalados em furos. Por outro lado a instalação de um reservatório unidireccional apenas protege eficazmente contra depressões as secções da conduta situadas junto dele.

A utilização de chaminés de equilibrio em instalações elevatórias está condicionada à existência de uma topografia adequada, o que não se verifica neste caso.

Verificou-se assim que, dos dispositivos indicados, era o reservatório de ar comprimido que reunia as melhores condições de utilização técnicas e económicas, pelo que foi este o dispositivo adoptado.

Quanto aos locais de instalação destes dispositivos, a necessidade de evitar depressões ao longo de todo o desenvolvimento das condutas levou a que eles fossem instalados junto das captações.

Foi assim efectuada o cálculo das envolventes máxima e mínima das cotas piezométricas nas condutas para um total de 12 hipóteses de solução, diferenciando entre si quanto ao número, localização e volume inicial de ar de cada reser

vatório.

Cada uma das hipóteses ensaiadas foi estabelecida após análise cuidada dos resultados obtidos nas hipóteses anteriores, por forma a tentar resolver os problemas que iam surgindo da forma técnica e economicamente mais vantajosa.

As características da solução final adoptada encontram-se indicadas no Quadro I, apresentando-se na Fig. 2 o andamento aproximado das respectivas envolventes das piezométricas.

Atendendo a que os valores da celeridade das ondas elásticas nas condutas dependem de parâmetros que foram estimados de forma aproximada e que podem diferir dos utilizados nos cálculos, efectuaram-se análises de sensibilidade em que se fizeram variar de $\pm 10\%$ os valores da celeridade. Verificou-se que a variação nas envolventes das piezométricas era relativamente reduzida, continuando estas a situar-se dentro de limites aceitáveis.

6 - CONCLUSÕES

Dos resultados obtidos para cada uma das diferentes hipóteses de protecção ensaiadas verificou-se que a instalação de um maior número de reservatórios de ar comprimido permitia uma protecção eficaz das condutas com uma redução apreciável nos respectivos volumes. Por outro lado, esta disposição garante uma maior fiabilidade do sistema no caso de eventuais anomalias de funcionamento de um dos dispositivos.

De notar que, para reduzir os volumes dos reservatórios a instalar junto das captações de Lezíria II, se verificou ser vantajosa a alteração dos volumes iniciais de ar dos reservatórios existentes junto das captações do Mouchão d'Eça, e a instalação de um novo reservatório no mesmo local.

Quanto à precisão dos resultados obtidos, ela depende da validade das hipóteses simplificativas consideradas e das aproximações inerentes ao próprio método numérico.

As hipóteses consideradas, referidas no Capítulo 3, são geralmente aceites e dão bons resultados em condutas rígidas com pequena espessura relativamente ao diâmetro e em que não exista ar acumulado em regime permanente e não ocorram depressões durante o regime transitório.

Por outro lado, a dimensão dos trechos de cálculo e os intervalos de tempo utilizados no modelo foram bastante reduzidos de forma a poder-se admitir que a integração das equações de base era efectuada com aproximação suficiente.

Considera-se no entanto que seria extremamente vantajosa a realização de ensaios em protótipo após a instalação de todas ou parte das protecções previstas, para determinação das características dos regimes transitórios efectivamente ocorridos, o que permitiria a verificação e calibração do modelo de cálculo utilizado, com o consequente aumento na segurança do sistema e nos conhecimentos existentes sobre a modelação deste tipo de fenómenos.

QUADRO 1 - CARACTERÍSTICAS DA SOLUÇÃO ADOPTADA

LOCALIZAÇÃO DO RESERVATÓRIO	VOLUME INICIAL DE AR (m ³)		CAPACIDADE NOMINAL (m ³)
	MÍNIMO	MÁXIMO	
GII	1,5	1,7	3,5
GIII	1,5	1,7	4,0
GIV	1,5	1,7	4,5
GV	1,5	1,7	6,0
GVI*	1,5	1,7	5,0
GVII**	1,5	1,7	5,0
GVII*	1,5	1,7	5,0

* Reservatório existente, a alterar o posicionamento das sondas de comando do electrocompressor.

** Reservatório a instalar em paralelo com o existente.

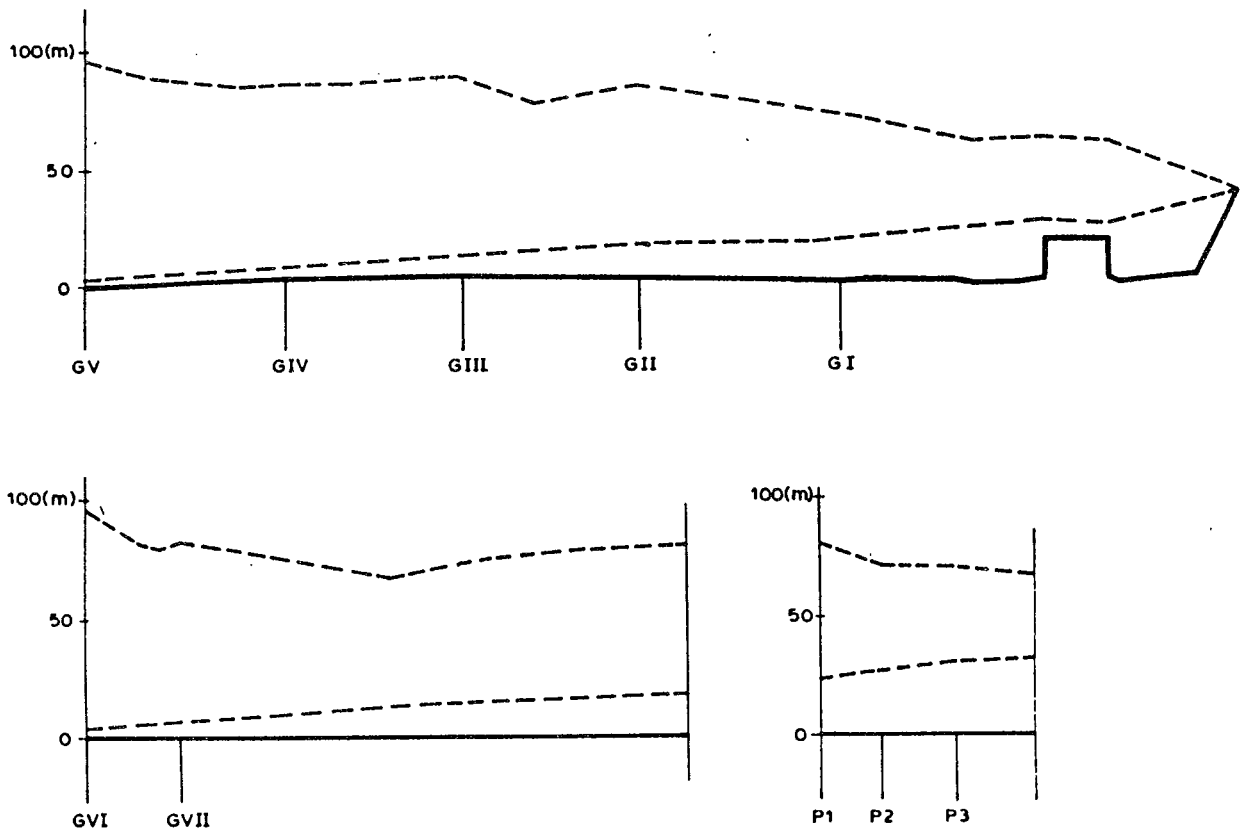


Fig. 2 - Envolventes da piezométrica