

# — PRESSÕES MÍNIMAS A JUSANTE DAS VÁLVULAS DE ENCHIMENTO E ESVAZIAMENTO DE ECLUSAS DE — NAVEGAÇÃO

## — MINIMUM PRESSURES DOWNSTREAM FROM FILLING AND — EMPTYING LOCK VALVES

### **Cristiane C. Battiston**

Analista de Infraestrutura do Governo Brasileiro /// Bolsista do CNPq /// Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul /// Av. Bento Gonçalves, nº 9500, Cx. Postal 15029, CEP 91.501-970, Porto Alegre, Brasil /// cristiane battiston@yahoo.com.br.

### **Edith B. C. Schettini**

Professora Associada /// Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul /// Av. Bento Gonçalves, nº 9500, Cx. Postal 15029, CEP 91.501-970, Porto Alegre, Brasil /// bcamano@iph.ufrgs.br.

### **Marcelo G. Marques**

Professor Associado /// Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul /// Av. Bento Gonçalves, nº 9500, Cx. Postal 15029, CEP 91.501-970, Porto Alegre, Brasil /// mmarques@iph.ufrgs.br.

RESUMO: A cavitação junto às válvulas de enchimento e esvaziamento de eclusas de navegação, está entre as principais limitações para o aumento da altura de queda dessas estruturas.

Para auxiliar nos projetos de eclusas, analisar e descrever as pressões mínimas a jusante das válvulas dos sistemas de enchimento e esvaziamento de eclusas de navegação, foram realizadas simulações experimentais, em modelo físico reduzido construído no Laboratório de Obras Hidráulicas do Instituto de Pesquisas Hidráulicas - IPH/UFRGS.

Para a representação das pressões mínimas, foram escolhidos os coeficientes de pressão denominados  $CP_{0.1\%}$  e  $CP_{1\%}$ , calculados para as pressões com probabilidade de serem igualadas ou superadas em 99.9% e 99% das ocorrências, respectivamente. Neste trabalho, apresentam-se relações entre esses coeficientes adimensionais de pressão e coeficientes adimensionais de posição, para números de Reynolds superiores a  $3 \times 10^5$ , que permitem a estimativa das pressões mínimas ao longo da base e do teto do conduto para vários graus de abertura da válvula.

Palavras-chave: Eclusa, comporta segmento invertida, pressões mínimas, hidráulica experimental.

*ABSTRACT: Cavitation close to the valves of lock filling and emptying systems is among the major limitations to increase the lock lift.*

*In order to better understand the flow dynamic downstream from lock valves, describing the behavior of the minimum pressures, it was conducted an experimental investigation at the "Laboratório de Obras Hidráulicas" of the "Instituto de Pesquisas Hidráulicas" of the "Universidade Federal do Rio Grande do Sul".*

*To represent minimum pressures, it was chosen dimensionless coefficients of pressure named  $CP_{0.1\%}$  and  $CP_{1\%}$ , which is defined by the pressures with probability of being equaled or exceeded at 99.9% and 99% of times, respectively. This paper presents the relationship between these dimensionless coefficients of pressure and dimensionless coefficients of position, for Reynolds greater than  $3 \times 10^5$ , which helps estimating the minimum pressures along the culvert base and roof for several valve opening.*

*Keywords: Navigation lock, reverse radial gate, reverse tainter gate, minimum pressures, experimental hydraulic.*

# 1. INTRODUÇÃO

As eclusas, principalmente as de alta queda, são acompanhadas de diversos fenômenos hidráulicos nocivos que devem ser estudados, de forma a identificar suas características, os problemas associados e as soluções possíveis para evitar que ocorram danos às obras hidráulicas.

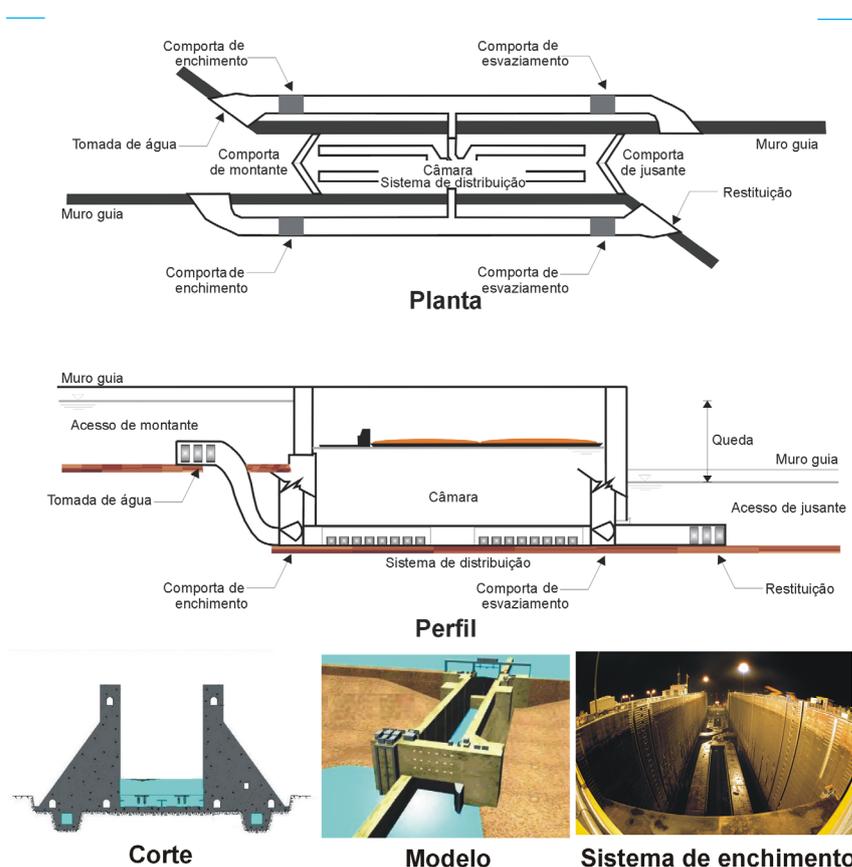
A Figura 1 apresenta esquematicamente o perfil de uma eclusa de navegação de câmara simples e os seus principais componentes.

O acesso de montante é constituído de um canal de aproximação e de muros guia que auxiliam as embarcações no acesso à câmara. Como o fluxo de água nas eclusas ocorre por gravidade, o termo

montante é aplicado aos elementos do extremo de nível de água mais elevado.

A câmara se constitui de um reservatório onde ocorre a variação de nível. Suas barreiras extremas são móveis, permitindo o acesso das embarcações ao seu interior (comportas de montante e jusante).

O sistema de distribuição é um conjunto de elementos hidráulicos que permite o fluxo de água para enchimento e esvaziamento da câmara. Pode-se citar o canal de adução, a tomada de água, os aquedutos, as comportas, o sistema de distribuição e o sistema de restituição. Para se elevar o nível de água na câmara, abrem-se as comportas de enchimento mantendo as de esvaziamento fechadas. Para o abaixamento do nível de água na câmara, abrem-se as comportas de



**Figura 1** - Componentes das eclusas de navegação.  
(Fontes: Adaptado de USACE, 2006; <<http://www.ahimor.gov.br>>. Acesso em: 08 jun. 2007; <<http://images.usace.army.mil/photolib.html>>. Acesso em: 05 set. 2006).

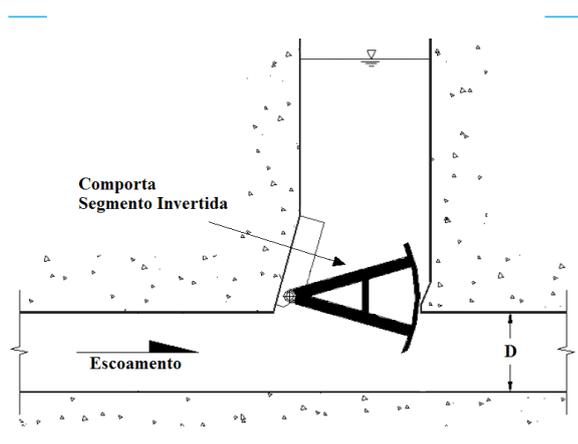
O texto deste artigo foi submetido para revisão e possível publicação em julho de 2013, tendo sido aceite pela Comissão de Editores Científicos Associados em setembro de 2013. Este artigo é parte integrante da *Revista Recursos Hídricos*, Vol. 34, Nº 2, 41-53, novembro de 2013. © APRH, ISSN 0870-1741 | DOI 10.5894/rh34n2-4

esvaziamento mantendo as de enchimento fechadas. O acesso de jusante, de forma similar ao acesso de montante, se constitui de um canal de aproximação e de muros guia, porém o acesso de jusante encontra-se situado no extremo com nível de água mais baixo. O tamanho do desnível a ser transposto (queda) é dado pela diferença entre os níveis de água de montante e jusante e permite a classificação das eclusas em (USACE, 1995):

- Eclusas de baixa queda: com desnível de até 10m;
- Eclusas de média queda: com desnível entre 10m e 15m;
- Eclusas de alta queda: com desnível superior a 15m.

De acordo com Ussami (1980), a cavitação junto às comportas de eclusas de alta queda se constitui em uma das principais limitações para o aumento da altura de queda das eclusas.

A comporta segmento aplicada em sua posição invertida (Figura 2), é a comporta mais usualmente utilizada nos aquedutos das eclusas, sendo que, por exemplo, desde 1940, segundo USACE (2011), apenas em três casos nos Estados Unidos não a utilizaram. Atualmente não se concebe outra solução que possa ter melhor desempenho técnico-econômico para as eclusas de alta queda do que a comporta segmento invertida (Santos, 1998).



**Figura 2** – Desenho esquemático da instalação de uma comporta segmento invertida no aqueduto de uma eclusa. (Fonte: Adaptado de USACE, 2011).

No início do processo de enchimento, ou de esvaziamento, são típicas as altas velocidades, a queda brusca da pressão média e as amplas flutuações de pressão a jusante das comportas, o que incorre em um grande potencial de cavitação, principalmente nas eclusas de médias e altas quedas (Ussami, 1980, e Santos, 1998).

A cavitação normalmente ocorre quando um líquido, a uma temperatura constante, é submetido a pressões iguais ou inferiores à de vapor. Se a pressão local em algum ponto do líquido atingir a pressão de vapor e existirem núcleos gasosos, poderão se formar cavidades de vapor. Se a pressão se mantiver próxima da pressão de vapor e a cavidade atingir um diâmetro crítico, ela explodirá. Se a pressão circundante aumentar, acima da pressão de vapor, a bolha se tornará instável e implodirá. Tal implosão, ou colapso, poderá ser muito violento e acompanhado por ruídos, vibrações e possível erosão das superfícies sólidas próximas (Tullis, 1982). Quando as bolhas colapsam, a pressão atinge valores bastante elevados e quanto menores as bolhas e maior sua quantidade, maior será a deterioração das superfícies sólidas (BORSARI *apud* Kormann, 2002).

Observações em modelos e em protótipos revelaram que para a abertura de 60% da comporta ocorrem as condições mais críticas de cavitação (Santos, 1998).

As principais soluções adotadas para amenizar os efeitos ou eliminar a cavitação são: a utilização de revestimentos resistentes (aço), o abaixamento da cota de assentamento das comportas, as alterações geométricas, as leis de manobra especiais para as comportas e a introdução de ar (USACE, 1975, Oliveira *et. al.*, 1983, e Santos, 1998).

A adição de água não leva a resultados consideráveis, a não ser em grandes quantidades, o que exigiria um segundo duto. Dessa forma, não é uma solução utilizada. A execução de concretos especiais também tem se revelado com limitações e estes têm sido mais estritamente aplicados às situações de menor efeito erosivo da cavitação, como no caso dos partidores de fluxo horizontais ou verticais (Santos, 1998). A colocação de revestimentos resistentes é onerosa e não elimina o problema; somente retarda os efeitos da erosão por cavitação.

As leis de manobra especiais ficam limitadas à capacidade dos equipamentos de acionamento e a determinadas situações que causariam esforços hidrodinâmicos excessivos. A adição de ar vem sendo amplamente utilizada. Porém, a quantidade de ar é limitada, pois quando o ar é expelido do sistema ocasiona perturbações na superfície de água dentro da câmara da eclusa que podem provocar acidentes com as embarcações. Assim associam-se à adição de ar,



comporta. Os transdutores foram instalados contíguos ao fundo do canal para minimizar a atenuação das pressões instantâneas.

Os transdutores foram conectados a um conversor analógico digital de 12 bits, com duas placas, de 16 canais cada, ligadas a um microcomputador para a armazenagem dos dados. Os registros foram feitos com frequência de 512HZ e o tempo de aquisição de dados foi de 2min. Os dados registrados foram convertidos para valores de pressão, em metros de coluna de água (mca), de acordo com as equações de calibração de cada transdutor. As características dos transdutores de pressão utilizados estão apresentadas na Tabela 1.

Os ensaios foram realizados em regime permanente, para diferentes vazões e graus de abertura da comporta, conforme apresentado na Tabela 2. Não foi permitida a entrada de ar na tubulação durante os ensaios e a saída do conduto de jusante permaneceu submersa.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A fim de encontrar uma relação que descreva o comportamento das pressões mínimas ao longo da base e do teto do conduto e auxilie em sua predição, foi aplicada a técnica de análise dimensional, dando-se preferência à utilização de parâmetros facilmente determináveis.

**Tabela 1** - Características dos transdutores de pressão utilizados.

Número de equipamentos	Marca dos equipamentos	Faixa de operação (mca)		Precisão (%FE)
15	Sitron	-1.5	1.5	0.30
14	Sitron	-1.5	3.0	0.30
1	Hytronic	-2.1	4.9	0.25

**Tabela 2** - Tabela de ensaios com medição de pressão instantânea.

Abertura da comporta (a)		Vazão (Q)								
%	cm	l/s								
10	2.5	22	28	32						
30	7.5	22	28	32	40	60	90			
50	12.5	22	28	32	40	60	90	130	180	
60	15.0	22	28	32	40	60	90	130	180	220
70	17.5	22	28	32	40	60	90	130	180	220
80	20.0	22	28	32	40	60	90	130	180	220
100	25.0	22	28	32	40	60	90	130	180	220

Da análise dos dados, verificou-se que o comportamento das pressões mínimas junto à base e ao teto do conduto depende da combinação entre o grau de abertura e o diferencial de pressão entre as faces da comporta, e consequentemente da vazão, das velocidades geradas e do número de Reynolds do escoamento.

Para os casos com a comporta parcialmente aberta, foi possível o agrupamento de condições com tendências similares utilizando-se o número de Reynolds, calculado a partir da consideração da altura do conduto, como dimensão de referência, e da velocidade média na seção da comporta. Nas condições das simulações experimentais, o número de Reynolds variou entre  $1.1 \times 10^5$  e  $1.4 \times 10^6$ . As tendências se apresentaram similares para números de Reynolds superiores a  $3 \times 10^5$ .

Para os escoamentos com número de Reynolds superior a  $3 \times 10^5$ , o comportamento das pressões médias e extremas ao longo da base e do teto do conduto foi descrito por um coeficiente adimensional da posição ( $L_{adm}$ ) e por um coeficiente adimensional de pressão ( $CP$ ).

O coeficiente de posição ( $L_{adm}$ ) foi obtido pela relação entre a posição ( $L_i$ ) dos pontos de medição, em metros, a partir do terminal da comporta, e a altura resultante da diferença entre a altura do conduto ( $D$ ) e a da abertura da comporta ( $a$ ), ambos em metros, dada por

$$L_{adm} = \frac{L_i}{D - a} \quad (1)$$

### 3.1. Pressões mínimas junto à base e ao teto do conduto

Para a representação das pressões mínimas, foram escolhidos os coeficientes de pressão denominados  $CP_{0,1\%}$  e  $CP_{1\%}$ , calculados para as pressões com probabilidade de serem igualadas ou superadas em 99.9% e 99% das ocorrências, respectivamente.  $CP_{0,1\%}$  e  $CP_{1\%}$  foram obtidos a partir das seguintes relações

$$CP_{0,1\%} = \frac{P_{0,1\%} - \bar{P}}{V_a^2 - V_D^2} \quad (2)$$

$$CP_{1\%} = \frac{P_{1\%} - \bar{P}}{V_a^2 - V_D^2} \quad (3)$$

na qual:

$CP_{0,1\%}$  = coeficiente de pressão com probabilidade de ser igualada ou superada em 99.9% das ocorrências

$CP_{1\%}$  = coeficiente de pressão com probabilidade de ser igualada ou superada em 99% das ocorrências

$\bar{P}$  = pressão média no ponto de medição [mH2O]

$P_{0,1\%}$  = pressão no ponto de medição igualada ou superada em 99.9% das ocorrências para determinado grau de abertura da comporta [mH2O]

$P_{1\%}$  = pressão no ponto de medição igualada ou superada em 99% das ocorrências para determinado grau de abertura da comporta [mH2O]

$V_a$  = velocidade média na seção da comporta [m/s]

$V_D$  = velocidade média no conduto [m/s]

$g$  = aceleração devida à gravidade [m/s<sup>2</sup>].

### 3.2. Coeficientes de pressão mínima junto à base do conduto

Para a base do conduto, as relações entre o  $CP_{0,1\%}$  e  $CP_{1\%}$  e o  $L_{adm}$  foram representadas por

$$CP_{0,1\%} = \frac{ab_1 + ab_2 L_{adm}}{1 + ab_3 L_{adm} + ab_4 L_{adm}^2} \quad (4)$$

$$CP_{1\%} = \frac{ab_1 + ab_2 L_{adm}}{1 + ab_3 L_{adm} + ab_4 L_{adm}^2} \quad (5)$$

Os coeficientes  $ab_i$  e  $bb_i$  estão apresentados, respectivamente, na Tabela 3 e na Tabela 4, bem como o desvio padrão e o coeficiente de correlação ( $R^2$ ) entre as curvas ajustadas e os dados experimentais.

Até 60% de abertura da comporta, as equações ajustadas para representar o comportamento das pressões mínimas ao longo da base do conduto apresentaram coeficientes de correlação com os dados experimentais iguais ou superiores a 0.91. Para 70% e 80% de abertura da comporta os coeficientes de correlação entre a curva ajustada e os dados variaram entre 0.64 e 0.36. O maior desvio padrão foi registrado para a condição com 70% de abertura da comporta.

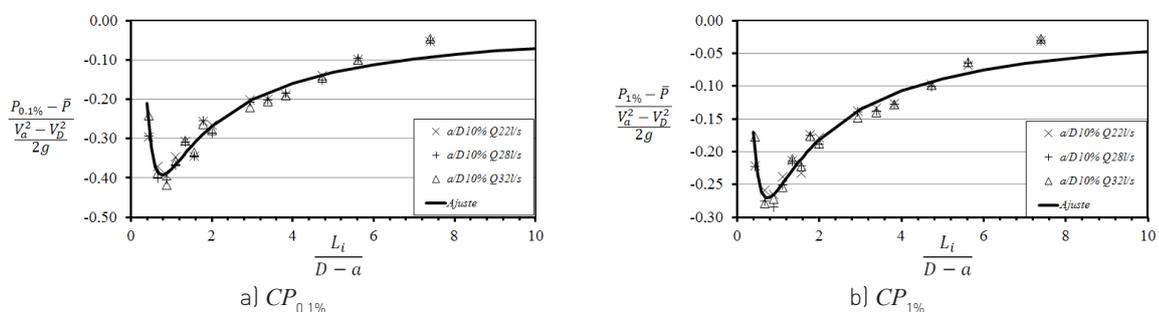
Da Figura 4 até a Figura 9 apresentam-se as comparações entre os dados experimentais e as curvas ajustadas para representar a relação entre os coeficientes adimensionais de posição e de pressão mínima para a base do conduto e os seguintes graus de abertura da comporta: 10%, 30%, 50%, 60%, 70% e 80%.

**Tabela 3** – Coeficientes para a equação 4, que estabelece a relação entre  $L_{adm}$  e  $CP_{0,1\%}$  para a base do conduto.

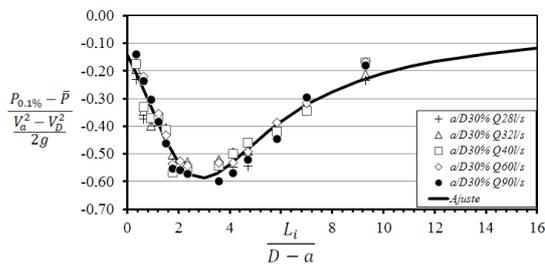
Coef.	$a/D$					
	10%	30%	50%	60%	70%	80%
$ab_1$	2 708 726	-0.1450	-0.1640	-0.1654	-0.2357	-0.2208
$ab_2$	-8 621 411	-0.1291	-0.0606	-0.0597	-0.1295	-1.7759
$ab_3$	4 211 615	-0.2972	-0.1703	-0.1014	0.1589	3.9533
$ab_4$	11 418 220	0.0886	0.0260	0.0179	0.0119	0.0229
<b>Desvio Padrão</b>	0.025	0.038	0.053	0.048	0.084	0.072
$R^2$	0.97	0.96	0.93	0.91	0.52	0.36

**Tabela 4** – Coeficientes para a equação 5, que estabelece a relação entre  $L_{adm}$  e  $CP_{1\%}$  para a base do conduto.

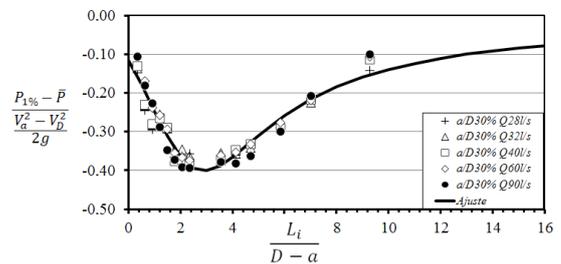
Coef.	$a/D$					
	10%	30%	50%	60%	70%	80%
$bb_1$	206 162	-0.1148	-0.1190	-0.1202	-0.1742	144.6
$bb_2$	-699 277	-0.0798	-0.0427	-0.0449	-0.0799	-2904.8
$bb_3$	530 800	-0.2932	-0.1926	-0.1247	0.0944	8914.5
$bb_4$	1 381 560	0.0851	0.0306	0.0226	0.0146	52.2
<b>Desvio Padrão</b>	0.017	0.026	0.032	0.033	0.049	0.049
$R^2$	0.98	0.96	0.94	0.91	0.64	0.36



**Figura 4** – Coeficientes de pressão para a base do conduto e 10% de abertura da comporta.

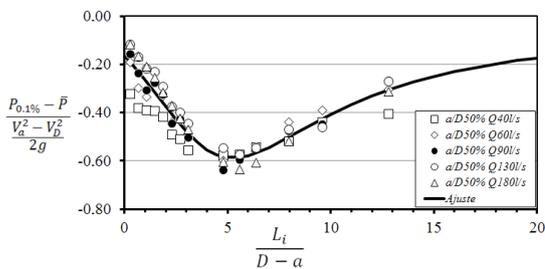


a)  $CP_{0.1\%}$

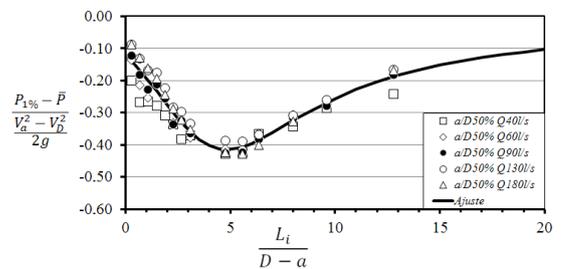


b)  $CP_{1\%}$

Figura 5 – Coeficientes de pressão para a base do conduto e 30% de abertura da comporta.

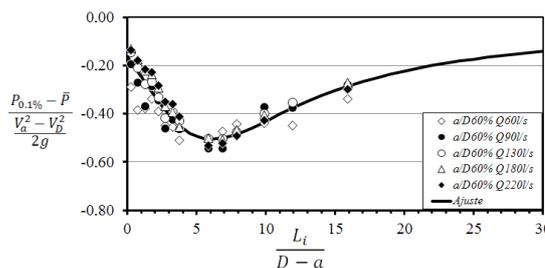


a)  $CP_{0.1\%}$

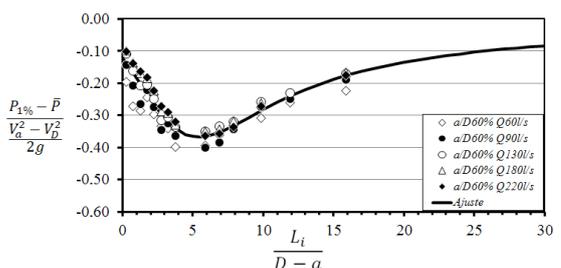


b)  $CP_{1\%}$

Figura 6 – Coeficientes de pressão para a base do conduto e 50% de abertura da comporta.



a)  $CP_{0.1\%}$



b)  $CP_{1\%}$

Figura 7 – Coeficientes de pressão para a base do conduto e 60% de abertura da comporta.

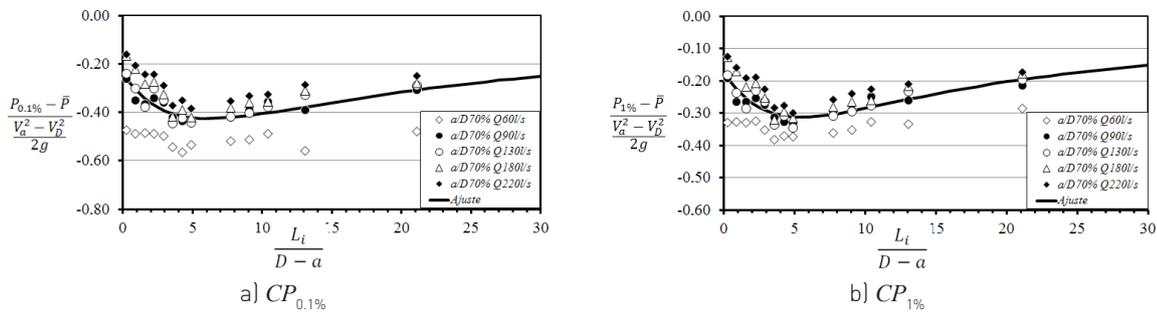


Figura 8 – Coeficientes de pressão para a base do conduto e 70% de abertura da comporta.

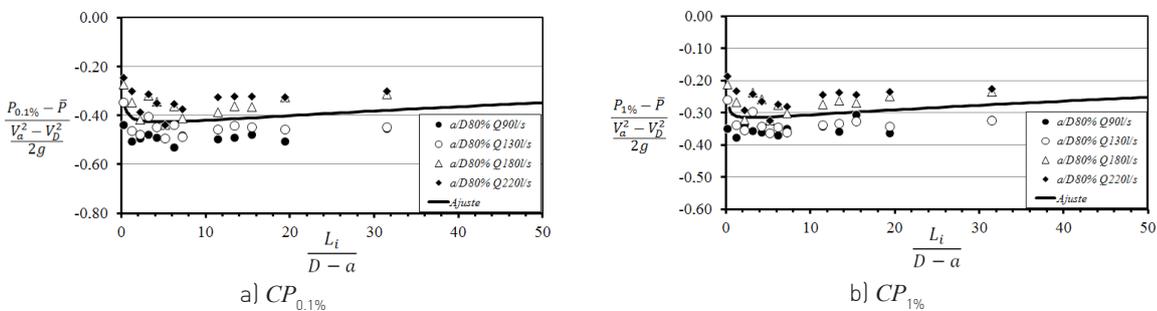


Figura 9 – Coeficientes de pressão para a base do conduto e 80% de abertura da comporta.

Os coeficientes de pressão mínima na base do conduto tenderam a apresentar valores que diminuem conforme aumenta a distância da comporta até determinado ponto a partir do qual os valores dos coeficientes passam a aumentar. A curva formada foi suavizada com o aumento do grau de abertura da comporta. Os menores valores de  $CP_{0.1\%}$  e  $CP_{1\%}$  para a base do conduto foram atingidos para 30% e 50% de abertura da comporta.

**3.3. Coeficientes de pressão mínima junto ao teto do conduto**

Para o teto do conduto, as relações entre o  $CP_{0.1\%}$  e  $CP_{1\%}$  e o  $L_{adm}$  foram representadas por

$$CP_{0.1\%} = \frac{at_1 + at_2L_{adm}}{1 + at_3L_{adm} + at_4L_{adm}^2} \tag{6}$$

$$CP_{1\%} = \frac{bt_1 + bt_2L_{adm}}{1 + bt_3L_{adm} + bt_4L_{adm}^2} \tag{7}$$

As equações ajustadas para as condições com 50% e 70% de abertura da comporta desconsideraram os dados das vazões de 40 l/s e 60 l/s. Essas condições tinham números de Reynolds iguais a  $3.2 \times 10^5$  e a  $3.4 \times 10^5$ , respectivamente, e seus dados apresentaram um comportamento distinto do das demais condições. Os coeficientes  $at_1$  e  $bt_1$  estão apresentados, respectivamente, na Tabela 5 e na Tabela 6, bem como o desvio padrão e o coeficiente de correlação  $[R^2]$  entre as curvas ajustadas e os dados experimentais.

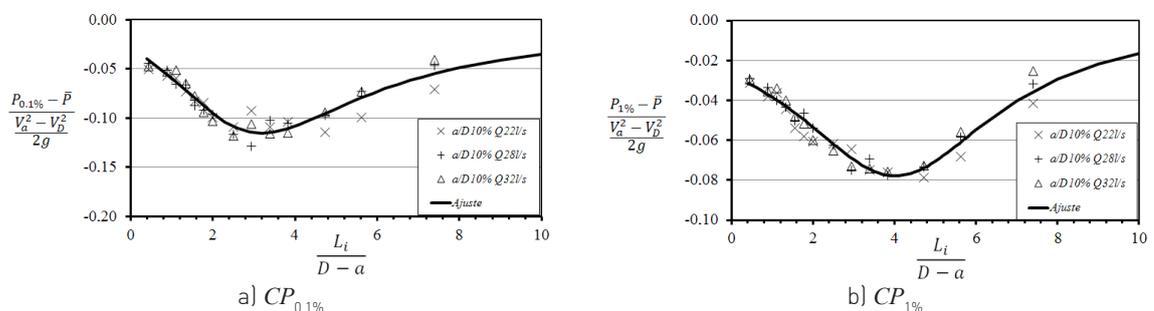
As equações ajustadas para representar o comportamento das pressões mínimas ao longo do teto do conduto apresentaram coeficientes de correlação com os dados experimentais iguais ou superiores a 0.77. O maior desvio padrão foi registrado para a condição com 80% de abertura da comporta. Da Figura 10 até a Figura 15 apresentam-se as comparações entre os dados experimentais e as curvas ajustadas para representar a relação entre os coeficientes adimensionais de posição e flutuação de pressão para o teto do conduto e os seguintes graus de abertura da comporta: 10%, 30%, 50%, 60%, 70% e 80%.

**Tabela 5** – Coeficientes para a equação 6, que estabelece a relação entre  $L_{adm}$  e  $CP_{0,1\%}$  para o teto do conduto.

Coef.	$a/D$					
	10%	30%	50%	60%	70%	80%
$at_1$	-0.0288	-0.1445	-0.2914	-0.3793	-0.4537	-0.7505
$at_2$	-0.0147	-0.0637	-0.0447	-0.0354	-0.0663	-0.2485
$at_3$	-0.3436	-0.1315	-0.1323	-0.1083	-0.0719	0.0852
$at_4$	0.0740	0.0363	0.0228	0.0149	0.0142	0.0162
Desvio Padrão	0.010	0.053	0.047	0.049	0.036	0.084
$R^2$	0.93	0.77	0.90	0.91	0.97	0.92

**Tabela 6** – Coeficientes para a equação 7, que estabelece a relação entre  $L_{adm}$  e  $CP_{1\%}$  para o teto do conduto.

Coef.	$a/D$					
	10%	30%	50%	60%	70%	80%
$bt_1$	-0.0275	-0.1104	-0.1726	-0.2102	-0.2650	-0.4867
$bt_2$	-0.0002	-0.0006	-0.0074	-0.0190	-0.0452	-0.1931
$bt_3$	-0.3183	-0.2272	-0.1800	-0.1567	-0.1036	0.1102
$bt_4$	0.0399	0.0227	0.0174	0.0170	0.0161	0.0186
Desvio Padrão	0.005	0.029	0.020	0.023	0.026	0.049
$R^2$	0.96	0.86	0.97	0.97	0.97	0.94



**Figura 10** - Coeficientes de pressão para o teto do conduto e 10% de abertura da comporta.

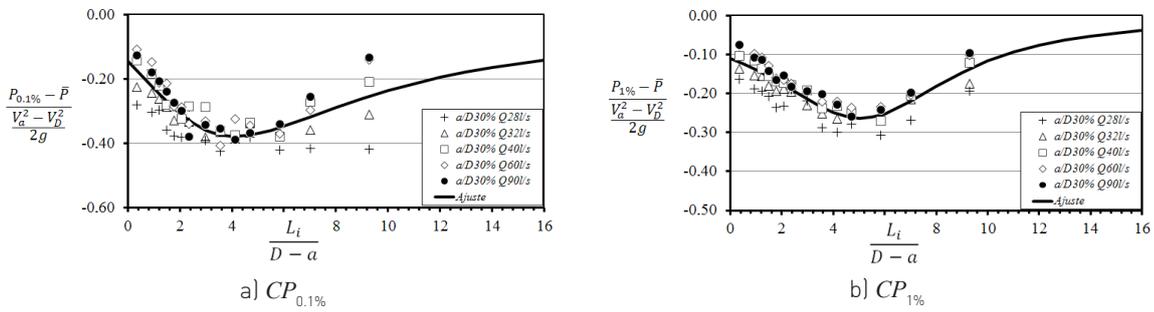


Figura 11 - Coeficientes de pressão para o teto do conduto e 30% de abertura da comporta.

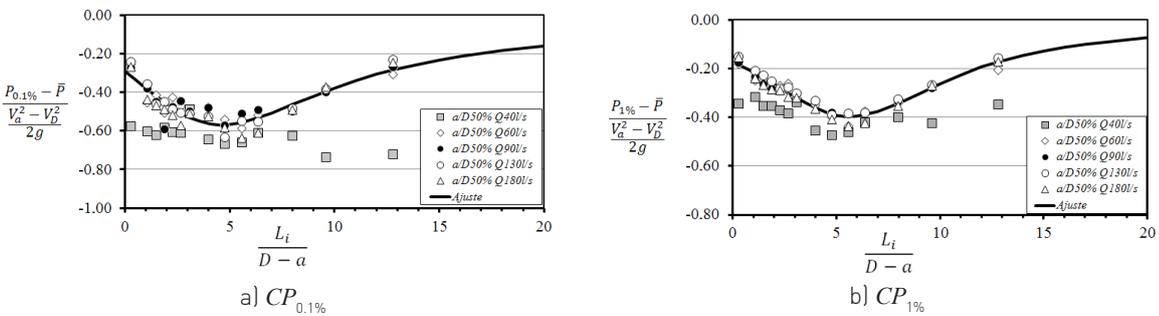


Figura 12 - Coeficientes de pressão para o teto do conduto e 50% de abertura da comporta.

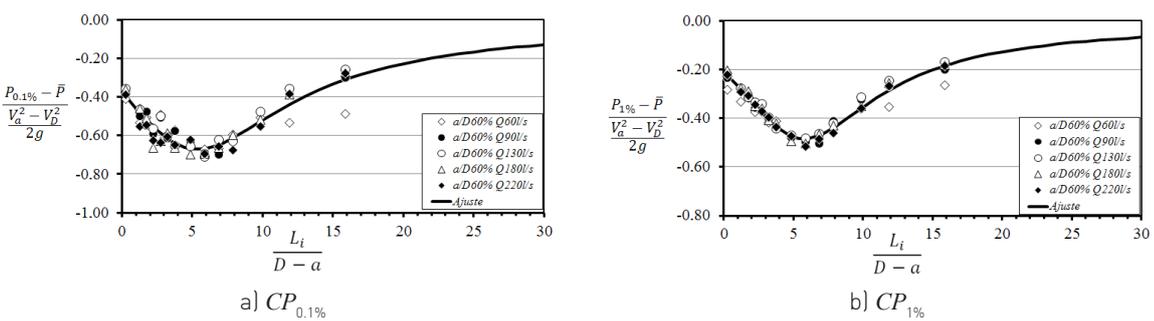


Figura 13 - Coeficientes de pressão para o teto do conduto e 60% de abertura da comporta.

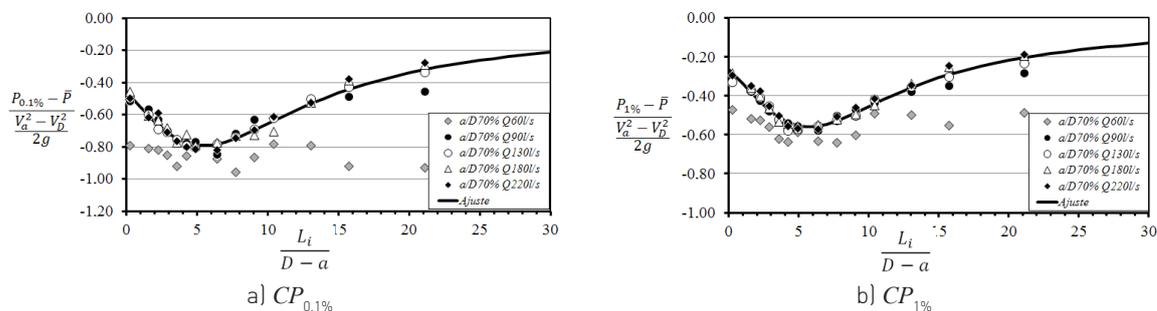


Figura 14 - Coeficientes de pressão para o teto do conduto e 70% de abertura da comporta.

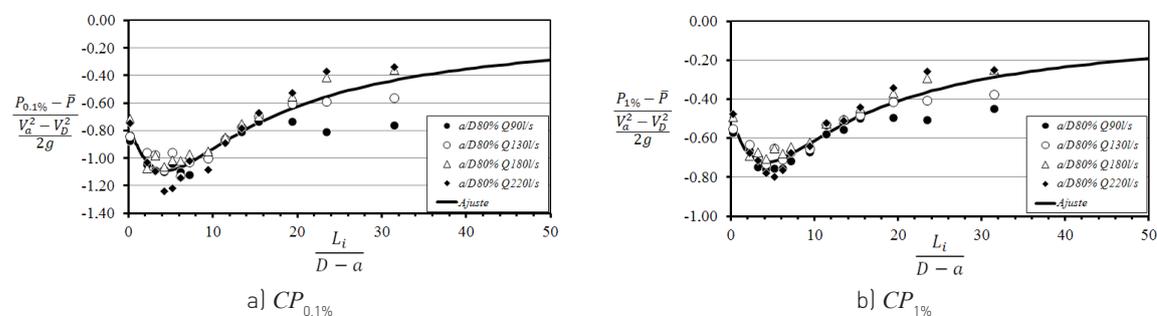


Figura 15 - Coeficientes de pressão para o teto do conduto e 80% de abertura da comporta.

Os coeficientes de pressão mínima no teto do conduto tenderam a apresentar valores que diminuem conforme aumenta a distância da comporta até determinado ponto a partir do qual os valores dos coeficientes passam a aumentar. Conforme aumentou o grau de abertura da comporta, diminuíram os valores de  $CP_{0,1\%}$  e  $CP_{1\%}$  para o teto do conduto.

#### 4. CONCLUSÕES

Para a análise das pressões mínimas a jusante das válvulas dos sistemas de enchimento e esvaziamento de eclusas de navegação, foram realizadas simulações experimentais, em modelo físico reduzido construído no Laboratório de Obras Hidráulicas do Instituto de Pesquisas Hidráulicas - IPH/UFRGS.

Para números de Reynolds superiores a  $3 \times 10^5$ , o comportamento das pressões mínimas ao longo da base e do teto do conduto apresentaram tendências similares para cada grau de abertura, tendo sido possível descrevê-lo pela relação entre coeficientes adimensionais de posição e de pressão.

Os coeficientes de pressão mínima na base e no teto do conduto tenderam a apresentar valores que diminuem conforme aumenta a distância da comporta até determinado ponto a partir do qual os valores dos coeficientes passam a aumentar.

Os menores valores de  $CP_{0,1\%}$  e  $CP_{1\%}$  para a base do conduto foram atingidos para 30% e 50% de abertura da comporta.

Conforme aumentou o grau de abertura da comporta, diminuíram os valores de  $CP_{0,1\%}$  e  $CP_{1\%}$  para o teto do conduto.

#### AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado no Instituto de Pesquisas Hidráulicas - IPH da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, com apoio do CNPq, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - Brasil.

Agradecemos aos colaboradores do Laboratório de Obras Hidráulicas do IPH e do Laboratório de Hidráulica Experimental e Recursos Hídricos - LAHE de FURNAS Centrais Elétricas S/A.

## BIBLIOGRAFIA

KORMANN, A.C.M. (2002) - *Estudo do desempenho de quatro tipos de materiais para reparo a serem utilizados em superfícies erodidas de concreto de barragens*, Dissertação de Mestrado, UFPR, Curitiba, Brasil.

OLIVEIRA, D.T., GOMES, P.M.L., REIS, L.F.B. (1983) - *Considerações sobre alguns resultados obtidos no modelo físico da eclusa 1 de Tucuruí*, Simpósio Luso-Brasileiro sobre Simulação e Modelação Hidráulica, Blumenau, Brasil.

SHENGYI, Z., HUICHAO, D., WENLI, W. (2005) - *Effect study of valve hoisting way to the flow field for ship lock in the TGP*. XXXI IAHR Congress, Seoul, Coreia do Sul.

SHINQIN, L., YIHONG, W., SHENZONG, X., CHANGHE, L. (1999) - *Hydrodynamic pressure of filling and emptying system and flow-induced vibration of reversed tainter gate of the lock at Wuqiangxi Hydroproject*. XXVIII IAHR Congress, Graz, Austria.

SANTOS, S.R. (1998) - *Projeto hidráulico de eclusas de alta queda*, Tese de livre docência, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil.

TULLIS, J.P. (1992) - *Cavitação em sistemas hidráulicos*, Intercâmbio internacional sobre transientes hidráulicos & cavitação, São Paulo, Brasil.

USACE. UNITED STATES ARMY CORPS OF ENGINEERS (2006) - *Hydraulic Design of Navigation Locks*. EM 1110-2-1604, <http://www.usace.army.mil/publications/engine-manuals/em1110-2-1604/entire.pdf> (09 ago. 2006).

USACE. UNITED STATES ARMY CORPS OF ENGINEERS (2011) - *Lock Culvert valves; hydraulic design considerations*, ERDC/CHL TR-11-4., [http://www.usace-isc.org/presentation/HHC-Misc/Hydraulic\\_Design\\_of\\_Lock\\_Culvert\\_Valves\\_Stockstill\\_Richard.pdf](http://www.usace-isc.org/presentation/HHC-Misc/Hydraulic_Design_of_Lock_Culvert_Valves_Stockstill_Richard.pdf) (05 abr. 2012).

USACE. UNITED STATES ARMY CORPS OF ENGINEERS (1995) - *Planning and Design of Navigation Locks*, EM 1110-2-2602, <http://www.usace.army.mil/publications/engine-manuals/em1110-2-2602/entire.pdf> (08 ago. 2006).

USACE. UNITED STATES ARMY CORPS OF ENGINEERS (1975) - *Hydraulic design of lock culverts*, EM 1110-2-1610, <http://www.usace.army.mil/publications/engine-manuals/em1110-2-1610/entire.pdf> (08 ago. 2006).

USSAMI, H. (1980) - *Comportamento hidráulico dos sistemas de enchimento e esgotamento de eclusas de navegação*, Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil.

