

Distribuição das Pressões a Jusante de Comportas tipo Segmento Invertida em Modelo Físico de Eclusa de Navegação

Cássius Palauro*, Mariane Kempka*, Marcelo Giulian Marques*, Maurício Daí Prá*
cassiuspalauro@gmail.com; mariane.kempka@ufrgs.br; mmarques@iph.ufrgs.br; mdaipra@gmail.com

Recebido: 31/07/12 - revisado: 18/10/12 - aceito: 09/09/13

RESUMO

O conhecimento dos valores de pressões médias mínimas junto às comportas tipo segmento invertida é de extrema importância visto que esses dispositivos são usualmente utilizados em eclusas de navegação. As eclusas são estruturas hidráulicas utilizadas por embarcações para a transposição de desníveis, que podem ser de origem natural ou oriundas de intervenções humanas. Durante os procedimentos de enchimento e esvaziamento de câmaras de eclusas, quando se dá a passagem de água pelas comportas de controle de vazão, verifica-se uma velocidade bastante alta, principalmente para pequenas aberturas da comporta, proporcionando a redução das pressões locais, podendo atingir valores críticos para a incipência de processos de cavitação. O presente trabalho tem por objetivo apresentar o comportamento das pressões médias mínimas em função de vazões e aberturas de comportas pré-definidas. Por fim, são sugeridos números adimensionais que possibilitem inferir a ocorrência das pressões médias mínimas que poderiam ser responsáveis pelo início de processos de cavitação, causando danos às estruturas.

Palavras-chave: comporta segmento invertida, eclusa, pressões médias mínimas.

INTRODUÇÃO

Uma comporta pode ser entendida como um mecanismo que permite o controle da vazão de água em reservatórios, condutos e represas. Sua aplicação atinge diversos campos da Engenharia Hidráulica, tais como: proteção e manutenção de equipamentos, controle de nível, regularização de vazões em barragens, instalação em tomadas d'água para usinas hidrelétricas, dentre outros.

Santos (1998) afirma que vários tipos de válvulas foram utilizados em eclusas, sendo que até 1950, nas eclusas predominava a aplicação de comportas planas. Contudo já a partir de 1930, devido ao grande sucesso técnico e econômico que estava sendo obtido com a aplicação de comportas segmento (Tainter gates) em descarregadores de superfície, essas comportas passaram a ser aplicadas nos sistemas de enchimento e esvaziamento das eclusas. Investigações efetuadas no modelo reduzido da Eclusa de Pickwick demonstraram que grandes quantidades de ar eram arrastadas para o interior da

câmara, causando perturbações na superfície da água e colocando em risco as embarcações. Esse problema foi resolvido invertendo-se a posição da comporta, colocando o eixo de giro para montante (USSAMI, 1980). As comportas tipo segmento invertida são atualmente as mais utilizadas em condutos de eclusas. Segundo Davis (1989), todas as eclusas construídas nos Estados Unidos após 1940 foram equipadas com comportas do tipo segmento invertida.

A comporta segmento invertida é formada, geralmente, por uma chapa metálica curva (segmento de um cilindro) e braços radiais que funcionam à tração. O escoamento nesta região de montante é mais tranquilo, e, portanto, os braços da comporta não influenciam o escoamento a jusante (Figura 1).

Os principais problemas hidráulicos em sistemas de enchimento e esvaziamento de eclusas de navegação são os fenômenos de cavitação e erosão. Segundo Brighetti e Dourado (1988) a cavitação a jusante das comportas tem sido a maior limitação para o aumento da altura de queda nos projetos de eclusas de navegação.

A cavitação é o processo de formação de bolhas de ar dentro do escoamento por meio de pressões extremamente baixas que atingem a pressão de vapor da água. Dourado(1987) define a cavitação como um fenômeno dinâmico que

*Instituto de Pesquisas Hidráulicas/UFRGS

consiste na formação e no colapso subsequente de cavidades ou bolhas de vapor, num líquido em escoamento sob pressão.



Figura 1 - Comporta tipo segmento invertida – onde os braços radiais funcionam tracionados. (adaptada de UNITED STATES OF AMERICA, 1975).

Cabe salientar que a cavitação e a erosão não ocorrem apenas a jusante das comportas nas eclusas, mas que as consequências são mais graves nessa região (Gontijo e Campos, 2005). Ussami(1980) destaca que a situação operacional que apresenta as maiores complicações hidráulicas é a do início do enchimento, quando a lâmina de água dentro da câmara é mínima, e verificando-se as maiores perturbações do plano de água, as maiores acelerações, as maiores instabilidades no escoamento nos aquedutos e os maiores riscos de ocorrência de cavitação. Sendo assim, neste estudo serão abordados apenas valores obtidos a jusante da comporta simulando a situação de enchimento da câmara.

Atrelado ao fenômeno de cavitação está à erosão da superfície do conduto. A erosão é a extração de finos do concreto diminuindo assim a resistência da superfície e ocasionando maior rugosidade a mesma.

Alguns autores procuram associar o escoamento a jusante de comportas ao escoamento de um ressalto hidráulico confinado em um conduto podendo-se citar Rajaratnam, (1978), Mees *et al*, (2008), Battiston *et al*, (2009(a)). Entretanto, este enfoque não será utilizado neste trabalho. Neste trabalho será dada ênfase às pressões médias mínimas e as pressões extremas mínimas representadas pelas pressões com probabilidade

ocorrência inferiores a 1% e 0,1%, que ocorrem a jusante da comporta para diferentes condições de escoamento (aberturas e vazões ou cargas a montante). A análise destas pressões mínimas pode vir a indicar o grau de risco de erosão e/ou de cavitação na estrutura. Ainda pode-se ressaltar que tanto a erosão quanto a cavitação são processos progressivos e cumulativos que podem ocorrer simultaneamente, sendo de extrema complexidade reconhecer precisamente qual processo iniciou o dano nas paredes do conduto.

METODOLOGIA

Os ensaios que subsidiaram o estudo foram realizados no Laboratório de Obras Hidráulicas localizado no Instituto de Pesquisas Hidráulicas da UFRGS. A bancada de ensaios é composta por um conduto principal de seção quadrada com 0,25m de lado e 8,9m de comprimento, onde está instalada a comporta tipo segmento invertida com raio de curvatura de 0,38m.(Figura 2)

As medições de pressão foram efetuadas no trecho logo a jusante da comporta como pode ser visualizado nas Figuras 3 e 4. Faz parte do sistema, ainda, uma chaminé de equilíbrio com altura de 2,50m e um reservatório de jusante com volume total de 7,2m³, que tem como função manter a submergência mínima do escoamento, que é definida pela profundidade mínima da câmara para as embarcações.

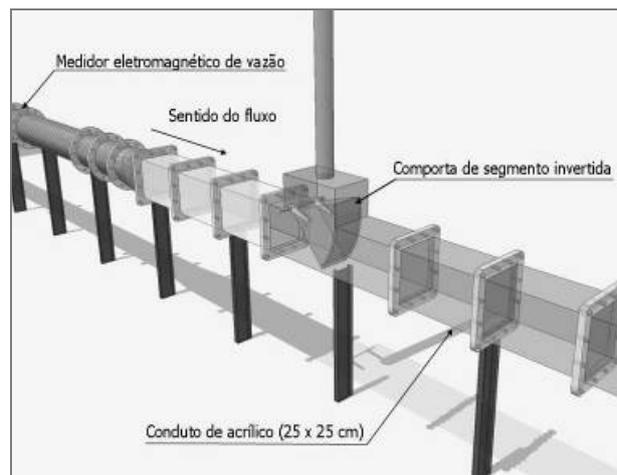


Figura 2 - Desenho esquemático da bancada de ensaios.

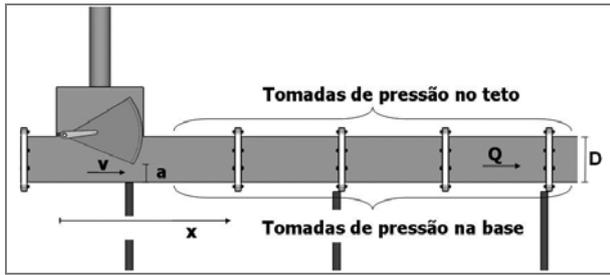


Figura 3 - Detalhe da região de interesse das medições de pressão e variáveis relevantes ao estudo.

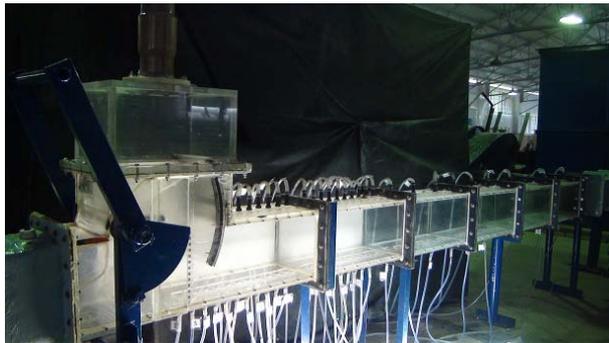


Figura 4 - Bancada de ensaios.

Foram ensaiadas sete vazões e onze diferentes aberturas da comporta, sendo que todos os ensaios foram realizados com escoamento em regime permanente. A Figura 5 apresenta a visualização da “vena contracta” durante a realização de um dos ensaios, onde foi ejetado em duas tomadas do teto um traçador (tinta nanquim diluída em água, que permitiu identificar a região inferior de escoamento principal e uma região superior (azul) de recirculação. Este tipo de visualização foi feito para todos os ensaios. Em cada uma das imagens foi medida a vena contracta e comparada com os resultados obtidos por Battiston *et al*, (2009) e USACE (1975), apresentando uma boa correlação. Assim optou-se em utilizar os dados da curva de Battiston *et al*, (2009(b)) que foi desenvolvida na mesma estrutura do presente trabalho.

A Tabela 1 apresenta a composição dos ensaios realizados. As pressões foram medidas por meio de transdutores de pressão da marca Sitron com faixa de operação de -1,5 a 1,5 mca, e precisão de 0,25% de fundo de escala, estes foram localizados no eixo central do conduto no teto e na base do mesmo, logo a jusante da comporta (Figura 6), a distância entre as tomadas de pressão variou de 5cm

a 15cm, sendo mais próximas logo a jusante da comporta e mais espaçadas conforme se afasta da comporta. Os dados foram adquiridos durante 10 minutos a uma frequência de 512 Hz. Este tempo e frequência são superiores aos recomendados por Lopardo (1986), ou seja, 1 minuto e 50 Hz e também aos sugeridos por Teixeira (2008) para análise de pressões extremas, ou seja 10 minutos e 50 Hz.

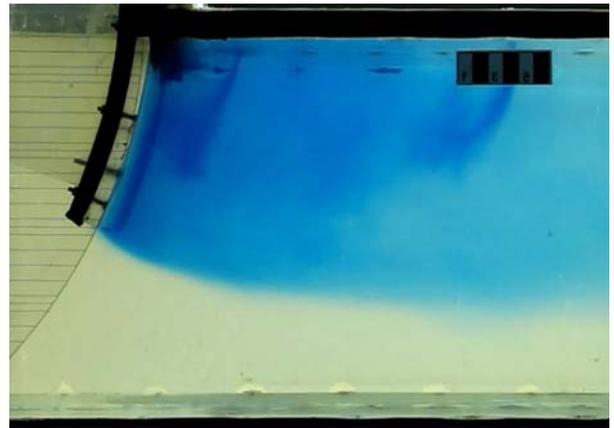


Figura 5 - Visualização da “vena contracta”, para uma abertura de comporta de 50% e vazão de 32l/s.

Tabela 1 – Resumo dos ensaios realizados.

		Vazão (l/s)						
		18	22	28	32	40	60	80
Abertura (%)	10%	X	X	X	X			
	15%	X	X	X	X	X		
	20%	X	X	X	X	X	X	
	25%	X	X	X	X	X	X	X
	30%	X	X	X	X	X	X	X
	40%		X	X	X	X	X	X
	50%		X	X	X	X	X	X
	60%		X	X	X	X	X	X
	70%		X	X	X	X	X	X
	80%		X	X	X	X	X	X
100%		X	X	X	X	X	X	

Para a análise dos dados, determinou-se a média dos dados obtidos em cada uma das posições ao longo do conduto. Posteriormente, determinou-se em quais posições foram verificadas as menores pressões. Após isso se utilizou a média das menores pressões registradas ao longo do conduto para cada ensaio, ou seja, considerou-se uma região onde ocorrem as pressões médias mínimas. A Figura 7 mostra como foi considerada esta região para cada con-

dição de ensaio. Assim obteve-se um único valor de pressão para cada uma das condições de ensaio.



Figura 6 - Posicionamento dos transdutores de pressão utilizados nas medições.

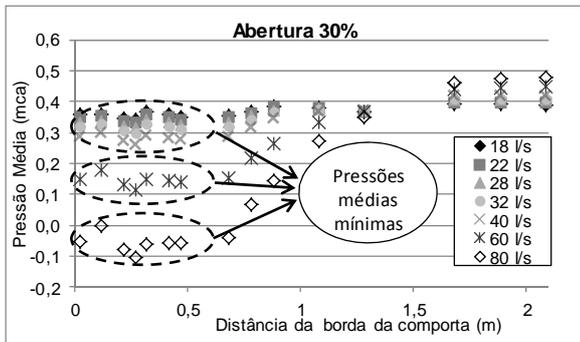


Figura 7 - Pressões médias e escolha dos valores para região de pressões médias mínimas.

Os ensaios foram efetuados para uma relação de carga (relação entre a carga cinética do escoamento e a altura do conduto) entre 0,025 e 10,310, de acordo com a equação 1.

$$Rc = \frac{\left(\frac{V_c^2}{2g}\right)}{D} \quad (1)$$

Onde:

- Rc – relação de carga;
- V_c - velocidade média do escoamento na *vena contracta* da comporta em (m/s);
- D - altura do conduto no caso de conduto de seção quadrada (m);
- g – aceleração da gravidade (m/s²)

RESULTADOS

Para demonstrar o comportamento das pressões médias a jusante da comporta, apresenta-se nas Figuras 8 e 9 a distribuição de pressões médias ao longo da base e do teto do conduto.

Pelas Figuras 8 e 9 pode-se perceber que as pressões aumentam a medida que a abertura da comporta torna-se maior. Embora o comportamento da pressão para teto e base seja semelhante, as pressões no teto se mostram menores. É possível verificar também que as menores pressões médias ocorrem numa região menor que 2D (2 vezes a altura do conduto), para todas as aberturas e vazões.

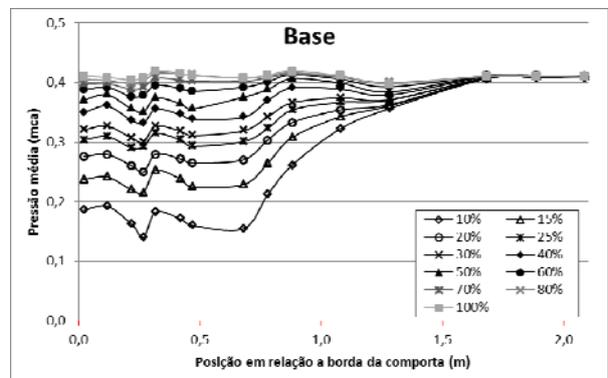


Figura 8 - Distribuição das pressões médias ao longo da base do conduto para uma vazão de 321/s.

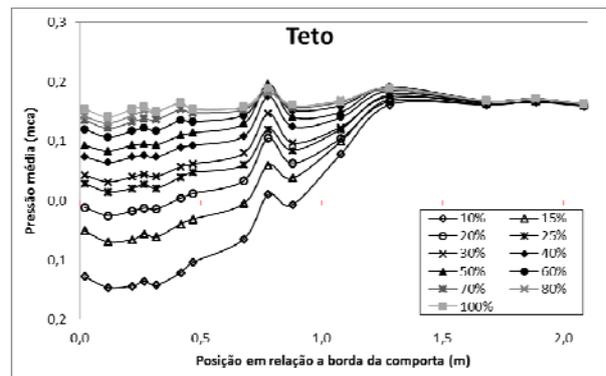


Figura 9 - Distribuição das pressões médias ao longo do teto do conduto para uma vazão de 321/s.

As Figuras 10 e 11 apresentam as pressões médias mínimas determinadas analiticamente conforme descrito na metodologia em função da

vazão, para as diferentes aberturas da comporta. A partir da sua análise pode-se concluir que:

- a) para aberturas inferiores a 60% as vazões comportam-se inversamente proporcional a abertura da comporta, ou seja, vazões maiores geram pressões médias mínimas menores, sendo os piores casos para aberturas entre 20% e 30%;
- b) a partir da abertura de 70% as pressões a jusante da comporta aumentam com o aumento da vazão e apresentam menores variações para diferentes vazões;
- c) quanto menor for a abertura da comporta e a medida que crescem as vazões, mais rapidamente as pressões médias mínimas decrescem;

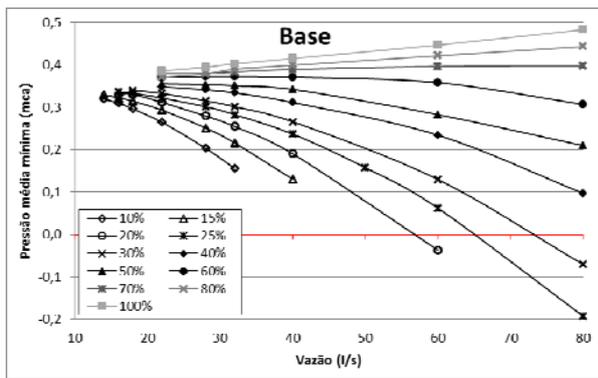


Figura 10 - Pressões médias mínimas na base em função da vazão.

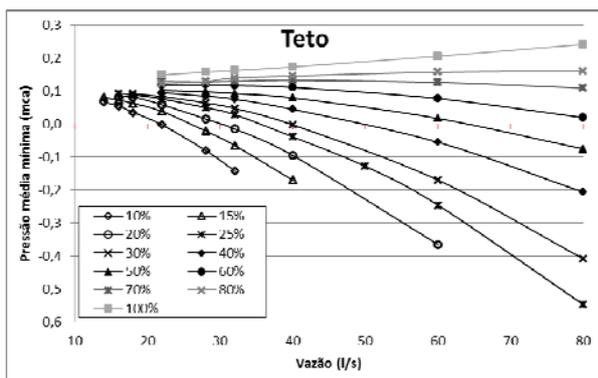


Figura 11 - Pressões médias mínimas no teto em função da vazão.

Quando as pressões médias mínimas são apresentadas em função da abertura da comporta para as diferentes vazões, verifica-se, que, para todos os casos, existe uma abertura na qual a pressão é igual. Este valor é da ordem de 70%, e ocorre tanto na base quanto no teto. (Figuras 12 e 13). Observa-se ainda que as maiores vazões originam menores pressões médias mínimas, porém estas crescem mais rapidamente a medida que aumenta a abertura da comporta.

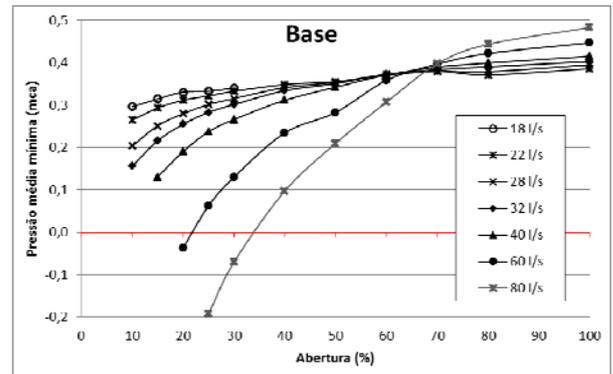


Figura 12 - Distribuição da pressão média mínima em função da abertura da comporta, na base.

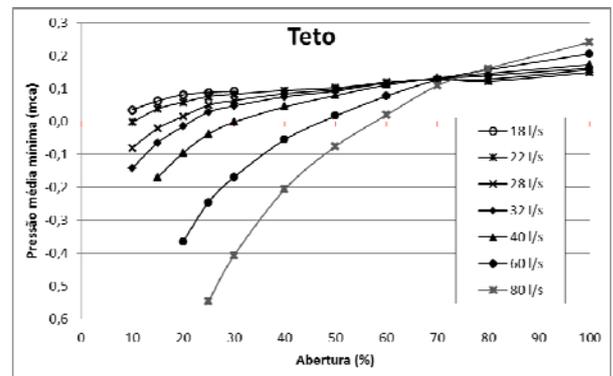


Figura 13 - Distribuição da pressão média mínima em função da abertura da comporta, no teto.

Através da análise dos dados obtidos nos ensaios foi possível generalizar os resultados de maneira a permitir uma estimativa dos valores das pressões médias mínimas que podem ocorrer à jusante da comporta para as diferentes condições de contorno. A Equação 2 apresenta o coeficiente de pressão (σ), conforme descrito por Dourado, (1987) e Santos (1998).

$$C_p = \frac{P + (P_{atm} - P_v)}{\frac{\rho V^2}{2g}} \quad (2)$$

Onde:

P - pressão medida no ponto;
 P_{atm} - pressão atmosférica local;
 P_v - pressão de vapor do líquido;
 V - a velocidade em termos médios do escoamento.
 No presente trabalho optou-se por utilizar o coeficiente de pressão (C_p) de forma simplificada, conforme Equação 3.

$$C_p = \frac{P_m}{\frac{\rho V_c^2}{2g}} \quad (3)$$

Onde:

P_m - pressão média mínima.
 V_c - velocidade média do escoamento na *vena contracta* da comporta em (m/s);

Pelas análises dimensionais efetuadas se verificou que a relação entre a velocidade na vena contracta (V_c), a abertura da comporta (a) e a relação da dimensão do conduto (D) permitiam a caracterização do escoamento. A celeridade (C) foi incluída como parâmetro de adimensionalização uma vez que a abertura da comporta se dá em regime transiente e as pressões dependem das características da tubulação e do tempo de abertura ou fechamento da comporta. O parâmetro adimensional resultante destas análises é o parâmetro Am , conforme a Equação 4.

$$Am = \frac{C}{V_c} \sqrt{\frac{a}{D}} \quad (4)$$

Onde:

a - abertura da comporta (m);
 C - celeridade (m/s).

Para a celeridade (C) foi adotado um valor de 1265m/s valor este recomendado para tubos de parede rígida, segundo Hwang (1984).

Inicialmente foram analisados os valores de pressão médias mínimas em função do adimensional Am . Na Figura 14, verifica-se que a tendência das distribuições no teto e na base segue o mesmo pa-

drão, porém, apresentam valores distintos. Também pode-se verificar que para $Am > 480$ as pressões, tanto na base como no teto, começam a se estabilizar, indicando que a partir desta condição a abertura a comporta influencia pouco na pressão.

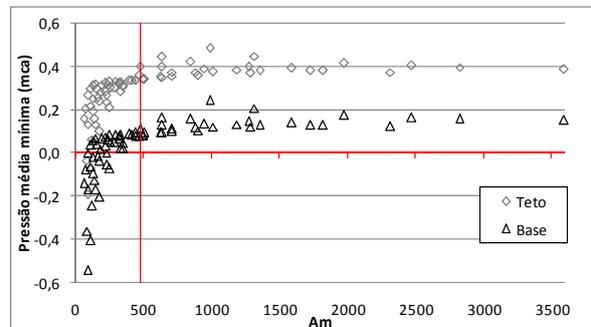


Figura 14 - Pressões médias mínimas em função do adimensional Am .

A Figura 15 apresenta resultado de Am em relação a abertura da comporta. Essa Figura mostra que valores de $Am > 480$ ocorrem para aberturas maiores que 70%, e nestes casos as pressões médias já apresentam valores estáveis. Isso permite estimar que para aberturas maiores que 70% a comporta não exerce influência no comportamento das pressões mínimas. Abaixo de 70% as condições de contorno do escoamento influenciam nas pressões.

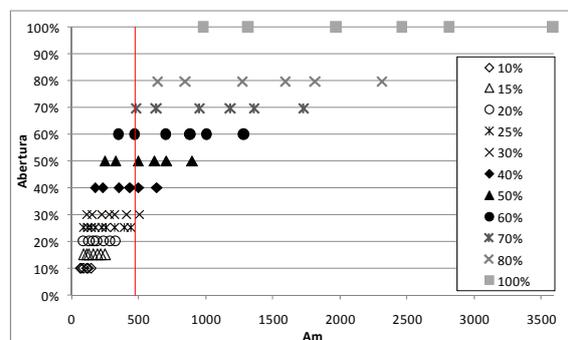


Figura 15 - Porcentagem de abertura da comporta em função do adimensional Am .

Nas Figuras 16 e 17 são apresentadas as tendências obtidas dos parâmetros adimensionais ($C_p = f(Am)$) para a base e para o teto do conduto, respectivamente, sendo possível ajustar equações para a estimativa das pressões médias mínimas que podem ocorrer na base e no teto do conduto.

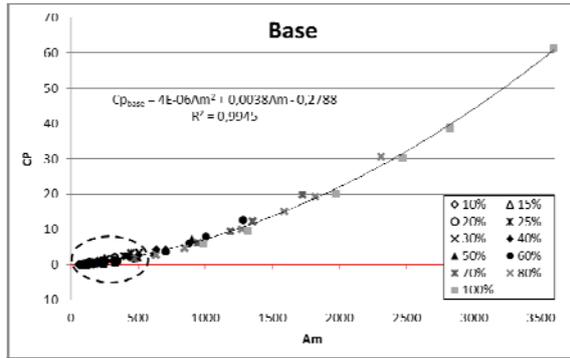


Figura 16 - Coeficiente de pressão em função do parâmetro Am para a base do conduto.

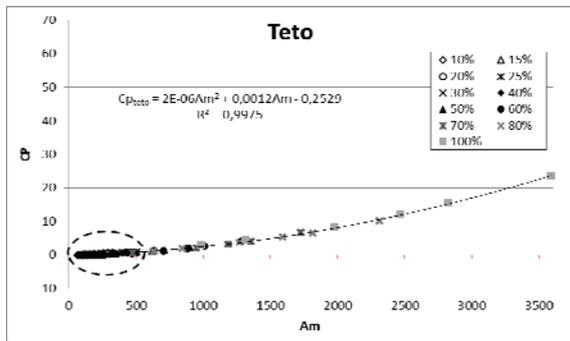


Figura 17 - Coeficiente de pressão em função do parâmetro Am, para o teto do conduto.

As equações 5 e 6 apresentam as equações ajustadas para os dados utilizados no presente trabalho, para a base e teto do conduto respectivamente.

$$CP_{base} = 4E-06Am^2 + 0,0038Am - 0,2788 \quad (5)$$

$$CP_{teto} = 2E-06Am^2 + 0,0012Am - 0,2529 \quad (6)$$

Nas Figuras 18 e 19 apresenta-se a ampliação da região demarcada pelas elipses com o ajuste feito a partir dos dados. Observa-se que pelo ajuste feito para a base, começam a ocorrer valores negativos de CP para valores de Am < 84, e para o teto começam a ocorrer para Am < 185. Entretanto, em função da dispersão dos dados se observa que a possibilidade de ocorrer valores negativos para Am < 170 (base) e Am < 350 (teto) e que para valores de Am < 70 (base) e Am < 90 (teto) ocorrem certamente pressões negativas. As Tabelas 2 e 3 ilustram a respeito. Reforça-se esta observação tendo em vista que pressões negativas significam esforços de tração nas paredes do conduto, e, portanto, requerem maior cuidado na etapa de projeto destas estruturas hidráulicas.

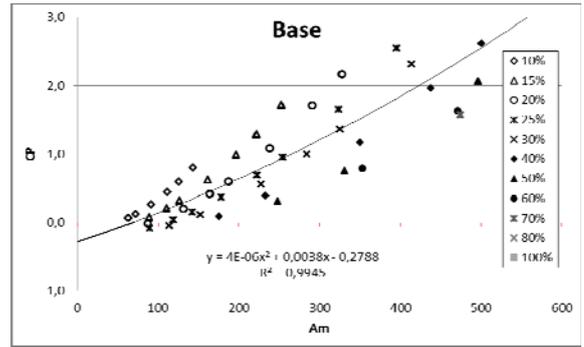


Figura 18 - Coeficiente de pressão em função do parâmetro Am, para a base - detalhe dos coeficientes

de pressão com menores valores.

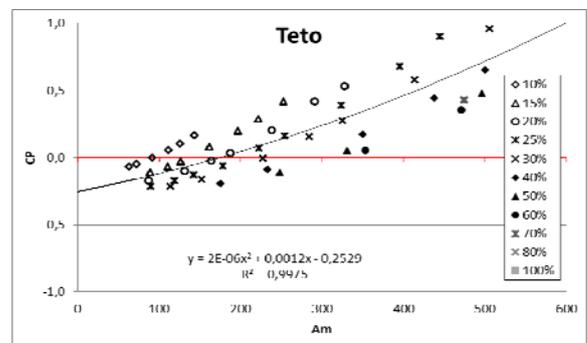


Figura 19 - Coeficiente de pressão em função do parâmetro Am, para o teto - detalhe dos coeficientes de pressão com menores valores.

Tabela 2- Valores de Am para que ocorram valores de CP < 0 na base.

CP < 0	Base
Não ocorre	Am > 170
Possibilidade de ocorrência	84 < Am < 170
Há ocorrência	70 < Am < 84
Certamente ocorrem	Am < 70

Tabela 3- Valores de Am para que ocorram valores de CP < 0 no teto.

CP < 0	Teto
Não ocorre	Am > 350
Possibilidade de ocorrência	185 < Am < 350
Há ocorrência	90 < Am < 185
Certamente ocorrem	Am < 90

Em função do exposto observa-se que os valores de Am para a base são mais críticos que para o teto, ou seja, os valores de Am são menores para

que ocorram pressões negativas. Assim classificou-se a condição do escoamento em função do parâmetro Am e ocorrência ou não de pressões negativas que possam vir a danificar a estrutura, conforme apresentado na Tabela 4.

Tabela 4 – Classificação das condições do escoamento em função do parâmetro Am em função da ocorrência ou não de pressões negativas que possam vir a danificar a estrutura.

Classificação	Condição
Nula	$Am > 170$
Incipiente	$84 < Am < 170$
Intermitente	$70 < Am < 84$
Crítica	$Am < 70$

CONCLUSÕES

Este trabalho propõe a identificação do comportamento das pressões mínimas à jusante de comportas tipo segmento invertida, em função dos adimensionais: Coeficiente de pressão (CP) e Am .

Pela análise efetuada a partir de dados obtidos em um modelo hidráulico de laboratório, foi possível concluir:

- a) quanto ao comportamento das pressões em função da vazão e da abertura da comporta:
 - as pressões médias mínimas no teto do conduto são sempre menores que na base do conduto.
 - até a abertura de 60% as pressões médias mínimas diminuem com o aumento da vazão, já para as aberturas superiores a 70% as pressões aumentam com o aumento da vazão, porém este aumento se dá menos intenso que no caso da diminuição das pressões;
 - as menores pressões médias mínimas ocorrem para aberturas entre 20% e 30%.
- b) quanto ao comportamento dos coeficientes de pressão em função do adimensional Am :
 - As condições do escoamento em função da possibilidade de ocorrência de pressões negativas foram classificadas em:

Nula	$Am > 170$
Incipiente	$84 < Am < 170$
Intermitente	$70 < Am < 84$
Crítica	$Am < 70$

Este estudo buscou contribuir para a compreensão do comportamento do escoamento a jusante das comportas tipo segmento invertida obtendo assim projetos e estruturas mais seguras.

Procurou-se estabelecer aqui, também, alguma contribuição na definição das leis de abertura das comportas, uma vez que identificado as situações em que ocorrem as menores pressões, é possível conceber e utilizar leis de abertura que minimizem os tempos em que a estrutura estará funcionando em situações mais desfavoráveis no que diz respeito a pressões mínimas e ao risco de cavitação.

Salienta-se, contudo que há muito ainda a ser esclarecido de forma a ampliar as conclusões aqui apresentadas. Desta forma, em continuação à pesquisa estão sendo realizadas análises da pressão com baixas probabilidades de ocorrência ($P_{1\%}$ e $P_{0,1\%}$), com isso será possível uma maior compreensão do comportamento das pressões, agora extremas, a jusante de comportas tipo segmento invertida.

AGRADECIMENTOS

À equipe de trabalho envolvida no Projeto de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) intitulado “Análise do comportamento hidráulico dos sistemas de enchimento e esgotamento de eclusas de navegação”, que contou com a parceria e o apoio financeiro da Eletrobrás-Furnas. Os autores também agradecem aos bolsistas do IPH/UFRGS que trabalharam nas atividades experimentais relativas a essa pesquisa.

Agradecimento também a FINEP e ao CNPq, que no âmbito do CT-Aquaviário, apoia o projeto "Análise dos Esforços Hidrodinâmicos a Jusante de Válvulas de Sistemas de Enchimento/Esvaziamento de Eclusas de Navegação, desenvolvido em rede entre o IPH/UFRGS, a UFPel, a UNISINOS e a URI.

REFERÊNCIAS

BATTISTON, C. C.; SCHETTINI, E. B. C.; CANELLAS, A. V. B.; MARQUES, M. G. *Eclusas de Navegação: caracterização hidráulica do escoamento a jusante das válvulas de enchimento esvaziamento*. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS,

2009, Campo Grande. Anais. Campo Grande: AB-RH, 2009(a).

BATTISTON, C.C., FINGER, G.R., MEES, A.A.A., CANELLAS, A.V.B., DAI PRÁ, M., MARQUES, M.G., ENDRES, L.A.M. *Análise do Escoamento a Jusante de Válvulas de Eclusas para o Caso de Pequenas Aberturas*, 2009, Belém/PA. Anais do V Congresso de Inovação Tecnológica em Energia Elétrica, 2009(b)

BRIGHETTI, G., DOURADO, C.L., *Aplicações e usos da medição de pressões em modelos de eclusas de navegação*. An. EPUSP, São Paulo, 1 (série A, pt3):51-62, 1988.

DAVIS, J. P. 1989. *Hydraulic Design of Navigation Locks*. Miscellaneous Paper HL-89-5, Vicksburg, MS: U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station.

DOURADO, C. L. *Aplicações e uso da medição de pressões em modelos de eclusas de navegação*. 1987. 116 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

GONTIJO, N. T.; CAMPOS, R. G. D. *Estruturas Hidráulicas Seminário: eclusas*. 2005. 29f. Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

LOPARDO, R.A. 1986. *Apunte sobre fluctuaciones macroturbulentas de presión, medición, análisis y aplicación al resalto hidráulico*. São Paulo: Escola Politécnica. 44 p

MEES, A. A. A.; BATTISTON, C. C.; MARQUES, M. G. *Downstream flow from reverse Tainter gates in conduits as a hydraulic jump*. In: 2nd International Junior Researcher and Engineer Workshop on hydraulic Structures, 2008, Pisa. 2nd Internacional Junior Researcher and Engineer Workshop on Hydraulic Structures, 2008

HWANG, NED H. C. *Fundamentos de Sistemas de Engenharia Hidráulica* - Cap.3 - Ed. Php do Brasil, Rio de Janeiro, 1984

RAJARATNAM, N. (1978). *Pressure Fluctuations Beneath Submerged Jump*, Journal of the Hydraulic Div., ASCE, Vol. 104 (HY9), pp. 1331-1342.

SANTOS, S. R. *Projeto Hidráulico de Eclusas de Alta Queda*. 1998. 225 f. Texto (Título de Professor Livre

Docente) – Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

TEIXEIRA, E.D. (2008). *Efeito de escala na previsão dos valores extremos de pressão junto ao fundo em bacias de dissipação por ressalto hidráulico*. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, IPH/UFRGS, Porto Alegre-RS, 293 p.

UNITED STATES OF AMERICA. Department of the Army. Corpo of Engineers. Office of the Chief of Engineers. *EM 1110-2-1610: engineering and design – hydraulic design of lock culvert valves*. Washington, DC, 1975 Disponível em: <<http://140.194.76.129/publications/eng-manuals/em1110-2-1610/toc.htm>> Acesso em: 27 maio 2011.

USSAMI, H. *Comportamento hidráulico dos sistemas de enchimento e esgotamento de eclusas de navegação*. 1980. 198 f. Dissertação. (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

Distribution Of Pressures Downstream From Reverse Tainter Gates In A Physical Model Of A Navigation Lock

ABSTRACT

It is extremely important to know minimum mean pressure values at reverse Tainter Gates because such devices are commonly used in navigation locks. Locks are hydraulic structures used by vessels to cross different water levels. The levels can be natural or due to human intervention. During the filling and emptying procedures of lock chambers, when the water passes through the flow control gates, there is a very high velocity, mainly for small gate openings, reducing local pressures and reaching critical values for the incipience of cavitation processes. This work aims to present the minimum mean pressure behavior in terms of flow and predefined gate openings. Finally, dimensionless numbers are suggested that allow inferring the occurrence of minimum mean pressures that may be responsible for the beginning of cavitation processes, damaging the structures.

Key words: reverse tainter gate, lock, minimum mean pressures