

AVALIAÇÃO DE PRESSÕES COM BAIXA PROBABILIDADE DE OCORRÊNCIA ATUANTES NO TETO DE CONDUTOS RETANGULARES

**PRISCILA DOS SANTOS PRIEBE¹; JOÃO PEDRO DE MORAIS DA SILVEIRA²;
BRUNA MOREIRA SELL³; MARCELO GIULIAN MARQUES⁴; DAIANE FONSECA
FREITAS⁵; MAURICIO DAI PRÁ⁶**

¹Universidade Federal de Pelotas – priscilaspriebe@gmail.com

²Universidade Federal de Pelotas – jpdslvr@gmail.com

³Universidade Federal de Pelotas – brunamoreirasell@hotmail.com

⁴Universidade Federal do Rio Grande do Sul – mmarques@iph.ufrgs.com.br

⁵Universidade Federal de Pelotas – daianeffreitas@gmail.com

⁶Universidade Federal de Pelotas – mdaipra@gmail.com

1. INTRODUÇÃO

As comportas hidráulicas são dispositivos hidromecânicos utilizados para controlar o fluxo d'água em estruturas hidráulicas. O escoamento a jusante de comportas, principalmente o escoamento confinado em um conduto, é altamente turbulento e complexo, devido a ocorrência de altas velocidades e bruscas variações de pressões nesta região, capazes de causar danos a estas estruturas.

Alguns estudos analisaram o escoamentos a jusante de comportas em condutos forçados, como Haindl (1957), Sharma (1976), Battiston et al. (2009) e Medronha (2013), os quais concluíram que o mesmo apresenta um comportamento semelhante ao do ressalto hidráulico submerso à superfície livre.

Como a avaliação do escoamento a jusante de comportas em condutos enquanto analogia ao ressalto hidráulico afogado pode ser feita, pode-se utilizar a Equação 1, proposta por Marques et al. (1997) para estimar os esforços com certa probabilidade de ocorrência ($P_{X\%}$) a partir do conhecimento da pressão média (P_X) e da flutuação de pressão (σ_X) multiplicado por um coeficiente estatístico para o ressalto hidráulico livre.

$$P_{X\%} = P_X \pm N \cdot \sigma_X \quad (1)$$

Desta forma, o objetivo deste trabalho é identificar o comportamento do coeficiente que seja característico e representativo das pressões com probabilidade de não excedência de 0,1%, que sejam utilizados como ponderadores das flutuações de pressão, a partir do conhecimento da pressão média e da flutuação de pressão para o teto do conduto.

2. METODOLOGIA

A investigação experimental do escoamento a jusante de comporta foi desenvolvida em um modelo físico hidráulico de um aqueduto de enchimento/esvaziamento de uma eclusa de navegação de média/alta queda, na qual está instalada uma comporta tipo segmento invertida, construído no Laboratório de Hidráulica no Curso de Graduação em Engenharia Hídrica da Universidade Federal de Pelotas.

O modelo físico é composto por um sistema de armazenamento de água (1), de bombeamento (2), de circulação de água, o qual está dividido em dois circuitos: um para vazões baixas (2,5L/s até 7,1L/s) (3) e outro para vazões altas (10,6L/s até 31,8L/s) (4) e a seção de interesse do estudo (5) (Figura 1).

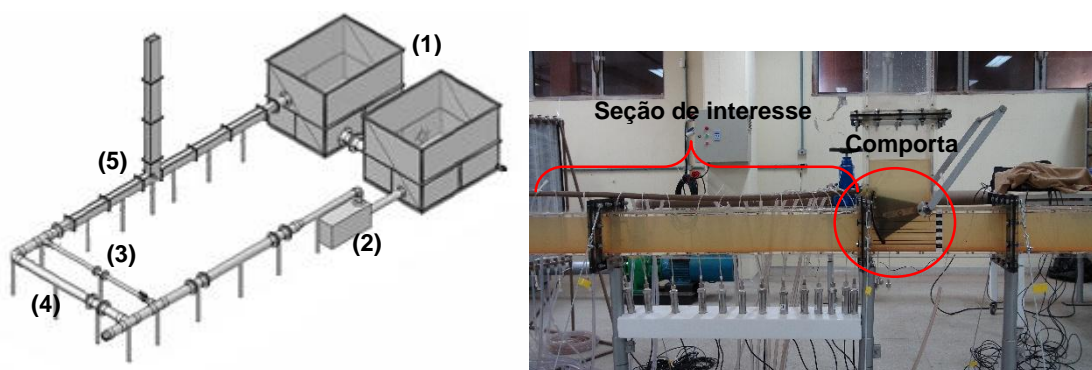


Figura 1 - Modelo físico do sistema hidráulico.

O trecho de interesse do estudo é composto por uma seção quadrada de acrílico com 0,125m de lado e comprimento de 4,0m, que corresponde ao aqueduto de enchimento e esvaziamento de uma eclusa, por uma comporta tipo segmento invertida, a qual está instalada a 2,1m em relação ao fim do sistema de circulação. A abertura é controlada através de uma leitura externa ao aqueduto com uma escala gráfica milimétrica. As pressões médias foram registradas com a utilização de piezômetros convencionais e as pressões instantâneas através de transdutores de pressão, ambos instalados nas tomadas de pressão imediatamente a jusante da comporta e posicionados na teto do conduto.

Após a aquisição dos dados no modelo físico hidráulico e a realização da consistência dos mesmos, os percentis e o desvio padrão foram calculados. O percentil de 0,1% das amostras foram determinados a partir da pressão instantânea, indicando estatisticamente as pressões atribuídas a uma probabilidade de não excedência de 0,1%. O desvio padrão foi calculado para os dados de pressão instantânea, representando fisicamente as flutuações de pressão.

Com os dados de pressão média, pressão com probabilidade de 0,1% de não excedência e a flutuação de pressão foi possível, através da Equação 1, estimar o coeficiente N para cada abertura da comporta e cada vazão ensaiada.

A fim de agrupar os coeficientes do teto contemplado todas as vazões, foram plotados gráficos com os coeficientes no eixo das ordenadas e no eixo das abscissas foram testados alguns adimensionais. Aquele que se adequou melhor foi a distância a partir da borda da abertura da comporta pela largura do conduto.

Em seguida, foram identificados parâmetros característicos para cada abertura da comportas, os quais foram plotados em gráficos, onde analisou-se o comportamento, ajustando uma função polinomial de segundo grau para determinar o comportamento do coeficiente $N_{0,1\%}$ de probabilidade de não excedência para o conjunto de aberturas ensaiadas.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A estimativa das pressões com determinada probabilidade de não excedência ($P_{x\%}$) atuantes a no teto a jusante de uma comporta pode ser realizada a partir da equação 1. A Figura 3 apresenta os valores do coeficiente N , para as abertura de 10% e 30%, associado à probabilidade de não excedência de 0,1%.

Observa-se que para as duas aberturas os valores do coeficiente N para o teto associado a probabilidade de 0,1% apresentam uma descontinuidade em relação ao conjunto de dados. A partir da posição adimensional $(x/D) > 2,0$, ou seja a partir do ponto 5, o coeficiente N cresce rapidamente.

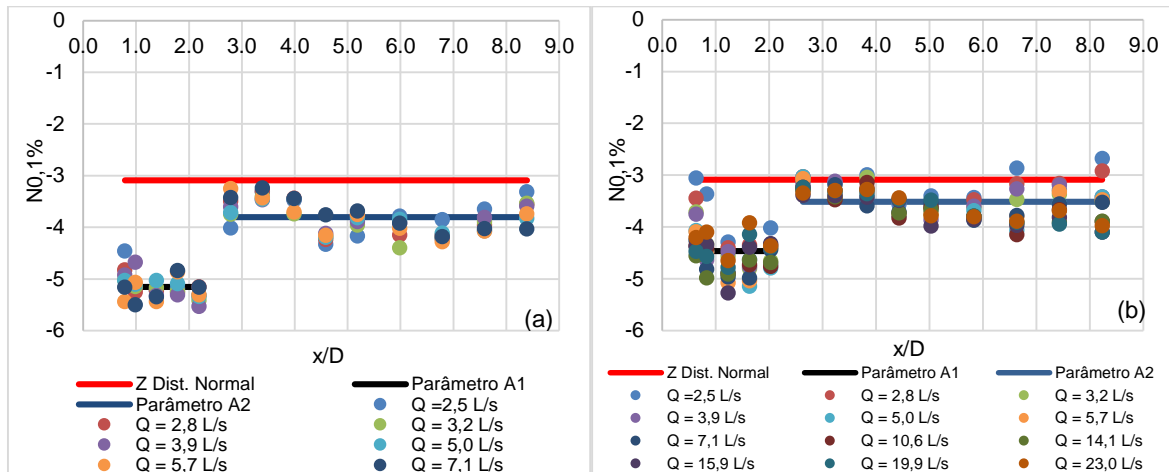


Figura 2 – Coeficiente estatístico associado à probabilidade de 0,1% para o teto (a) abertura de 10% (b) abertura de 30%.

À medida que são analisadas maiores aberturas de comporta, esta variação do coeficiente N vai suavizando, tornando-se constante em torno do valor de $-3,0$. Este comportamento está próximo do que se espera de uma distribuição normal de probabilidades, onde $Z_{0,1\%} = -3,09$.

A descontinuidade dos dados pode ser atribuída à influência da comporta no escoamento, como pode-se visualizar na Figura 3 que apresenta o comportamento das pressões médias junto ao teto do conduto.

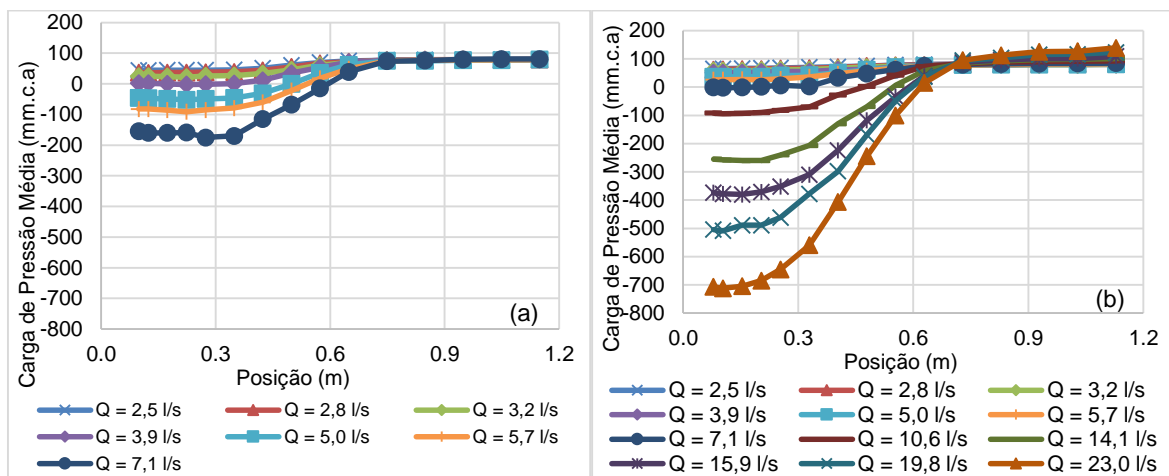


Figura 3 – Distribuição longitudinal das cargas de pressões médias para o teto (a) abertura de 10% (b) abertura de 30%

A partir do ponto 5 a carga de pressão média começa a aumentar rapidamente até o ponto 11 tornando-se constante. A partir disso pode-se inferir que a comporta influencia no escoamento até o ponto 5 e a partir deste ponto esta influencia começa a diminuir até cessar. Isso corrobora com a Figura 2, onde tem-se uma descontinuidade dos valores do coeficiente N a partir do ponto 5.

Em virtude desta descontinuidade foram ajustado dois parâmetros para o coeficiente $N_{0,1\%}$ de probabilidade de não excedência para uma mesma abertura: um para a região próximas a comporta (A1) e outro para a região afastada da comporta (A2). Na Figura 4 pode-se visualizar estes parâmetros A1 e A2 em função das aberturas da comporta.

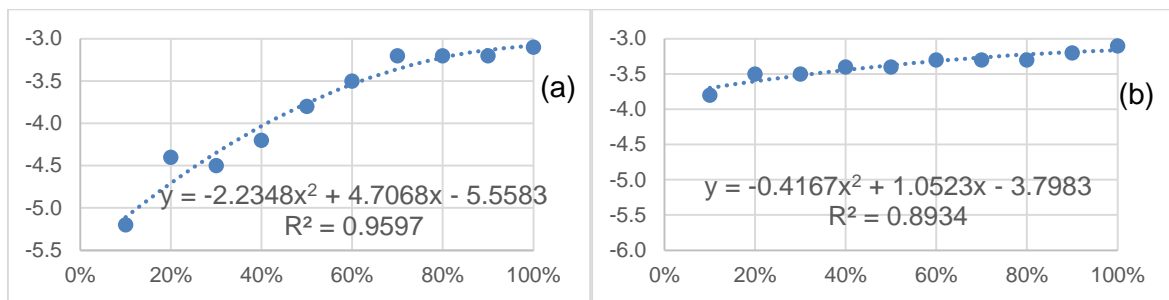


Figura 4 – Parâmetros para determinação do valor do coeficiente N estatístico de distribuição de probabilidade (a) parâmetro A1, (b) parâmetro A2.

Observa-se que o parâmetro A1 (Figura 4a) cresce até a abertura de 70% e a partir desta abertura o valor do parâmetro torna-se compatível com o valor esperado de uma distribuição normal, em torno de - 3,09. O parâmetro A2 (Figura 4b) tem o mesmo comportamento, com um crescimento mais suave.

4. CONCLUSÕES

A utilização do coeficiente N, juntamente com critérios de projeto de pressões médias e de flutuações, as quais não foram abordadas neste trabalho, permite identificar e prever regiões onde ocorram as pressões extremas a jusante de comportas, ainda na etapa de projeto, aumentando a eficiência do projeto destes sistemas.

Para as pequenas aberturas de comporta, a contração do jato a jusante da comporta fica mais próximo à base do conduto, impondo nesta região esforços de compressão na estrutura e ao teto esforços de tração. À medida que o jato tende a se expandir o movimento ascensional do escoamento passa a reduzir os efeitos de compressão e tração presentes, tendo como reflexo a mudança no comportamento do coeficiente N.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BATTISTON, C. C.; FINGER, G. R.; MEES, A. A. A.; CANELLAS, A. V. B.; DAI PRÁ, M.; MARQUES, M. G.; ENDRES, L. A. M. (2009). Análise do escoamento a jusante de válvulas de eclusas para o caso de pequenas aberturas. In **ANAIS DO V CONGRESSO DE INOVAÇÃO TECNOLÓGICA EM ENERGIA ELÉTRICA E I SEMINÁRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO SETOR ELÉTRICO**, Belém, Jun. 2009.
- HAINDL, K. (1957). Hydraulic Jump in Closed Conduit. Proc., **International Association Of Hydraulic Research**. Lisbon, Vol. 2.
- MARQUES, M. G.; DRAPEAU, J.; VERRETTE, J. L. (1997). Flutuação de pressão em um ressalto hidráulico. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. Vol. 2 n. 2. Jul/Dez, pp. 45-52.
- MEDRONHA, G. de A.; ABREU, A. S.; OLIVEIRA, F.; PALAURO, C.; MARQUES, M. G.; KEMPKA, M.; DAI PRÁ, M. (2013). Escoamentos a jusante de comportas tipo tainter invertida em condutos – Proposta de analogia com o ressalto hidráulico afogado. In **ANAIS DO XX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS**, Bento Gonçalves, Nov. 2013.
- SHARMA, H.R. (1976). Air-entrainment in high head gated conduits. Journal of Hydraulic Division. Nov.