

## DETERMINAÇÃO EXPERIMENTAL DO COEFICIENTE DE PERDA DE CARGA (k) EM COMPORTAS TIPO SEGMENTO INVERTIDO

JULIANO PACHECO DOS SANTOS<sup>1</sup>; TUANE DE OLIVEIRA DUTRA<sup>2</sup>; ALINE SAUPE ABREU<sup>2</sup>; GABRIELA DE AZEVEDO MEDRONHA<sup>2</sup>; MAURICIO DAÍ PRÁ<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Pelotas – emaildojuliano1@gmail.com

<sup>2</sup>Universidade Federal de Pelotas – tuanehidrica@gmail.com; alsaupe@gmail.com; ggabbymed@gmail.com

<sup>3</sup>Universidade Federal de Pelotas – mdaipra@gmail.com

### 1. INTRODUÇÃO

As comportas do tipo segmento invertido são mais intensamente utilizadas em eclusas de navegação de alta queda, onde se situam no interior dos aquedutos, que são estruturas que transportam a água para dentro e para fora da câmara da eclusa. Essas comportas são instaladas na posição invertida para cessar a entrada de ar que ocorria pelo poço da mesma, trazendo resultados não satisfatórios quando utilizadas em eclusas de alta queda. A perda de carga é um fator que possui relação direta com o custo da obra e com aspectos técnicos dos aquedutos, porque quanto menor for a área do aqueduto mais elevada é a perda de carga e conseqüentemente mais demorado se torna o processo de enchimento e esgotamento, sendo assim a eficiência da eclusa em relação ao tráfego diminui. Porém um aumento da área do aqueduto acarreta em custos mais elevados possivelmente em decorrência de maiores volumes de escavação. Sendo a perda de carga um fator preponderante para o projeto de uma eclusa de navegação este trabalho tem como objeto determinar o coeficiente de perda de carga (k), que é um valor que determina a perda de carga cinética oriunda das singularidades presentes no sistema, sendo a singularidade desta análise a comporta de segmento invertido.

### 2. METODOLOGIA

Os ensaios para a coleta dos dados foram realizados no Laboratório de Hidráulica do curso de Engenharia Hídrica da Universidade Federal de Pelotas em um modelo físico de um aqueduto de escala 1:32, considerando um protótipo de aqueduto com área quadrada de dimensões 4X4 m (Figura. 1).



Figura 1 – Modelo de comporta utilizado no trabalho.

Este modelo possui dois reservatórios, sendo um de montante e outro de jusante, um conjunto motor bomba de potência de 10 cv e um sistema de circulação de água. O sistema de circulação consiste em uma tubulação de PVC e está dividido em dois circuitos que estão dispostos paralelamente um em relação ao outro, sendo um utilizado para baixas vazões (diâmetro de 50 mm) e outro para vazões mais elevadas (diâmetro de 160 mm). A estrutura do modelo esta baseada em dois modelos físicos iguais já existentes no IPH-UFRGS (Instituto de Pesquisas Hidráulicas) e em Furnas Centrais Elétricas. O modelo aqui apresentado é 2 vezes menor que do IPH e 1,5 vezes menor que o de FURNAS.

Foram feitas 30 leituras de nível a montante e a jusante da comporta. Os dados obtidos são resultados de aberturas variadas da comporta, sendo esta variação da abertura de 10 a 100 % da abertura total. Para cada abertura da comporta foram feitas 3 leituras de nível, sendo cada uma dessas leituras realizadas com vazões distintas. Com um inversor de frequência instalado no quadro elétrico de comando da bomba, foi possível variar as vazões, sendo as vazões simuladas : 7,6; 5,5 e 3,4 L/s (para 10%), 15,5; 10,65 e 5,8 L/s (para 20%) 24,3, 15,8 e 7,3 L/s (para 30%) e 30; 20 e 10 L/s (para as aberturas de 40 a 100%) esses valores de vazão são utilizados por outros modelos semelhante ao utilizado neste estudo, possibilitando a comparação direta de resultados Com piezômetros, instalados na parte inferior do aqueduto, um a montante e outro a jusante da comporta (Figura 2 A) foi possível, por meio de uma régua milimétrica instalada ao lado dos mesmos (Figura 2 B), fazer a leitura dos níveis de montante e jusante. Por meio da subtração dos níveis de montante e jusante foi possível calcular a perda de carga que o fluxo sofre ao passar pela comporta e por consequência encontrar o k pela equação 1.

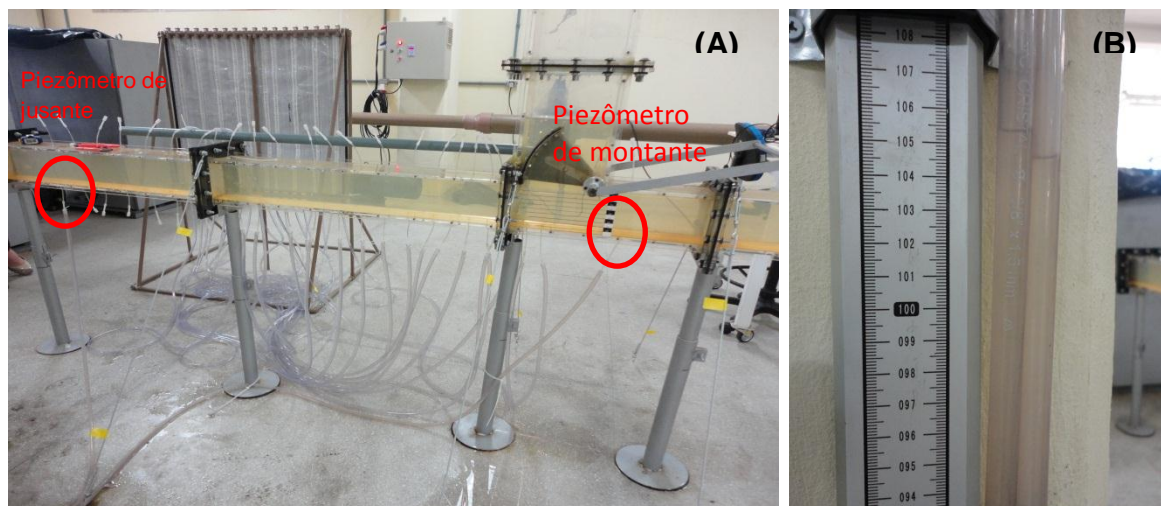


Figura 2: (A) Piezômetro de montante e jusante (B) Piezômetros como régua milimétrica.

$$\Delta h_p = k \cdot \frac{V^2}{2g} \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

$\Delta h_p$  = perda de carga singular (m.c.a.);

k = coeficiente de perda de carga singular;

g = aceleração devida à gravidade (m/s<sup>2</sup>);

V = velocidade média do escoamento (m/s).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O estudo realizado por Battiston (2008) sobre o coeficiente de perda de carga ( $k$ ) em relação à abertura da comporta reuniu vários outros estudos sobre o mesmo tema, desenvolvidos por outros autores, os quais estão demonstrados em um gráfico que pode ser visualizado na figura 3. Os resultados em azul no gráfico correspondem aos resultados obtidos no modelo físico localizado na UFPel, os quais obtiveram a mesma tendência dos demais resultados.

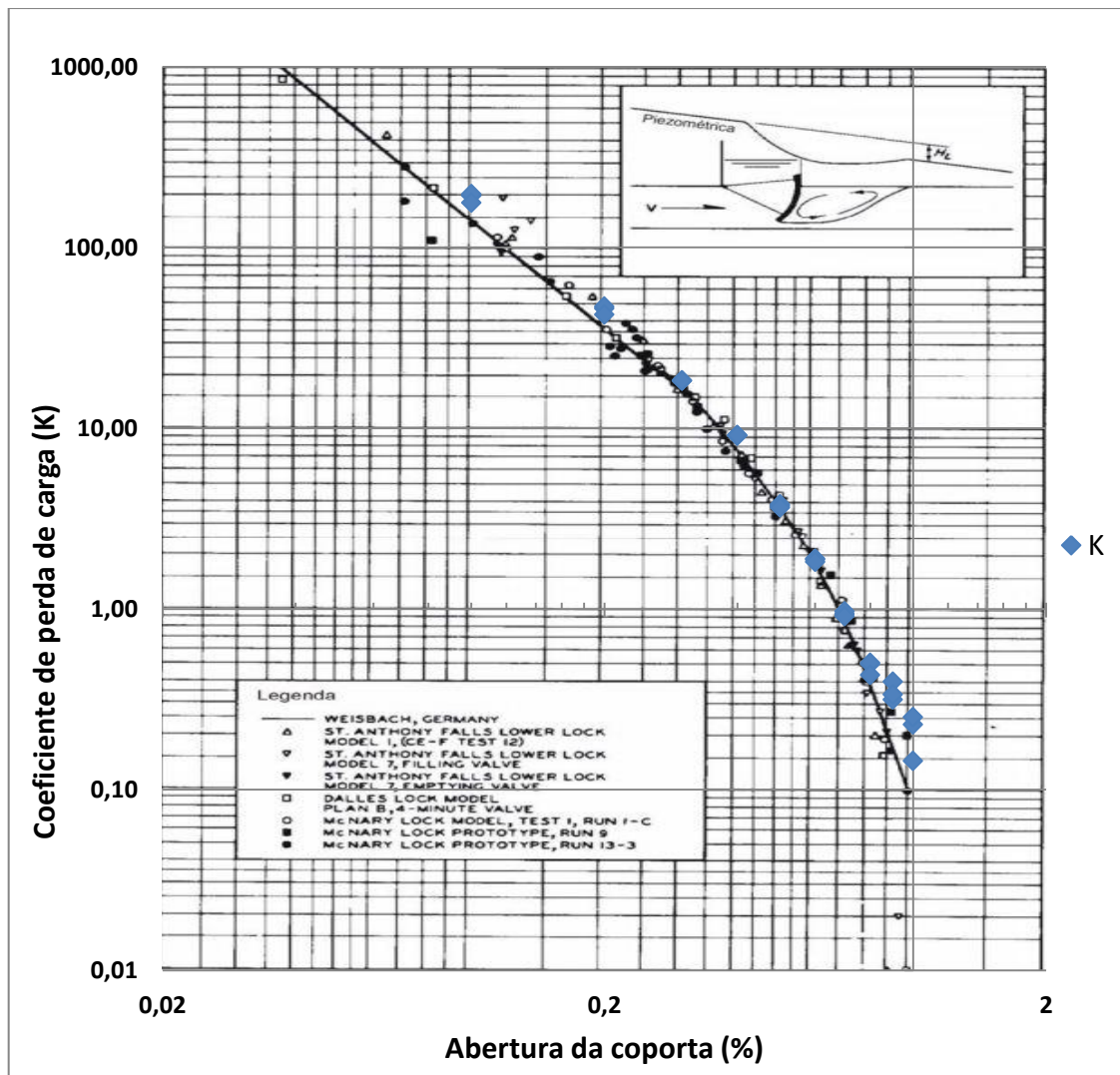


Figura 3: Coeficiente de perda de carga localizada para comportas segmento invertidas.  
Fonte: (BATTISTON, 1998 apud USACE, 1975).

Percebe-se pela figura 3 que os resultados referente aos diferentes estudos foram bem próximos, sendo encontrado um valor de  $k$  maior para as menores aberturas de comporta. Isso ocorre porque quanto menor a abertura maior é a oposição feita a passagem do fluxo, correspondendo a uma maior perda de carga.

Nota-se que a diminuição do valor de  $k$  ocorre proporcionalmente com o aumento da abertura da comporta, atingindo o seu valor mínimo com a abertura total da mesma. O valor de  $k$  não é nulo nesta área, porque mesmo totalmente aberta, sua instalação no aqueduto provoca irregularidades na sessão normal do mesmo, provocando uma pequena perda de carga.

Os resultados obtidos demonstram que o valor de  $k$  para as comportas invertidas não varia de forma significativa de um estudo para o outro. As variações ocorridas são em decorrência de diferenças de escala nos modelos e

ao fato de as comportas não serem feitas pelo mesmo fabricante, acarretando uma pequena diferença de geometria. Outro fator que interfere na determinação do  $k$  é a precisão do grau de abertura da comporta, pois uma pequena variação pode interferir no resultado final.

Após determinação do  $k$  o mesmo não varia, sendo que ele é função da área do aqueduto que não muda no decorrer do tempo. Ao percorrer o aqueduto o fluxo sofre uma perda de carga linear, ao atingir a área da comporta o fluxo é submetido a uma perda de carga localizada. Se o valor de  $k$  for elevado resultará em um aumento pontual da perda de carga, produzindo a uma variação brusca de pressão que pode ser uma das principais causas do fenômeno de cavitação.

A cavitação é o maior inconveniente que pode ocorrer em uma eclusa, podendo, por exemplo, causar erosão e desgaste nas comportas e nos aquedutos. Os efeitos decorrentes da perda de carga podem ser mitigados, por meio da velocidade das manobras das comportas, que segundo Alfredini (2005, p.655), é a base para todos os processos hidráulicos que ocorrem na operação de uma eclusa e controlam o desenvolvimento da cavitação.

#### 4. CONCLUSÕES

Frente a indiscutível importância do coeficiente de perda de carga ( $k$ ) no cálculo da perda de carga, este estudo concluiu que o valor de " $k$ " da comporta de segmento invertido é maior quanto menor for a abertura da comporta. Os resultados obtidos são coerentes apresentando uma tendência de dados bastante similar aos presentes na bibliografia.

Todos os estudos analisados neste trabalho demonstraram pouca variação do valor de  $k$ . Estas variações dependem diretamente da precisão do posicionamento da comporta, principalmente em aberturas menores que é onde os dados apresentam a maior dispersão, da geometria e das diferenças de escala entre os modelos.

#### 5. AGRADECIMENTOS

À FINEP, pelo auxílio financeiro através do projeto "Análise dos Esforços Hidrodinâmicos a Jusante de Válvulas de Enchimento/Esvaziamento de Eclusas de Navegação" no âmbito do CT-Aquaviário. Ao CNPq pela concessão de bolsas.

#### 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALFREDINI, Paolo. **Obras e gestão de portos e costas. In: Capítulo 24. Eclusas de Navegação e Capacidade de Tráfego em Hidrovias.** São Paulo: Edgard Blucher, 2005. P. 623-657.

BATTISTON, Cristiane Collet. **Estudo do escoamento a jusante de válvulas de eclusas, visando à supressão de cavitação sem adição de ar.** 2008. 67f. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

SANTOS, Sergio Rocha. **Projeto Hidráulico de Eclusas de Alta Queda.** 1998. 209 f. Tese para obtenção de Livre Docência – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Universidade de São Paulo, São Paulo.