

CARACTERIZAÇÃO DAS PRESSÕES MÉDIAS ATUANTES NA CALHA DE VERTEDOUROS EM DEGRAUS: O EFEITO DE ESCALA ENVOLVIDO NO EMPREGO DE MODELOS FÍSICOS REDUZIDOS

BRUNA MOREIRA SELL¹;
MAURICIO DAI PRÁ²

¹Universidade Federal de Pelotas – brunamoreirasell@gmail.com

²Universidade Federal de Pelotas – mdajpra@gmail.com

1. INTRODUÇÃO

Vertedouros são dispositivos do sistema extravasor de vital importância quanto à segurança de barragens. Tais dispositivos são acionados em condições de eventos críticos de cheia, descarregando o excesso de água, a fim de garantir a passagem das águas excedentes de modo seguro e conservar o nível de água nos reservatórios (ROSELLI, 2012).

Dentre as diversas formas de classificação dos vertedouros, como as apresentadas em Porto (2006) e em Baptista e Lara (2010), encontram-se os vertedouros escalonados. A utilização de vertedouros em degraus ocorre desde a antiguidade. Entretanto, observa-se uma forte popularização destas estruturas no meio técnico. Segundo Borja (2009), o advento da tecnologia do concreto compactado a rolo (CCR), empregada na execução de barragens, é a grande facilitadora da construção de vertedouros com calha em degraus. A forma do processo de lançamento do CCR facilita o acabamento da superfície em degraus e gera economia na obra (CONTERATO, 2014).

Vertedouros em degraus aliam a sua função essencial à solução do principal problema identificado na operação do sistema extravasor: a energia específica residual na base do vertedouro. Boes e Hager (2003) apontam que a macrorrugosidade dos degraus provoca uma significativa dissipação de energia, que por consequência implica em redução da dimensão necessária da estrutura da bacia de dissipação, sendo este seu maior atrativo.

Deve-se ressaltar, no entanto, que nem sempre é possível adotar a técnica da calha escalonada, visto que, para vazões específicas elevadas, a dissipação de energia passa a ser menos significativa e o risco potencial de cavitação aumenta (SIMÕES, 2008). Desta forma, torna-se imprescindível conhecer as pressões que atuam ao longo do perfil da calha escalonada do vertedouro, e assim correlacioná-las com os aspectos de resistência do concreto.

Com o intuito de buscar a otimização de projetos de vertedouros em degraus, estudos em modelos físicos em escala reduzida são amplamente empregados em projetos de estruturas hidráulicas. O objetivo do presente estudo é identificar o máximo fator de redução aplicável em estruturas com calha escalonada, de modo a conservar as características hidráulicas do escoamento e que os efeitos de escala sejam mínimos, para, desta maneira, sugerir um novo balizador para pesquisas futuras no tocante a análise do campo de pressões atuantes em vertedouros em degraus.

2. METODOLOGIA

A base metodológica deste estudo consistiu em analisar as pressões médias atuantes na calha escalonada em três modelos físicos reduzidos de vertedouro em degraus hipotético, em diferentes escalas.

Matos e Quintela (1995) apud Gomes (2006) sugeriram um conceito relevante quanto a orientação da dimensão de degrau ótima, que compreende a faixa usualmente empregada de 0,6m a 0,9m. O protótipo hipotético tem altura dos degraus de 0,9m. Com base nesta definição, foram determinadas as escalas empregadas em cada modelo.

Os três modelos têm em comum características a declividade da calha de 1V:0,75H, ogiva do tipo Creager e alimentação por um sistema de água com bombeamento. O modelo LAHE, com escala 1:10, está inserido no Laboratório de Hidráulica Experimental de FURNAS Centrais Elétricas. Possui degraus com espelho de 0,09m, patamar de 0,675m e calha com largura de 1,15m.

O modelo LOH II está alocado no Laboratório de Obras Hidráulicas do Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH), da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), e tem escala 1:15. Seus degraus apresentam espelhos com 0,06m, patamar de 0,045m e a calha com largura de 0,40m.

Já o modelo LAHE II apresenta escala 1:30, espelho com 0,03m, patamar de 0,0225m e largura de calha com 1,15m.

O critério adotado para verificar os efeitos de escala foi compatibilizar as vazões ensaiadas nos modelos físicos, seguindo o critério de semelhança de Froude, a partir do qual a obtenção da vazão volumétrica correspondente em protótipo (Q_p), em cada ensaio, se deu através do emprego da equação 1.

$$\frac{Q_p}{Q_m} = \lambda^{\frac{5}{2}} \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

λ - relação entre comprimentos no protótipo e comprimentos no modelo.

Foram coletados dados de carga de pressão média, por meio de transdutores de pressão. As tomadas de pressão foram localizadas nas quinas dos degraus, tanto na face do espelho quanto na do patamar. Os dados adquiridos por cada modelo, nos mesmos degraus, foram posteriormente convertidos para a escala de protótipo através da lei de semelhança de Froude.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos neste estudo são apresentados nas figuras 2 e 3, que compilam os dados, em escala de protótipo, de carga de pressão ao longo da calha escalonada para os diferentes modelos, no patamar e espelho.

Ao analisar a figura 2, enfatizando os degraus mais próximos da crista, nota-se que não é possível apontar um padrão característico entre os modelos. Contudo, entre as vazões constata-se que os maiores valores de carga de pressão foram obtidos nas maiores vazões.

Especificamente no degrau 2, da figura 2 (patamar), os dados do modelo LAHE suavizaram as cargas de pressão média, se comparado com os demais modelos. Neste mesmo degrau, os dados do modelo LOH II e LAHE II apresentaram similaridade no comportamento, com diferenças inferiores a 0,5m.c.a., nas vazões equivalentes. Já no degrau 4 o modelo LAHE II acentuou os valores de carga de pressão média.

A partir do degrau 9 fica evidente que as pressões tem o mesmo padrão de comportamento, sendo que o modelo LAHE II tende a superestimar os valores de carga de pressão média para as maiores vazões e o modelo LOH II tem propensão a indicar valores de pressão média menores, principalmente para pequenas vazões. Os degraus 25 e 29 são excessões.

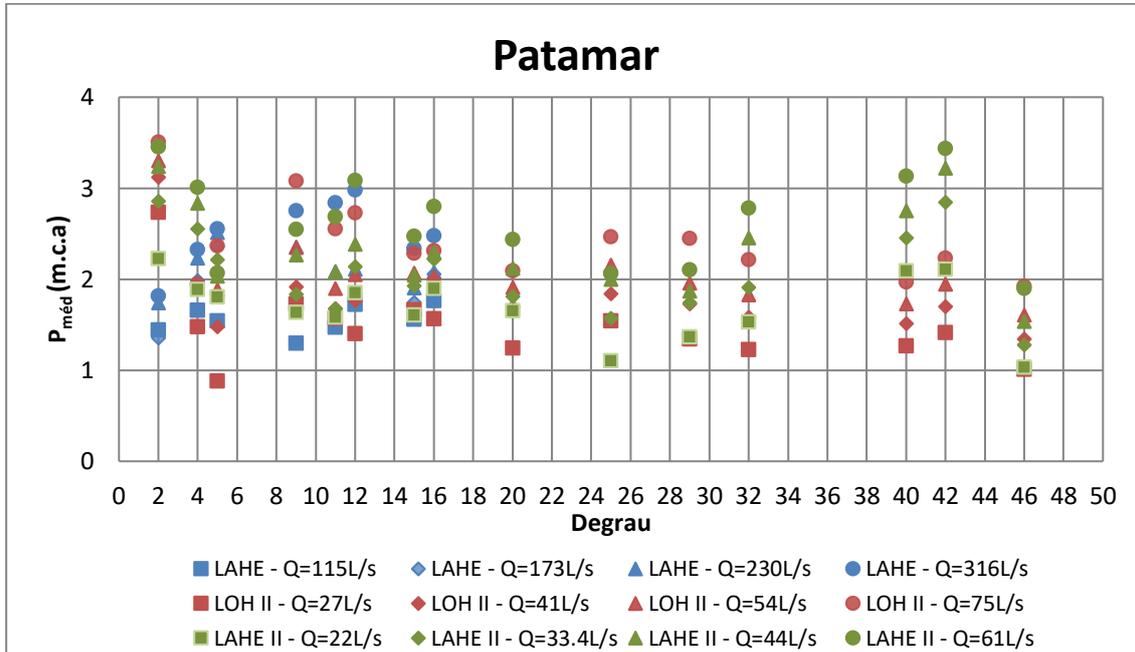


Figura 1 - Comportamento da carga de pressão média, obtidas no patamar dos modelos reduzidos

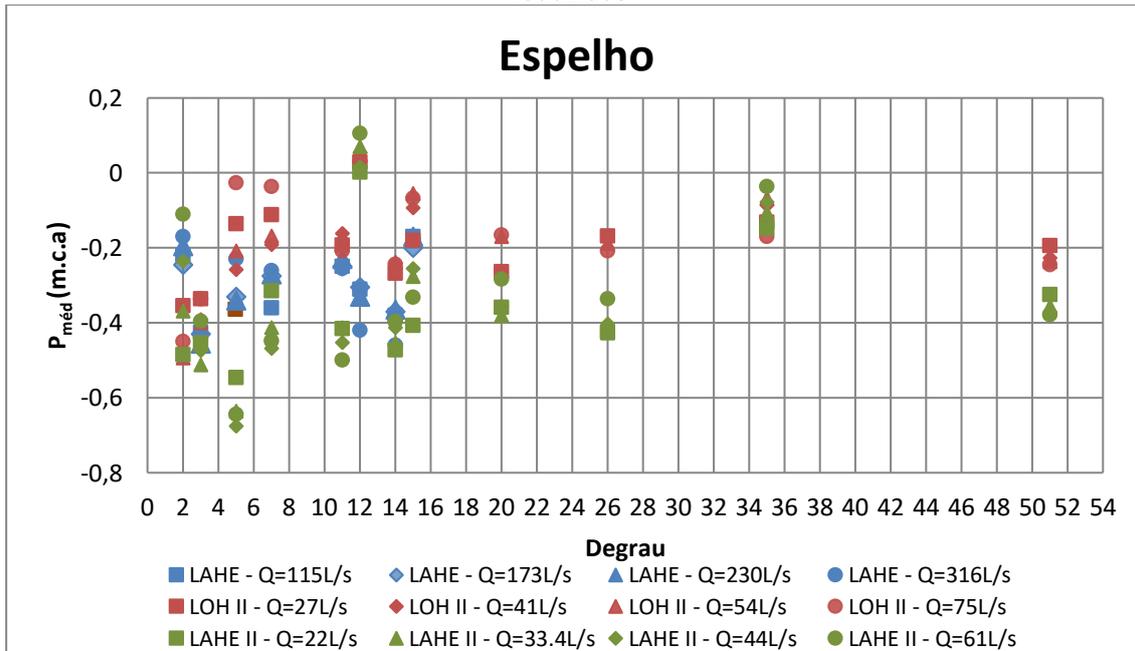


Figura 2 - Comportamento da carga de pressão média, obtidas no espelho dos modelos reduzidos.

Os dados de pressão obtidos no espelho dos degraus (figura 3) mostram que o modelo LAHE II apresenta valores de pressão média menores e mais negativas, para todos os degraus, exceto nos degrau 2 e 12. Em oposição, o modelo LOH II apresenta valores de carga de pressão mais atenuados.

Nos espelhos dos degraus, o modelo LAHE identificou valores intermediários entre aqueles obtidos nos demais modelos. Contudo, no degrau 12 os valores de pressão média diferiram consideravelmente dos demais modelos.

4. CONCLUSÕES

Dentre as análises dos resultados até então obtidos observa-se que na região não aerada, mais próxima da crista, o comportamento das cargas de pressão é mais disperso. Enquanto que ao longo da calha, assim que o escoamento condiciona-se ao regime uniforme, o comportamento passa a ter definições mais claras.

É razoável, preliminarmente, afirmar que o modelo LOH II apresenta resultados mais conservadores, enquanto que o modelo LAHE II traz resultados mais extremos, a favor da segurança. Contudo, até o momento, não é possível identificar os efeitos de escala envolvidos entre os modelos estudados, assim como eleger o fator de escala recomendável para a avaliação do campo de pressão em modelos de vertedouros em degraus. Para tanto, recomenda-se que novas análises sejam realizadas, juntamente com aplicações estatísticas.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BOES, R. M.; HAGER, W. H. Hydraulic Design of Stepped Spillways. **Journal of Hydraulic Engineering**, ASCE, New York, v. 129, n. 9, p. 671-679, 2003.

BORJA, João Gerdau de. **Análise das características macroturbulentas ao longo de uma bacia de dissipação por ressalto hidráulica à jusante de um vertedouro em degraus**. 2009. 82 f. TCC (Graduação em Engenharia Civil) - Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

CONTERATO, Eliane. **Determinação de Critérios de Dimensionamento de Soleira Terminal em Bacia de Dissipação a Jusante de Vertedouro em Degraus**. 2014. 156 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

GOMES, Jaime Federici. **Campo de Pressões: Condições de Incipiência à Cavitação em Vertedouros em Degraus com Declividade 1V:0,75H**. 2006. 229 f. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

ROSELLI, Rafael Gustavo. **Extravasor Labirinto em Aproveitamentos Hidrelétricos**. 2012. 157 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica) – Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Escola Politécnica da Universidade Federal de São Paulo, São Paulo, 2012.

SIMÕES, André Luiz Andrade. **Considerações sobre a hidráulica de vertedores em degraus: Metodologias adimensionais para pré-dimensionamento**. 2008. 258 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Sanitária) - Escola de Engenharia, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.