

XXVIII CONGRESO LATINOAMERICANO DE HIDRÁULICA
BUENOS AIRES, ARGENTINA, SEPTIEMBRE DE 2018

PRESSÕES ATUANTES EM BACIA DE DISSIPAÇÃO COM SOLEIRA
TERMINAL

Eliane Conterato¹, Carolina Kuhn Novakoski¹, Maurício Dai Prá¹, Luiz Augusto Magalhães Endres¹, Daniela Guzzon Sanagiotto¹, Guilherme Santana Castiglio¹, Rute Ferla¹, Marcelo Giulian Marques¹, Aline Saupe Abreu²

¹Universidade Federal do Rio Grande do Sul, ²Universidade Federal de Pelotas, Brasil, conterato.eliane@gmail.com, carolkn04@gmail.com, mdaipra@gmail.com, endres@ufrgs.br, dsanagiotto@ufrgs.br, guilhermecastiglio@gmail.com, ruteferla@hotmail.com, mmarques@iph.ufrgs.br, alsaupe@gmail.com

RESUMO:

A inserção de soleira terminal influencia na distribuição de pressões e velocidades na bacia de dissipação e a jusante da mesma, podendo essa influência ser positiva, do ponto de vista de segurança e economia da obra, se a soleira estiver corretamente posicionada. Na bibliografia existente são abordadas de forma escassa metodologias para dimensionamento de soleiras, principalmente considerando a distribuição de pressões instantâneas. A maioria das metodologias se baseia em informações obtidas através de análises visuais do escoamento e algumas em pressões médias. Este estudo considerou a distribuição de pressões instantâneas no fundo da bacia de dissipação a jusante de vertedouros em degraus para diferentes tamanhos de soleira triangular com declividade 1H:1V. Como resultado apresenta os dados de pressões médias e suas flutuações em comparação com bacia do tipo I (sem soleira). Verificou-se que a inserção da soleira terminal causa um afogamento artificial que minimiza a amplitude das flutuações dentro da bacia. O lançamento do escoamento causa diminuição das pressões junto ao pé da soleira e um leve aumento no impacto do escoamento.

ABSTRACT:

The insertion of the end sill influences the distribution of pressures and velocities in the dissipation basin and downstream from it, and this influence can be positive, from the point of view of safety and economy of the construction, if the end sill is correctly positioned. In the existing bibliography, the methodologies for the dimensioning of the end sill are approached in a scarce way, especially considering the distribution of instantaneous pressures. The majority of the methodologies are based in information obtained through visual analyzes of the flow and average pressures. This study considered the distribution of instantaneous pressures at the bottom of the dissipation basin located downstream of stepped spillways for different sizes of triangular end sill with 1H:1V declivity. As a result presents the data of average pressures and its fluctuations in comparison with basin type I (without end sill). It was verified that the insertion of the end sill causes an artificial drowning that minimizes the amplitude of the fluctuations inside the basin. The launch of the flow causes a decrease in the pressures at the foot of the end sill and a slight increase in the impact of the flow.

PALAVRAS CHAVES: bacia de dissipação; soleira terminal; ressalto hidráulico.

INTRODUÇÃO

Os vertedouros em degraus são utilizados com objetivo de melhorar a eficiência na dissipação de energia, reduzindo os esforços na bacia a jusante já que podem dissipar grande parte da energia durante a queda do escoamento, ainda na calha. A utilização do conjunto vertedouro em degraus e bacia com elementos pode equilibrar de forma vantajosa a distribuição de pressões e suas variações ao longo da estrutura, tornando-se uma eficiente estrutura de dissipação, além de poder, em muitos casos, otimizar os custos por diminuir o comprimento e elevar a cota de fundo da bacia.

Bacias de dissipação são estruturas utilizadas com frequência a jusante de vertedouros para controlar e dissipar a energia, protegendo assim o leito do rio e o próprio vertedouro. Existem diferentes configurações de bacias incluindo elementos. Conforme Elevatorski (1959), pode-se citar os blocos de calha (chute blocks), blocos dispersores na bacia (baffle piers) e soleiras terminais (end sills). Esses elementos são geralmente instalados para melhorar o desempenho da bacia de dissipação e otimizar os custos, já que, com uma maior eficiência, a tendência é diminuir o comprimento da estrutura. A Figura 1 mostra um exemplo de bacia de dissipação com blocos dispersores, blocos de calha e soleira terminal, que são alguns dos elementos utilizados.

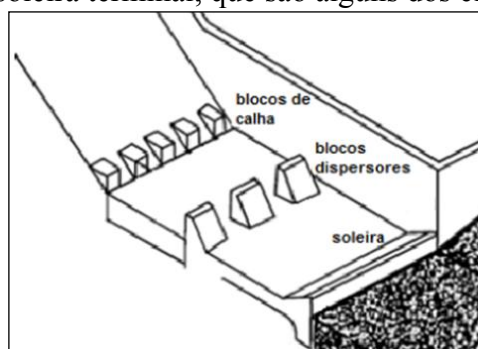


Figura 1.- Exemplo de elementos em bacia de dissipação (adaptado de Peterka, 1957)

Em obras de médio e grande porte é comum a utilização de soleira posicionada na extremidade de jusante da bacia de dissipação, chamada soleira terminal, que pode ser dentada ou contínua. Já os blocos, experiências mostram que, tanto posicionados no encontro da calha ou no interior da bacia, podem causar problemas de erosão e/ou cavitação na laje de fundo da estrutura devido às altas velocidades do escoamento. A Figura 2 mostra exemplo de estrutura que sofreu desgaste nessas condições.



Figura 2. - Erosão no pé da barragem de Porto Colômbia, MG, causada por cavitação devido a altas velocidades do escoamento. (fonte: ELETROBRAS FURNAS)

Existem alguns estudos buscando o entendimento do escoamento em bacia com diferentes tipos de elementos através de análise visual e/ou pressões médias, podendo-se citar entre eles Peterka (1957), Vischer e Hager (1995), Hager (1992), Tiwari et al (2011). Alikani et al. (2010) desenvolveram estudos com soleiras retangulares contínuas no final da bacia e verificaram que a

inserção da soleira pode reduzir o comprimento da bacia em até 30%, em comparação com bacia do tipo I.

Cardoso (2006) desenvolveu estudos em bacia de dissipação do tipo I e com elementos (blocos na bacia e soleira terminal em conjunto), ambos a jusante de vertedouro com degraus. O autor analisou o comportamento de pressões médias adquiridas através de piezômetros instalados na base da bacia, além das alturas do escoamento para vazões específicas variando de 0,08 a 0,2 m³/s/m e números de Froude na entrada do ressalto variando de 5,0 a 6,5. Entre as conclusões, o autor destaca que a inserção de elementos conduz a uma diminuição de 40 a 60% no comprimento do ressalto em relação ao ressalto clássico (formado em bacia tipo I) e que, no trecho inicial do ressalto, ocasiona um aumento de altura do escoamento.

Meireles et al. (2010) realizaram estudos em bacias com elementos (blocos dispersores no pé do vertedouro, blocos dispersores na bacia e soleiras terminais) a jusante de vertedouros em degraus. Os autores apresentaram os dados de pressões médias em comparação com dados coletados em bacia sem soleira (bacia tipo I) por Meireles (2005), conforme Figura 3.

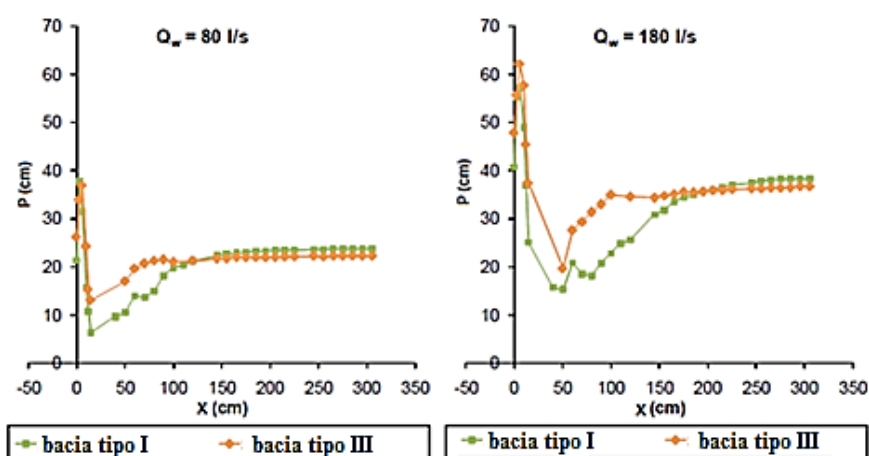


Figura 3. - Comparação entre os resultados obtidos no estudo de Meireles et al. (2010) e Meireles et al. (2005), bacia com elementos e bacia tipo I, respectivamente (fonte: Meireles et al., 2010)

Os resultados obtidos em bacia com elementos por estes autores indicaram pressões maiores ao longo do ressalto. No entanto o ressalto nessa situação se estabiliza muito mais rápido que na bacia tipo I. Os autores também concluíram que a influência dos blocos de calha é irrelevante, não alterando o comportamento das pressões nem do nível de água se comparados com bacias apenas com blocos na bacia e soleira terminal.

Outro trabalho publicado sobre a influência de elementos a jusante de vertedouro em degraus é de Bung et al. (2012). A calha da estrutura em degraus também possui declividade 1V:0,75H. Os autores utilizaram blocos dispersores na bacia e soleira terminal. Em uma das configurações os autores ainda acrescentaram blocos no pé do vertedouro visando analisar a influência dos mesmos quando instalados em conjunto com demais elementos.

Os autores apresentam dados de pressões médias, no centro da bacia, para vazões específicas variando entre 0,08 e 0,20 m³/s/m. As análises foram realizadas com diferentes níveis de jusante gerando ressalto de diferentes perfis (afogado, livre e iniciando a jusante do pé do vertedouro). Analisando os resultados de pressões os autores concluíram que o uso de blocos de calha (blocos no pé do vertedouro) é dispensável em estruturas com vertedouro em degraus.

Neste contexto, este estudo busca contribuir na caracterização do escoamento em bacias de dissipação com soleira terminal a jusante de vertedouros em degraus.

METODOLOGIA

O presente trabalho apresenta resultados obtidos em estudo experimental da bacia de dissipação com soleira terminal a jusante de vertedouro em degraus. Os resultados foram baseados

na análise de pressões instantâneas coletadas no fundo da bacia através de transdutores piezo-resistivos de faixa de -1,5 a +2,5 m.c.a. com precisão de 0,25% e transdutores piezo-resistivos de faixa de -0,5 a +1,5 m.c.a. com precisão de 0,50%. O modelo experimental é apresentado na Figura 4.



altura da calha (H) = 2,45 m;
 declividade da calha = 1(V) : 0,75 (H);
 calha com 33 degraus com 0,06 m de altura;
 comprimento do canal de jusante do vertedouro = 5 m;
 largura do canal = 0,40 m.

Figura 4.- Modelo utilizado e suas principais características.

A tabela 1 apresenta as principais características dos ensaios que foram conduzidos.

Tabela 1.- Vazões ensaiadas e características

q (m ³ /s/m)	Y_1 (m)	v_1 (m/s)	Fr_1
0,100	0,026	3,784	7,44
0,150	0,036	4,154	6,98
0,200	0,044	4,540	6,91
0,250	0,054	4,617	6,34
0,275	0,060	4,582	5,97

Foram estudadas diferentes alturas de soleira: 0,24; 0,18; 0,12 e 0,10 m. As soleiras foram posicionadas na posição 2/3H sendo H a altura da calha do vertedouro. A Figura 5 mostra as diferentes alturas utilizadas e o ângulo α corresponde a 45° (declividade 1H:1V).

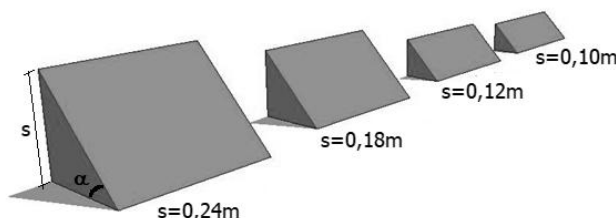


Figura 5.- Esquema das diferentes alturas de soleiras utilizadas (adaptado de Conterato, 2014).

A altura rápida (Y_1) citada na tabela 1 foi calculada em função da altura lenta para cada vazão, que foi medida através de piezômetro instalado a jusante do ressalto, em ensaio preliminar com bacia sem elementos. Mais detalhes sobre a metodologia empregada neste trabalho podem ser consultados em Conterato (2014).

RESULTADOS

Foram analisados dados de pressões médias e desvio padrão das amostras coletadas em bacias com soleiras de diferentes alturas na posição 2/3H.

Para verificação da influência da soleira no escoamento, os ensaios foram realizados considerando o nível de jusante equivalente à altura lenta do ressalto livre. A Figura 6 mostra o escoamento para uma vazão de 80 l/s ($q=0,2\text{m}^3/\text{s}/\text{m}$) em bacia com soleira de 0,12 m de altura (a) e em bacia do tipo I (b).

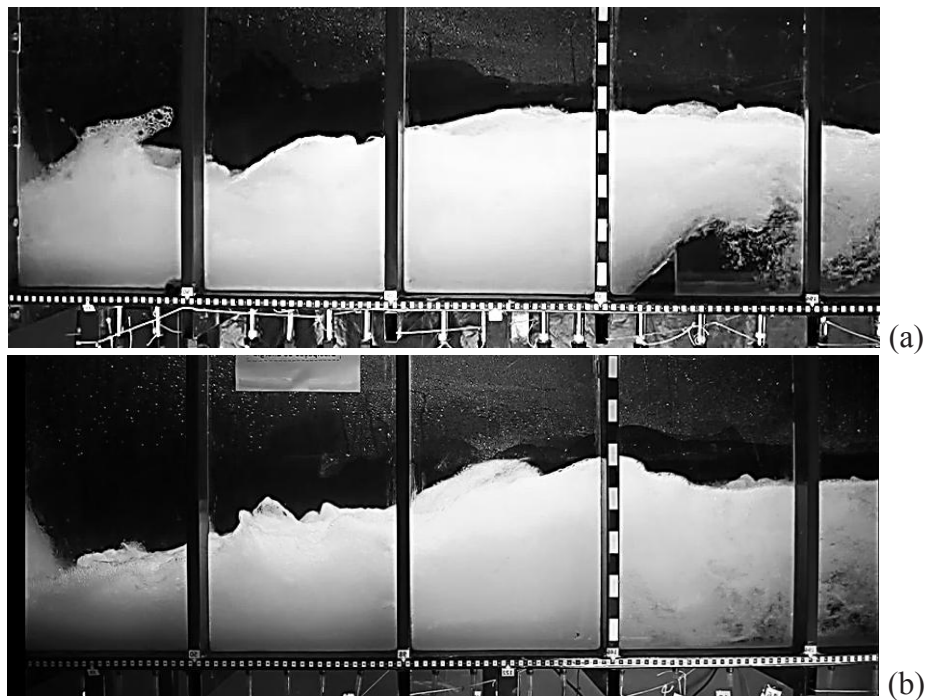


Figura 6.- Imagens do escoamento na bacia: (a) com soleira de 0,12 m e (b) bacia tipo I, ambos para vazão de 80 l/s ($Fr=6,91$). – escoamento da esquerda para a direita

Observando a figura é possível perceber que o nível na bacia aumenta com a inserção da soleira. Também é visível que a mesma causa uma perturbação a jusante, onde é criada uma zona de recirculação, onde podem ocorrer variações maiores de pressão em relação ao fundo da bacia tipo I.

O comportamento das pressões médias coletadas no fundo da bacia para cada uma das situações da figura anterior é apresentado na Figura 7. No gráfico é possível visualizar que a bacia com soleira apresenta um aumento nos valores de pressão média em relação à bacia tipo I. Esse aumento é mais significativo próximo à soleira, onde é visualizado um pico de pressão, provavelmente devido ao impacto do escoamento na soleira gerando uma elevação do nível d'água naquele ponto. A jusante da soleira se percebe que as pressões em bacias com soleira ficam levemente abaixo em relação às pressões em bacia tipo I. Essa queda deve ser devido à recirculação causada no pé da soleira, conforme pode ser visualizado na imagem do escoamento.

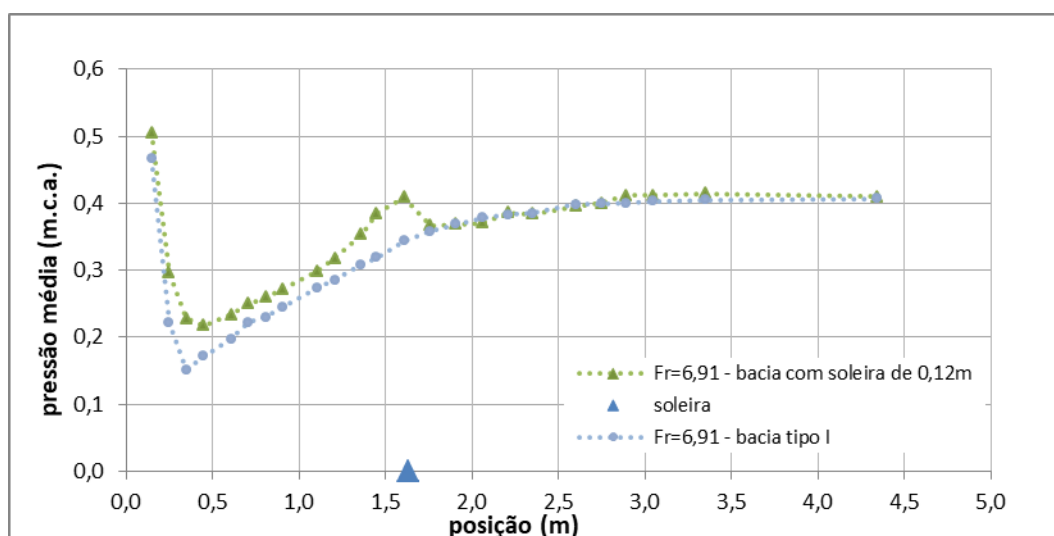


Figura 7.- Distribuição longitudinal das alturas de pressões médias junto ao fundo em bacia do tipo I e bacia com soleira de 0,12 m, para vazão de 80 l/s ($Fr=6,91$).

Na Figura 8 são apresentados os resultados para as flutuações dos valores de pressão no fundo da bacia nas mesmas condições apresentadas anteriormente, para bacia tipo I e bacia com soleira de 0,12 m. É possível observar que as flutuações dentro da bacia diminuem com a inserção da soleira. A jusante da soleira se observa um rebaixamento dos valores e logo em seguida um leve pico, provavelmente ocasionado pelo impacto do escoamento lançado pela soleira.

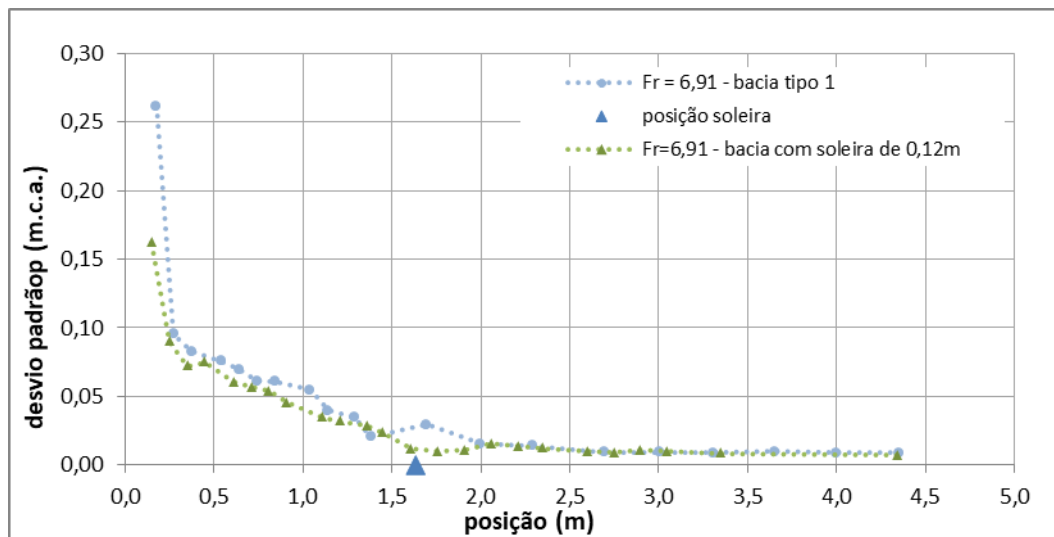


Figura 8.- Flutuações dos valores de pressão junto ao fundo em bacia do tipo I e bacia com soleira de 0,12 m, para vazão de 80 l/s ($Fr=6,91$).

A Figura 9 e a Figura 10 apresentam valores de pressões médias e flutuações dos valores de pressão adimensionalizados (conforme equação 1 e equação 2 proposta por Marques et al (1997)), respectivamente para as quatro diferentes alturas de soleiras utilizadas na posição $2/3H$.

$$y_p = \frac{(P - Y_1)}{(Y_2 - Y_1)} \cdot \frac{1}{S} \quad [1]$$

$$\sigma_p = \left(\frac{\sigma}{\Delta H} \right) \cdot \left(\frac{Y_2}{Y_1} \right) \quad [2]$$

$$x_p = \frac{x}{(Y_2 - Y_1)} \quad [3]$$

Onde:

y_p = pressão adimensionalizada;

P = pressão média (m.c.a);

Y_1 = altura conjugada rápida no início do ressalto, para $S=1,0$ (m);

Y_2 = altura conjugada lenta no final do ressalto, para $S = 1,0$ (m);

S = submergência;

σ = desvio padrão da amostra de pressão em um determinado ponto (m);

σ_p = resultado adimensionalizado das amostras de desvio padrão;

ΔH = perda de carga no ressalto (m);

x_p = distância adimensionalizada;

x = distância a partir do pé do vertedouro (início do ressalto) (m).

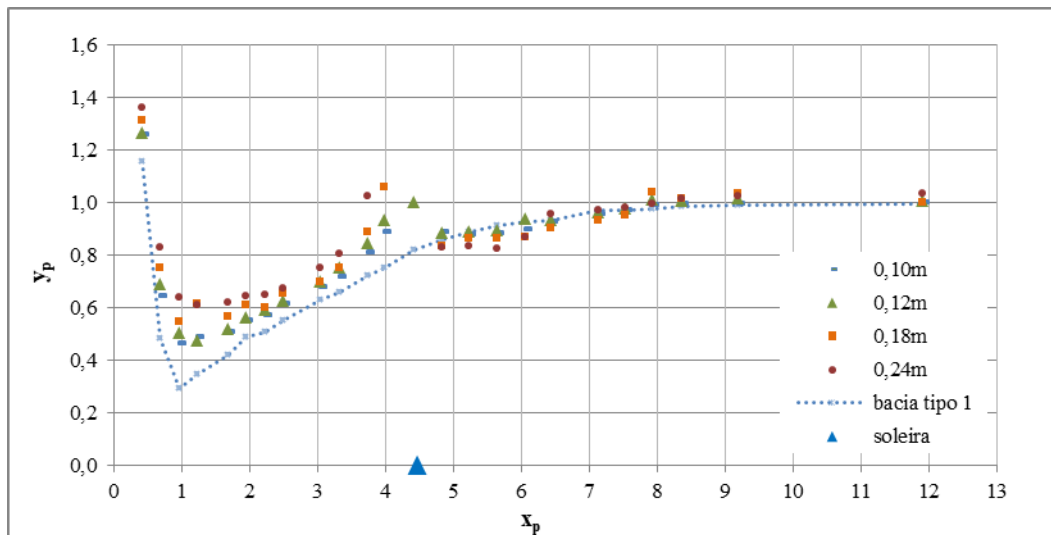


Figura 9.- Comparação dos dados de pressões médias em bacias com 4 diferentes alturas e bacia livre para vazão de 80 l/s (Fr=6,91) (com dados adimensionalizados).

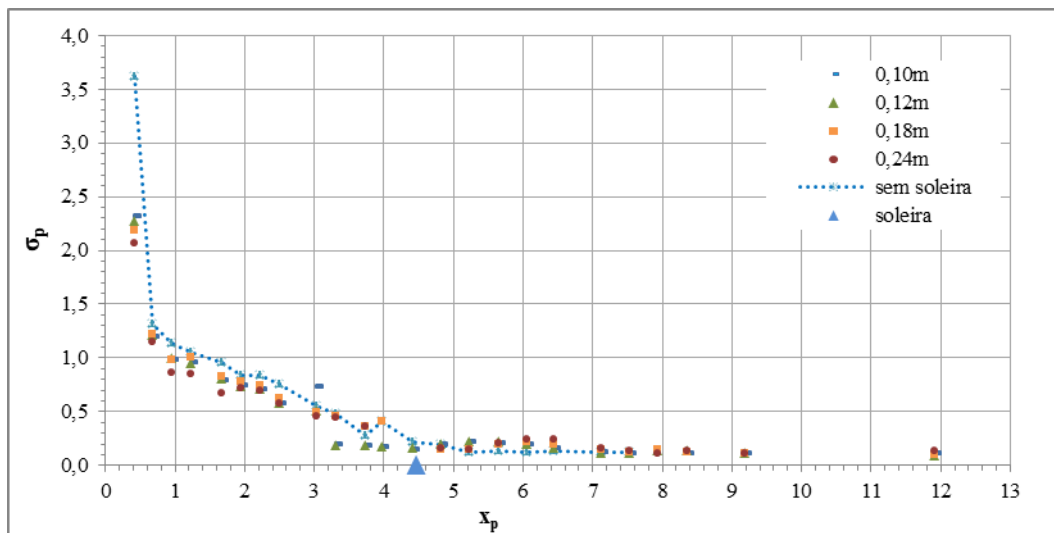


Figura 10.- Comparação dos dados de flutuações de pressões em bacias com 4 diferentes alturas e bacia livre para vazão de 80 l/s (Fr=6,91) (com dados adimensionalizados).

Nos gráficos das figuras acima se observa que bacias com soleiras obedecem ao mesmo comportamento para pressões médias e para flutuações de pressões do caso descrito detalhadamente anteriormente.

A altura influencia no afogamento artificial da bacia, soleiras maiores aumentam o afogamento. A soleira de 0,18 m de altura apresenta os maiores valores de pressão média na bacia. A jusante da soleira também se observa que existe um pico de mínimo que se acentua com a altura, sendo a bacia com soleira 0,18 m a que apresenta menores valores. O pico de flutuações das pressões também se acentua em bacias com soleiras maiores. Para um melhor entendimento do escoamento são apresentadas, na Figura 11, imagens dos quatro casos aqui estudados para a mesma vazão dos gráficos mostrados acima.

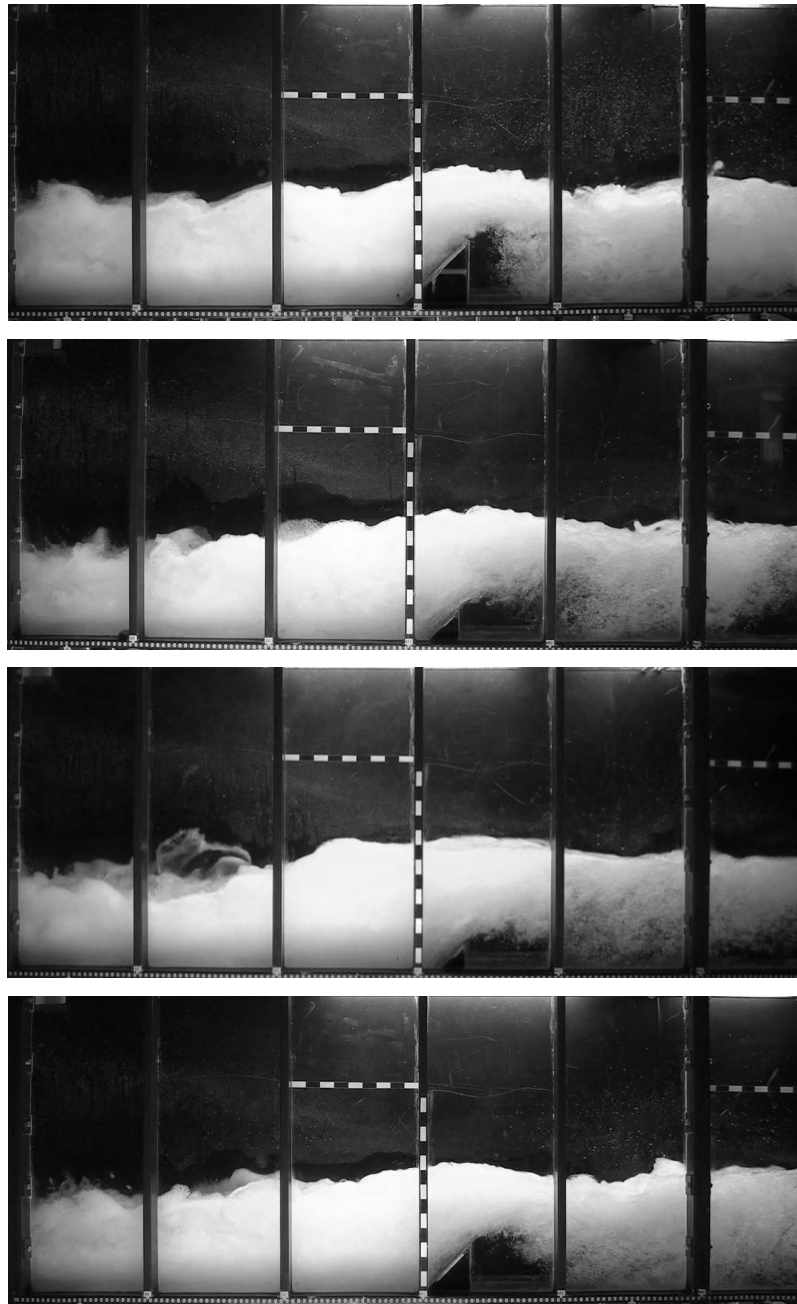


Figura 11.- Comparação entre o escoamento na bacia para as 4 alturas diferentes de soleira e vazão de 80 l/s ($Fr=6,91$).

Na Figura 12 são apresentados os dados de pressão média para todas as vazões na condição de bacia com soleira de 0,12 m em comparação com bacia tipo I. Todas as vazões apresentaram um comportamento semelhante ao caso apresentado como exemplo anteriormente.

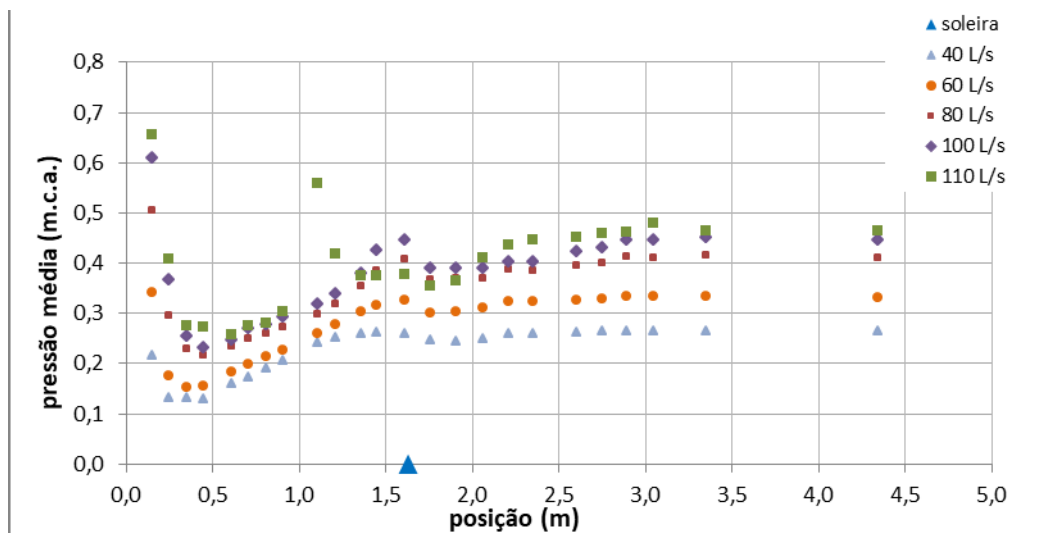


Figura 12.- Comparação entre todas as vazões ensaiadas para a soleira de 0,12 m em comparação com bacia tipo I.

CONCLUSÕES

Analisando os dados de pressões médias e suas flutuações para diferentes casos é possível verificar que a inclusão da soleira terminal na bacia causa um aumento nos valores de pressão a montante da mesma. Esse aumento é mais significativo quanto maior a soleira.

A jusante se verifica uma leve diminuição nesses valores, provavelmente por conta da recirculação provocada pela presença da soleira terminal.

Bacias com soleiras apresentam valores de flutuação de pressão menores em relação a bacia tipo I, provavelmente por conta do colchão d'água formado que ameniza o impacto do escoamento. A inserção da soleira causa um pico de flutuações a jusante, no ponto de impacto do escoamento lançado pela soleira. Esse ponto merece atenção pois pode, dependendo do tipo de solo e da distância em relação ao final da bacia que ocorre esse impacto, colocar em risco a estrutura.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Dona Francisca Energética que possibilitou a realização do P&D que abordou o presente assunto. Agradecem também ao Instituto de Pesquisas Hidráulicas e especialmente aos bolsistas, técnicos e professores do LOH.

Referencias Bibliográficas

- Alikhani, A.; Behrozi-Rad, R.; Fathi-Moghadam, M.** (2010). "Hydraulic jump in stilling basin with vertical end sill". *International Journal Physical Sciences*. v. 5, January, 2010, p.25-29.
- Bung, D. B. et al.** (2012) "USBR type iii stilling basin performance for steep stepped spillways". *4th internacional symposiumon hydraulic structures*. Porto, Portugal.
- Cardoso, F. G.** "Estudo do ressalto hidráulico em bacias de dissipação de energia a jusante de descarregadores de cheias em degraus". 2006. 143f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) – Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Portugal.
- Conterato, E.** (2014) "Determinação de critérios de dimensionamento de soleira terminal em bacia de dissipação a jusante de vertedouro em degraus." Dissertação de mestrado. UFRGS. Porto Alegre, Rio Grande de Sul. Brasil.
- Elevatorski, A. E.**(1959). "Hydraulic Energy Dissipators". McGraw-Hill, New York.
- Hager, W. H.** (1992) "Energy dissipators and hydraulic jump". Water Science and Technology Library. Kluwer Academic Publishers.
- Meireles, I.; Matos, J.; Falcão De Melo, J.**(2005) Pressure head and residual energy in skimming flow on steeply sloping stepped spillways. *XXXI International Association of Hydraulic Engineering and Research Congress*, Seul, Coreia do Sul.

Meireles, I. O. C.; Matos, J.; Silva Afonso, A. (2010) "Flow Characteristics along a USBR type III stilling basin downstream of steep stepped spillways. Hydraulic Structures: Useful Water Harvesting Systems or Relics?" *Third International Junior Researcher and Engineer Workshop on Hydraulic Structures*. The University of Queensland, Brisbane, Australia.

Peterka, A. J. (1957) "Hydraulic Design of Stilling Basins and Energy Dissipators". Washington, U. S. Govt. Print.

Vischer, D. L.; Hager, W.H. (1995) "Energy Dissipators". IAHR, Hydraulic Structures Design Manual.