

## Características das flutuações de pressão a jusante de dissipadores tipo concha com ângulo de 45°

*Characteristics of pressure fluctuations downstream from clamshell-type hydraulic energy dissipators with a 45° angle*

Alba Valéria Brandão Canellas<sup>1</sup>, Mauricio Dai Prá<sup>2</sup>, Carlos Barreira Martinez<sup>3</sup>, Eder Daniel Teixeira<sup>4</sup> e Marcelo Giulian Marques<sup>5</sup>

<sup>1,4,5</sup> Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil

alba@furnas.com.br, eder.teixeira@ufrgs.br e mmarques@iph.ufrgs.br

<sup>2</sup> Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS, Brasil

mdaipra@gmail.com

<sup>3</sup> Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, Brasil

martinez@cce.ufmg.br

Recebido: 19/06/15 - Revisado: 01/09/15 - Aceito: 15/09/15

### RESUMO

*Este artigo apresenta um estudo sobre a distribuição de flutuação de pressão a jusante de dissipadores de energia hidráulica tipo concha em 12 diferentes geometrias. Foram avaliados dados resultantes de 78 ensaios, com números de Froude na entrada da estrutura ( $F_t$ ) variando entre 3,2 e 7,6 e diferentes condições de tirante de água sobre a concha. A partir dos resultados dos ensaios foi possível definir as condições mínimas para garantir que a estrutura funcione de forma submersa ("roller bucket"), bem como, equações para previsão do local onde ocorre a máxima flutuação de pressão, seu valor e a estimativa da flutuação de pressão junto à saída da estrutura.*

**Palavras Chave:** Concha submersa. Dissipador de energia. Flutuação de pressão. Coeficiente de flutuação de pressão.

### ABSTRACT

*This paper presents the distribution of pressure fluctuations measured downstream from 12 different clamshell-type hydraulic energy dissipators. Data were collected resulting in a battery of 78 tests with Froude numbers varying from 3.2 to 7.6 at the device inlets ( $F_t$ ), under different water level conditions above the clamshell. These tests provided the basis for the analysis of the minimum conditions required to initiate a submerged flow (acting as a roller bucket device), and also to develop equations to predict where the maximum pressure fluctuation occurs, its value and estimates of the pressure fluctuation at the device outlets.*

**Keywords:** Roller bucket. Energy dissipator. Pressure fluctuation coefficient.

## INTRODUÇÃO

Diferentes tipos de estruturas civis podem ser executadas visando a dissipação de energia hidráulica a jusante de vertedouros de barragens. Atualmente, a tendência é a utilização de estruturas compactas (onde parte da dissipação da energia hidráulica ocorre no seu interior e parte é absorvida pelo leito do rio a jusante). Estas estruturas são menos dispendiosas do ponto de vista financeiro do que as estruturas tradicionais, como as bacias de dissipação por ressalto hidráulico. A energia na saída da estrutura de dissipação, entretanto, não deve provocar erosões que possam colocar em risco sua própria integridade e/ou a segurança do empreendimento. Por estas razões a dissipação de energia a jusante de vertedouros de barragens é um tema de grande importância na engenharia hidráulica, não perdendo jamais o seu interesse e atualidade.

Dentre as estruturas compactas adotadas na engenharia de barragens inclui-se o dissipador tipo concha submersa (“roller bucket”). Este tipo de estrutura consiste em uma concha que possui um raio ( $R_s$ ) de concordância uniforme, assim como um ângulo de saída ( $\alpha$ ), que pode apresentar, ou não, um trecho retilíneo de inclinação constante após o término do raio (Figura 1).

O dissipador tipo concha se caracteriza pela formação de 3 rolos, sendo o primeiro no interior da concha, o segundo localizado no pé do dissipador (trazendo o material erodido para próximo da estrutura, conseqüentemente aumentando sua proteção) e, por último, o rolo situado a jusante da zona de impacto do jato. Como regra geral, a maior parte da dissipação ocorre na massa de água situada imediatamente a jusante da estrutura e pelo impacto do escoamento contra o leito, exigindo que o material presente no leito e nas margens possua boa capacidade de resistência à erosão.

Algumas referências bibliográficas apresentam critérios de dimensionamento para a determinação do raio da concha ( $R_s$ ), para a cota da geratriz inferior da concha ( $C_f$ ) e para o ângulo de saída da estrutura ( $\alpha$ ), conforme descrito por USBR (1987), Khatsuria (2005) e Mays (2004). As demais características geométricas da estrutura podem ser obtidas por relações trigonométricas, desde que se respeitem as seguintes condições de operação:

- Que a estrutura seja operada com vazões específicas ( $q$ ) inferiores a  $50 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$ , conforme salientado por USBR (1987), Khatsuria (2005) e Mays (2004);

- Que as velocidades na entrada da concha ( $v_t$ ), na altura do nível de energia a jusante (nível de água mais taquicarga), sejam inferiores à  $22 \text{ m/s}$ , conforme USBR (1987).

Entretanto, em algumas obras foram utilizados valores acima destas faixas, conforme Tamada (1989). No Brasil podem-se citar os seguintes exemplos: Porto Primavera ( $q \approx 168 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$ ) e Itaparica ( $q \approx 151 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$ ).

A maior parte dos estudos já realizados englobaram estruturas com ângulos de saída ( $\alpha$ ) igual a  $45^\circ$ , dentre eles Rajan e Rao (1980), Gandolfo e Cotta (1955), Peterka (1957), McPherson e Karr (1957a), MacPherson e Karr (1957b), Daugharty (1958), Elevatorski (1957), Elevatorski (1959), Machado (1979a) e Machado (1979b). Em menor número, alguns pesquisadores, podendo citar, Marques (1995), Doddaiah (1967) e Rao (1982) realizaram estudos utilizando estruturas com ângulos de saída inferiores a  $45^\circ$ . Eles concluíram que a dissipação de energia melhora com a diminuição do ângulo de saída, contudo, não se chegou, até o momento, a um consenso sobre o valor de  $\alpha$  que propicia maior eficiência hidráulica. Alguns trabalhos sugerem que o ângulo ideal esteja compreendido entre  $15^\circ$  e  $30^\circ$ , dentre eles, Tamada (1989), Valença (1989), Machado (1979), Arfaoui (2002) e Amri (2003).

Com relação à ação das pressões atuantes a jusante do dissipador tipo concha, raros são os estudos que apresentam informações sobre o tema, podendo ser citados os trabalhos Tamada (1989), Machado (1979), Arfaoui (2002) e Amri (2003).

Cabe salientar que o conhecimento das pressões a jusante do dissipador tipo concha e de suas flutuações são de fundamental importância, pois atuam no processo erosivo a jusante da concha e devem ser consideradas no dimensionamento deste tipo de estrutura.

## MATERIAIS E MÉTODOS

A parte experimental foi efetuada a partir da utilização de um modelo físico apresentado em MARQUES (1995), conforme pode ser visualizado na Figura 2, constituído de um canal de fundo horizontal e de um vertedouro com perfil Creager instalado em seu interior.

No fundo do canal foram instaladas 22 tomadas de pressão ao longo do eixo longitudinal, numa extensão de  $4,0 \text{ m}$  e

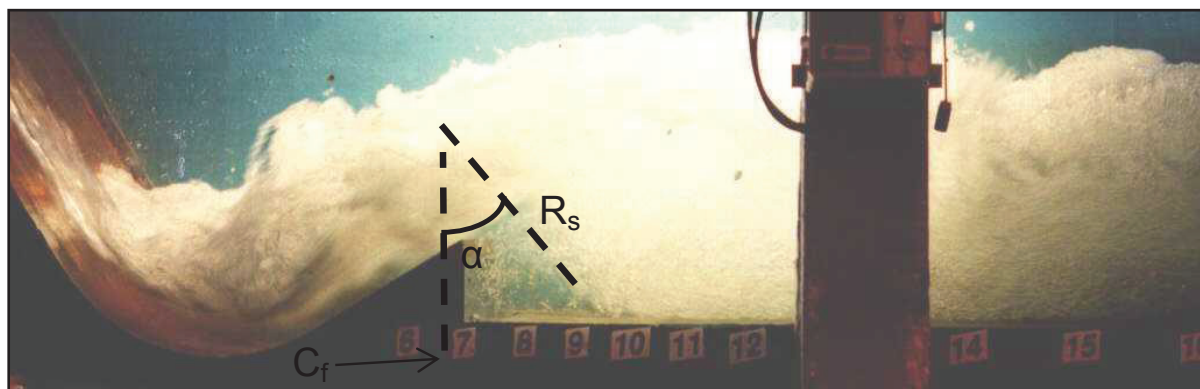


Figura 1 - Dissipador tipo concha submersa (“roller bucket”) - Marques (1995)

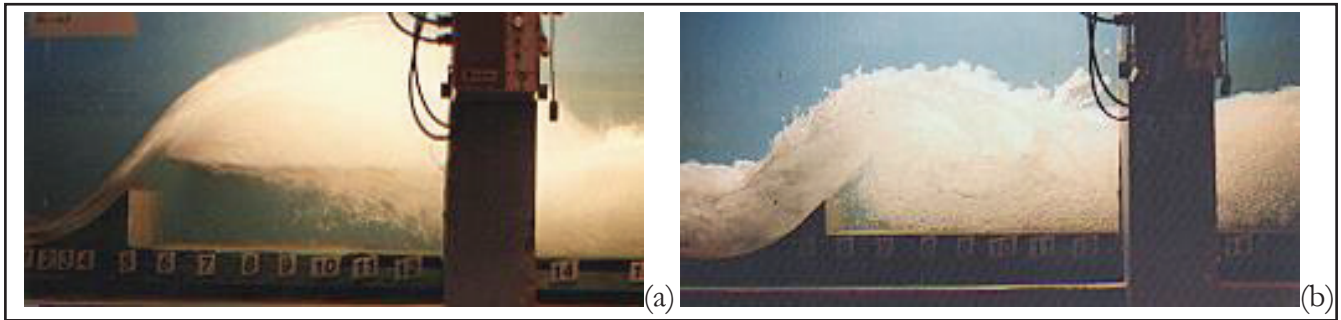


Figura 2 - Características do escoamento para Froude ( $F_t$ ) de 4,6 e comprimento da estrutura ( $L_s$ ) de 300 mm - (a) concha não submersa (“flip bucket”) com cota de fundo ( $C_f$ ) = 0 e (b) concha submersa (“roller bucket”) com cota de fundo ( $C_f$ ) = -64 mm - Marques (1995)

espaçamento entre as tomadas de 50 a 400 mm. A aquisição dos dados foi realizada com transdutores de pressão com frequência de 50 Hz durante períodos de 200 s, seguindo as recomendações de Akbari et al. (1982), Toso e Bowers (1988) e Lopardo (1985).

No pé do vertedouro foram instaladas diferentes estruturas de dissipação tipo concha, todas com ângulo de saída ( $\alpha$ ) de 45°, posicionadas em diferentes cotas de fundo (totalizando quatro cotas distintas) e com três comprimentos ( $L_s$ ). A alteração da cota de fundo ( $C_f$ ) foi efetuada com o rebaixamento da concha. A cota da crista do vertedouro e o fundo do canal a jusante ficaram inalterados. Garantindo para escoamentos idênticos a mesma energia de entrada e nível de água a jusante. Foi contemplado, assim, um total de 12 geometrias, além da condição sem concha, ou seja, aquela que propicia a formação do ressalto hidráulico livre ( $\alpha = 0, s = 0$  e  $L_s = 0$ ). Este procedi-

mento permitiu analisar a influência de cada um dos parâmetros geométricos e hidráulicos do dissipador tipo concha. A Tabela 1 apresenta as características geométricas e hidráulicas das estruturas ensaiadas. Ressalta-se que para cada uma das diferentes cotas de fundo ( $C_f$ ), excetuando a geometria com  $C_f = 0$ , foram ensaiadas estruturas com comprimento ( $L_s$ ) iguais a 250, 300 e 350 mm. Cabe salientar que a altura da soleira terminal (S) é função das dimensões geométricas de cada estrutura. A Figura 3 ilustra as variáveis e parâmetros geométricos e hidráulicos da estrutura considerados neste estudo. Para cada uma das 12 (doze) geometrias e também para a condição sem concha foram ensaiadas seis (6) vazões distribuídas na faixa de número de Froude ( $F_t$ ) compreendida entre 3,2 e 7,6. Isso conduziu a um total de 78 ensaios em modelo físico. A Tabela 2 ilustra as características principais das 6 vazões ensaiadas.

Tabela 1 – Alturas das soleiras terminais (S) em relação ao fundo do canal em função das características geométricas das estruturas tipo concha ensaiadas (ângulo de saída de 45°)

Comprimento da estrutura <sup>(1)</sup> , em mm ( $L_s$ )	Altura, em mm, da soleira terminal em relação ao fundo do canal (S)			
	$C_f = 0$	$C_f = -32$	$C_f = -64$	$C_f = -96$
250	105	73	41	9
300	155	123	91	59
350	205	173	141	109

Obs.: Cota de fundo da concha ( $C_f$ ), em mm, medido em relação ao plano de referência (fundo do canal a jusante)

Comprimento da estrutura ( $L_s$ ) medido a partir do ponto mais baixo da concha.

Raio de concordância e da concha ( $R_1$  e  $R_s$ ) igual a 350 mm.

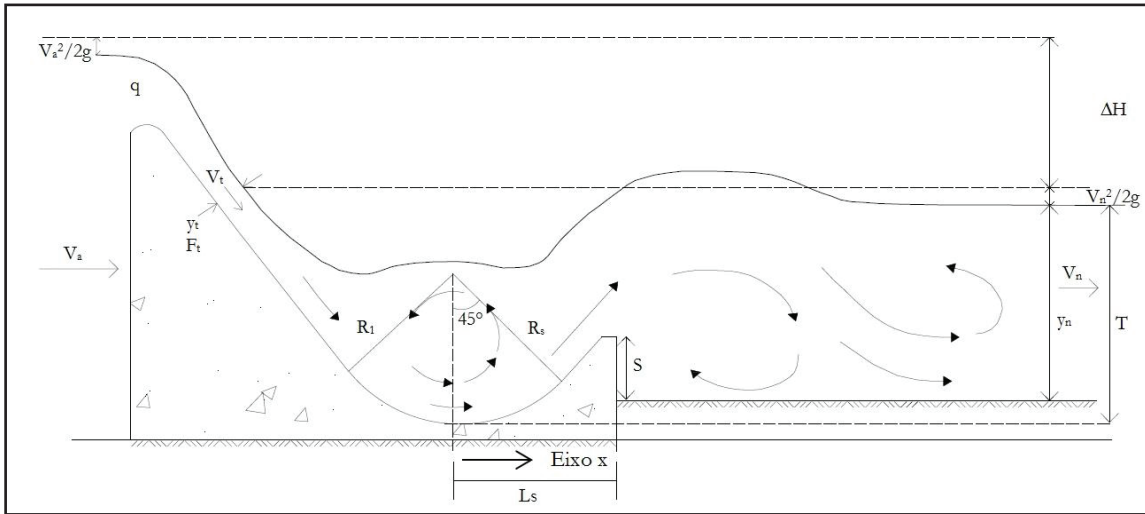
Largura do canal de 600 mm

Também ensaiado a condição sem concha, com raio de concordância ( $R_1$ ) na cota de fundo igual ao fundo do canal ( $C_f = 0$ )

Tabela 2 - Características dos ensaios

q (l/s/m)	$y_n$ (mm)	$\Delta H$ (mm)	$y_t$ (mm)	$F_t$ (adim.)	$Re_t$ ( $\times 10^5$ ) (adim.)
271,7	426	515	91	3,2	2,72
211,7	373	537	70	3,6	2,12
145,0	301	569	47	4,6	1,46
105,0	247	596	33	5,5	1,01
80,0	218	607	25	6,4	0,80
58,3	186	621	18	7,6	0,59

Obs.: número de Reynolds ( $Re_t$ ) referenciado a entrada do dissipador na altura correspondente ao nível de energia a jusante



**Figura 3 – Características geométricas e hidráulicas do dissipador tipo concha**

- $\Delta H$  = perda de carga entre montante e jusante (m)
- $F_t$  = número de Froude na entrada do dissipador na altura correspondente ao nível de energia a jusante (adimensional)
- $g$  = aceleração da gravidade (m/s<sup>2</sup>)
- $L_s$  = comprimento da estrutura, a partir do ponto mais baixo da concha (m)
- $q$  = vazão específica (m<sup>3</sup>/s/m)
- $R_1$  e  $R_s$  = raios de concordância da estrutura de montante e de jusante, respectivamente (m)
- $S$  = altura da soleira terminal, medida em relação a cota do terreno natural (m)
- $T$  = altura de água em relação ao fundo da concha (m)
- $V_a$  = velocidade média do escoamento a montante (m/s)
- $V_n$  = velocidade média do escoamento na jusante do dissipador (m/s)
- $V_t$  = velocidade média do escoamento na entrada do dissipador na altura correspondente ao nível de água a jusante (m/s)
- $x$  = distância na horizontal medida a partir do ponto mais baixo da concha (m)
- $y_n$  = altura de água a jusante em relação ao terreno natural (m)
- $y_t$  = altura de água na entrada do dissipador na altura correspondente ao nível de água a jusante (m)

Para garantir sempre a mesma referência do escoamento para todas as geometrias analisadas utilizou-se o número de Froude calculado na entrada do dissipador ( $F_t$ ) na altura correspondente ao nível de energia a jusante (Figura 3). Este local foi escolhido devido ao escoamento não sofrer influência do dissipador, procedimento de Peterka (1957).

A altura do nível de jusante ( $y_n$ ) foi fixada com valor igual à altura conjugada lenta do ressalto hidráulico considerando a sua formação no pé do vertedouro, na condição de  $C_f = 0$ , ou seja, para a situação sem concha. Portanto, o presente trabalho define, para altura de água a jusante em relação ao terreno natural ( $y_n$ ), o intervalo apresentado na Equação 1 e para os raios de concordância ( $R_1 = s$ ) a Equação 2. Estas equações foram baseadas nas condições de contorno apresentadas na Tabela 2. Para aplicação em estruturas reais, os autores deste artigo recomendam adotar valores iguais ou superiores  $\frac{y_n}{y_t F_t} \geq 1,5$  e  $\frac{R_s}{\Delta H} \geq \frac{0,85}{\sqrt{F_t}}$ . Desta maneira se terá altura de água a jusante e estruturas maiores, o que garantirá um melhor funcionamento quanto ao afogamento, dissipação de energia e maior amortecimento das flutuações de pressão junto ao fundo a jusante.

$$1,36 \leq \frac{y_n}{y_t F_t} \leq 1,5 \tag{1}$$

$$R_1 = R_s \rightarrow 0,83 \leq \frac{R_s}{\Delta H} \sqrt{F_t} \leq 0,86 \tag{2}$$

Uma vez conduzidos os ensaios e delineadas as condições de controle, avaliou-se a influência da cota de fundo da

instalação das estruturas (conchas) na distribuição longitudinal das flutuações de pressão. As análises foram conduzidas a partir da adoção de parâmetros adimensionais dos escoamentos e das características geométricas das estruturas.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

### Cota de fundo da estrutura

Pela análise dos escoamentos impostos nas estruturas, especialmente do comportamento dos níveis d'água, foi constatado que as estruturas podem funcionar de duas maneiras distintas: submersas ("roller bucket") ou livres ("flip bucket") em função das características hidráulicas ( $y_t$  e  $F_t$ ) e geométricas ( $C_f$  e  $S$ ).

A Figura 4 apresenta o comportamento do escoamento a jusante da concha, caracterizando a submersão (símbolos cheios) ou escoamento livre (símbolos vazados) da concha, correlacionando a relação  $W$  (conforme Equação 3) com o Número de Froude ( $F_t$ ). A Equação 3 representa a condição limite para a submersão da concha encontrada neste estudo.

$$W = \frac{T-S}{y_t} \geq 0,8 \cdot F_t \tag{3}$$

De acordo com a Figura 4 pode-se constatar que para um mesmo  $F_t$ , a condição de submersão ( $W$ ) aumenta quando:

- a cota de fundo é mais baixa aumentando  $T$  e/ou
- se reduz o comprimento da estrutura ( $L_s$ ), diminuindo a altura de saída ( $S$ ).

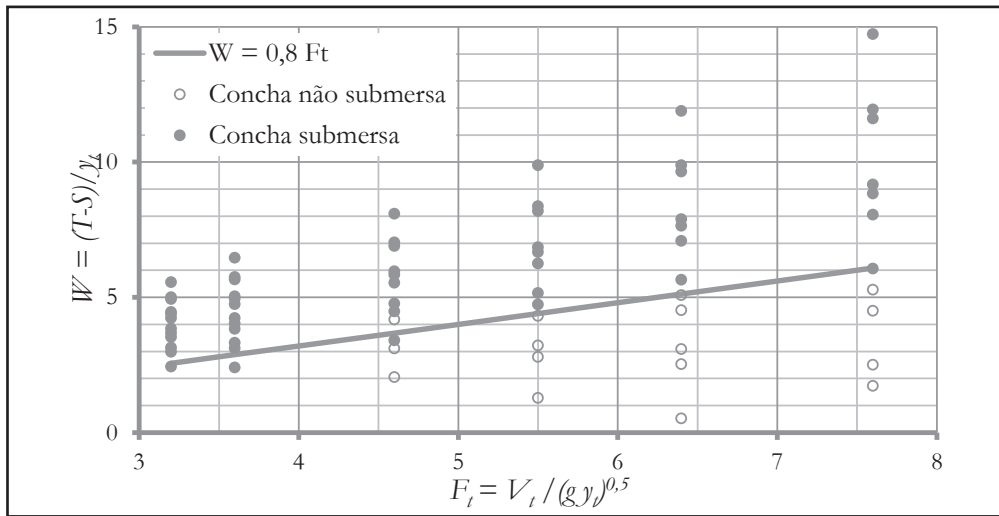


Figura 4 - Condições para haver a submersão da concha

### Distribuição longitudinal da flutuação de pressão a jusante da concha

As flutuações de pressão a jusante ( $\sigma_i$ ) foram determinadas pelo desvio padrão da amostra de pressão em cada tomada de existente no fundo do canal. O desvio padrão foi calculado pela média quadrática dos desvios em relação à média aritmética.

Estas flutuações de pressão ( $\sigma_i$ ) foram adimensionalizadas em função do coeficiente de flutuação de pressão média ( $C_{\sigma_i}$ ) e da posição relativa da tomada de pressão em relação ao ponto mais baixo da estrutura a jusante ( $x_i = 0$ ). Essa análise foi conduzida somente para as condições hidráulicas de funcionamento com a concha submersa.

$$C_{\sigma_i} = \frac{\sigma_i}{\frac{v_t^2}{2 \cdot g}} \quad (4)$$

$$X_i = \frac{x_i}{L_n} \quad (5)$$

onde:

$C_{\sigma_i}$  = coeficiente de flutuação de pressão na posição  $x_i$  (adimensional);

$\sigma_i$  = flutuação de pressão na posição  $x_i$  (m.c.a.);

$v_t$  = velocidade média do escoamento na entrada do dissipador, na altura correspondente ao nível de energia a jusante (m/s);

$g$  = aceleração da gravidade (m/s<sup>2</sup>);

$X_i$  = posição relativa do ponto em relação ao comprimento da influência do dissipador na dissipação de energia (adimensional);

$x_i$  = posição onde a flutuação de pressão foi medida (m);

$L_n$  = comprimento da influência do dissipador na dissipação de energia a partir do ponto mais baixo da estrutura (m), podendo ser estimado pela Equação 6, conforme Marques (1995).

$$\frac{L_n \cdot F_t}{\Delta H} = 18 \quad (6)$$

A análise do conjunto de dados, onde a estrutura funcionou submersa, permitiu observar que existe um padrão de distribuição longitudinal das flutuações de pressões a jusante da concha. As Figuras 5 e 6 exemplificam a influência da cota de

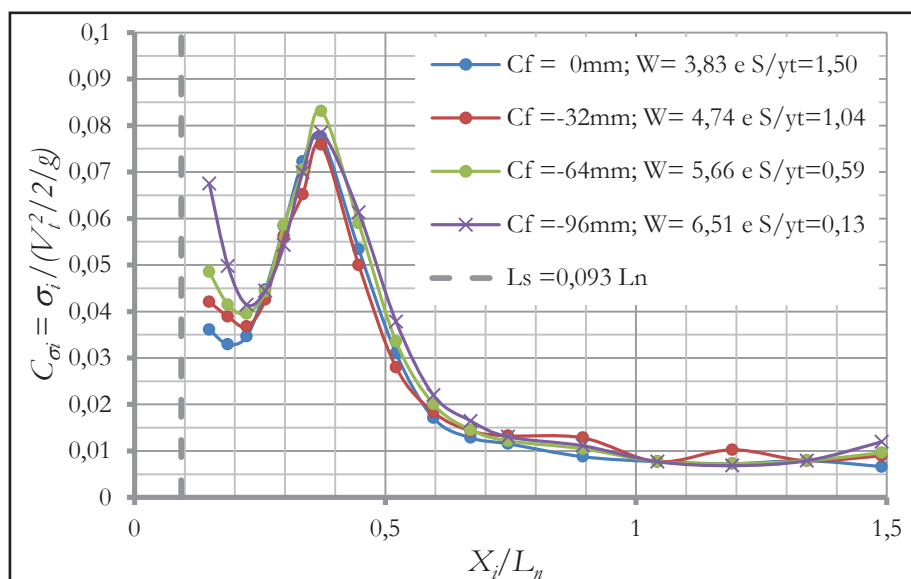


Figura 5 – Influência da cota de fundo ( $C_f$ ) nos coeficientes de flutuação de pressão ( $C_{\sigma_i}$ ) para  $F_t = 3,6$  e comprimento de estrutura ( $L_s = 0,093 \cdot L_n$ )

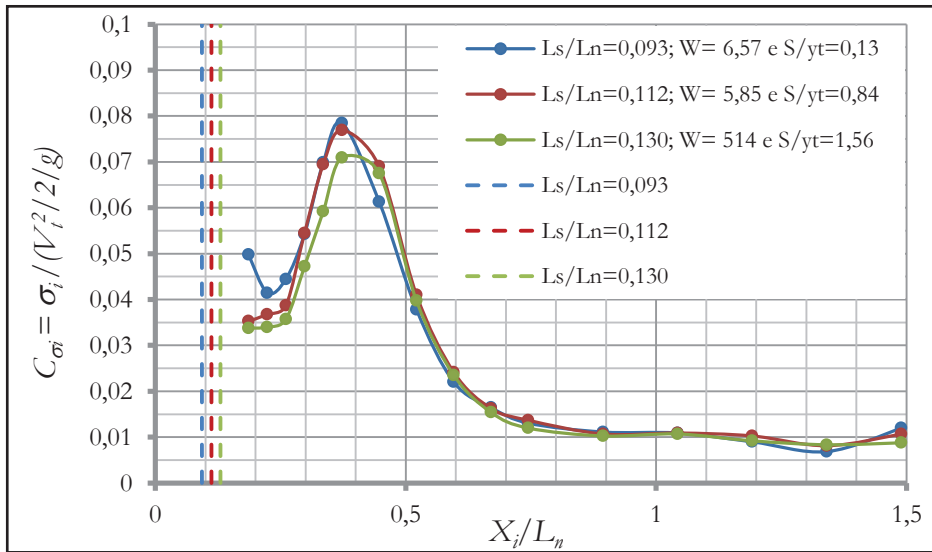


Figura 6– Influência do comprimento da estrutura ( $L_s$ ) nos coeficientes de flutuação de pressão ( $C_{oi}$ ) para  $F_t = 3,6$  e cota de fundo ( $C_f = -0,96$  mm)

fundo ( $C_f$ ) para um mesmo comprimento de estrutura ( $L_s$ ) e a influência do comprimento da estrutura ( $L_s$ ) para uma mesma cota de fundo ( $C_f$ ).

Da análise da distribuição da flutuação de pressão a jusante da concha, conforme os resultados apresentados nas Figuras 5 e 6, concluiu-se que:

- Soleiras menores ( $S$ ) ou relações ( $W$ ) maiores provocam maior flutuação de pressão ( $\sigma_j$ ) junto à saída da estrutura;
- O valor da flutuação de pressão máxima ( $\sigma_{max}$ ) ocorre no ponto de impacto do jato no fundo a jusante ( $L_{\sigma_{max}}$ );
- A distribuição longitudinal da flutuação de pressão após o ponto de impacto ( $L_{\sigma_{max}}$ ) tem o desenvolvimento independente da cota de fundo ( $C_f$ ) e do comprimento da estrutura ( $L_s$ );
- O ponto de impacto ( $L_{\sigma_{max}}$ ) para uma condição hidráulica, não sofre influência significativa do comprimento da estrutura ( $L_s$ ). Este ponto pode ser estimado pela Equação 7, com um erro máximo de 5% do comprimento  $L_n$ , conforme pode ser visto na Figura 7. Onde

$\tilde{N}$  é um parâmetro adimensional que relaciona a posição de máxima flutuação ( $L_{\sigma_{max}}$ ) com o comprimento da estrutura ( $L_s$ ) e o comprimento na dissipação de energia ( $L_n$ ).

$$\tilde{N} = \frac{L_{\sigma_{max}} - (L_s - R_s \cdot \text{sen } 45^\circ)}{L_n} = 0,35 \quad (7)$$

O valor da flutuação de pressão no ponto de impacto ( $\sigma_{max}$ ) pode ser estimado pela Equação 8, conforme pode ser visto na Figura 8.

$$C_{\sigma_{max}} = \frac{\sigma_{max}}{\frac{V_t^2}{2g}} = \frac{12}{7} \cdot \left(\frac{y_t}{T}\right)^{7/6} \quad (8)$$

O valor da flutuação ( $\sigma_j$ ) junto à saída da estrutura pode ser estimado pelas Equações 9 e 10, ajustadas a partir dos dados da Figura 9. Estas equações devem respeitar também as condições da Equação 3 e  $S \leq y_n - h_c$ , onde  $h_c$  é a altura crítica do escoamento.

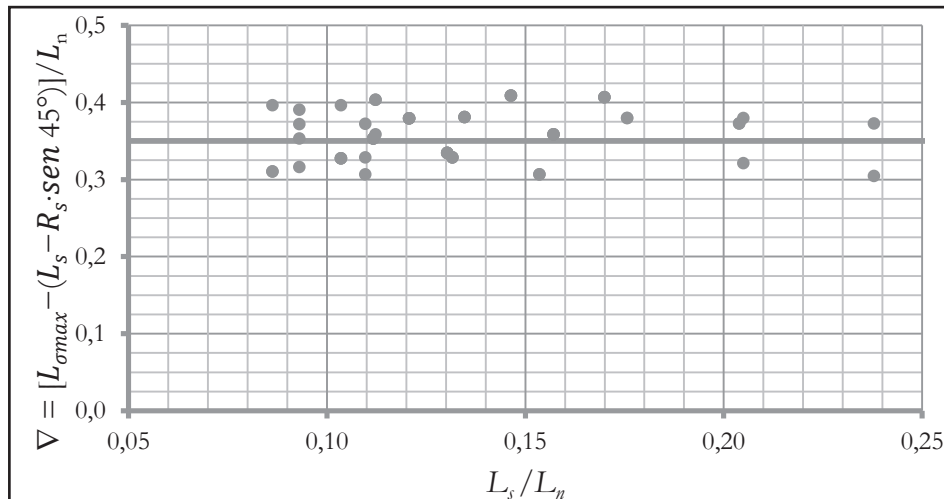


Figura 7– Valor do parâmetro  $\tilde{N}$  em função do comprimento relativo da estrutura ( $L_s/L_n$ )

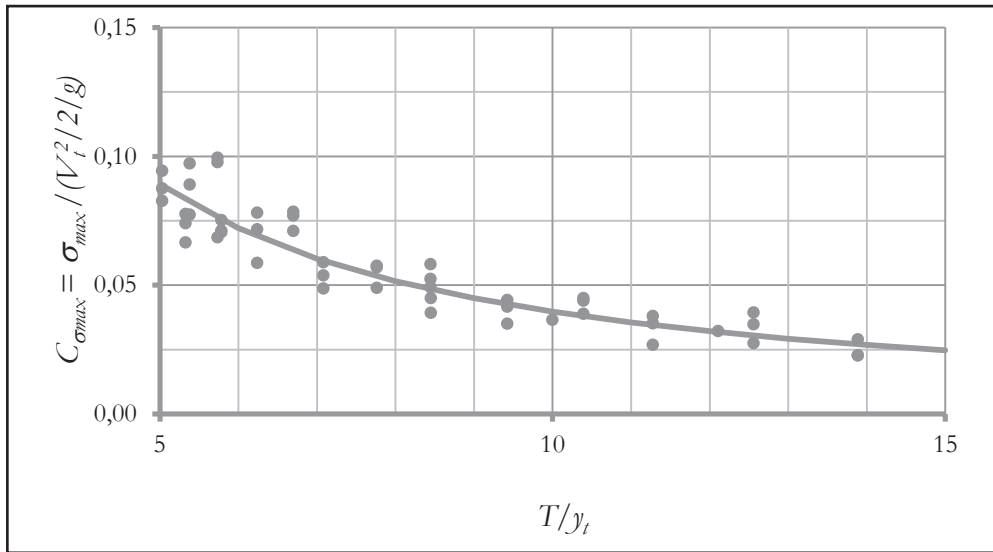


Figura 8 – Coeficiente de flutuação de pressão ( $C_{\sigma_{max}}$ ) em função da altura de água sobre o fundo da concha ( $T$ ) em relação a altura de água na entrada da estrutura ( $y_t$ ).

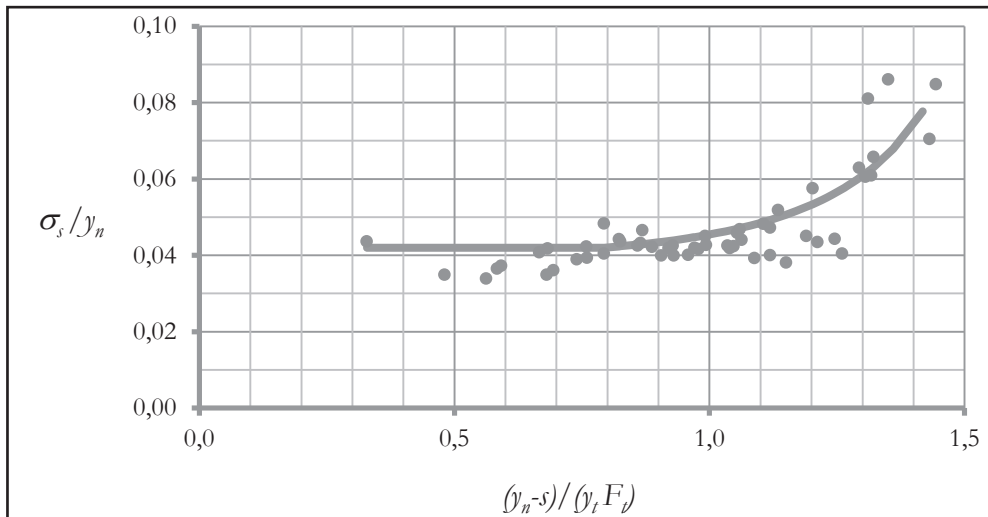


Figura 9 – Relação da flutuação de pressão ( $\sigma_s$ ) junto à saída da estrutura com altura de água a jusante em referência ao terreno natural ( $y_n$ ) em função da altura da soleira ( $S$ ), da altura de água na entrada da estrutura ( $y_t$ ) e do número de Froude na entrada da estrutura ( $F_t$ )

$$\frac{\sigma_s}{y_n} = \frac{1}{25 - 3,5 \cdot \left(\frac{y_n - S}{y_t \cdot F_t}\right)^4} \quad \text{para } \frac{y_n - S}{y_t \cdot F_t} > 0,8 \quad (9)$$

$$\frac{\sigma_s}{y_n} = 0,042 \quad \text{para } \frac{y_n - S}{y_t \cdot F_t} \leq 0,8 \quad (10)$$

## CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O presente trabalho consistiu na análise de dados de um modelo físico de dissipador de energia hidráulica do tipo concha, com ângulo de saída ( $\alpha$ ) de 45°, diferentes cotas de fundo ( $C_f$ ) e comprimentos da estrutura ( $L_s$ ). Objetivou-se analisar a influência dos parâmetros geométricos e hidráulicos ( $3,2 \leq F_t \leq 7,6$ ) no comportamento da distribuição de flutuações de pressões no leito a jusante.

De acordo com os ensaios experimentais identificou-

se que os dissipadores tipo concha podem operar submersos (“roller bucket”) ou livres (“flip bucket”), em função das condições de contorno e da geometria da estrutura. Verificou-se que a submersão da concha é diretamente proporcional à altura de água em relação ao fundo da concha ( $T$ ) e da altura da soleira terminal ( $S$ ) em relação ao plano de referência (fundo do canal a jusante). Para que a estrutura funcione submersa deve respeitar a condição da Equação (3).

Com relação à distribuição das flutuações de pressão a jusante da concha submersa, foi possível concluir que:

- valores da altura da soleira terminal ( $S$ ) menores provocam maior flutuação de pressão ( $\sigma_s$ ) junto à saída da estrutura e o seu valor pode ser estimado pelas Equações (9) e (10);
- o valor da flutuação de pressão máxima ( $s_{max}$ ) ocorre no ponto de impacto do jato ( $L_{zmax}$ ), que pode ser estimado pela Equação (7) e o valor de  $s_{max}$  pela Equação (8);

- a distribuição longitudinal da flutuação de pressão após o ponto de impacto ( $L_{s,max}$ ) é praticamente a mesma independente da cota de fundo ( $C_f$ ) e do comprimento da estrutura ( $L_s$ ) – figuras 5 e 6, respectivamente;
- o ponto de impacto ( $L_{s,max}$ ) para uma mesma condição hidráulica, não sofre influência significativa do comprimento da estrutura ( $L_s$ ) – Figura 6.

Recomenda-se, que sejam realizados novos estudos com variação do comprimento da estrutura ( $L_s$ ), do ângulo de saída da estrutura ( $\alpha$ ) e dos raios de concordância da estrutura ( $R_1$  e  $R_2$ ), dada sua atratividade econômica, de forma que a engenharia de barragens amplie o uso desse tipo de dissipador com maior segurança.

Seria interessante também, analisar a distribuição longitudinal das pressões extremas a jusante do dissipador, de maneira a permitir a estimativa dos esforços hidrodinâmicos e a sua influência na formação de fossas de erosão.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Prof. Dr Eng. Jean-Louis Verrette, ao Técnico Guy Verret e a Université Laval por disponibilizar suas instalações para realização dos estudos experimentais presentes neste trabalho.

## REFERÊNCIAS

AKBARI, M. E.; MITTAL, M. K.; PANDE, P. K. Pressure fluctuations on the floor of free and forced hydraulic jumps, In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON THE HYDRAULIC MODELLING OF CIVIL ENGINEERING STRUCTURES, 1982. Coventry, England. *Anais Coventry*, England: BHRA Fluid engineering. Paper C1. 1982. p. 87-96.

AMRI, A. *Étude des dissipateurs d'énergie de type auge surfond mobile*. 2003. 201 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Faculté de Études Supérieures d de l' Université Laval, Québec, Canada. 2003.

ARFAOUI, M. *Étude des caractéristiques dissipateurs d'énergie type auge avec un angle de sortie de 20°*. 2002. 211 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Faculté de Études Supérieures de l'Université Laval, Québec, Canada. 2002.

DAUGHARTY, R. B. Discussion on Mcpherson's Works. *Journal of the Hydraulic Division*, v. 84, p. 1538-43, feb. 1958.

DODDAIAH, D. Scour Below Submerged Solid Bucket-type Energy Dissipators. In: CONGRÈS DE L'ASSOCIATION INTERNATIONALE DE RECHERCHES HYDRAULIQUES, 12, 1967. Fort Collins. *Anais...* Fort Collins: Comptesrendus, 1967. p. 105-116.

ELEVATORSKI, E. A. Discussion on A Study of Bucket-type Energy Dissipator Characteristics. *Journal of Hydraulic Division*, v. 83, n. HY5, p. 1417-33-5, oct. 1957.

ELEVATORSKI, E. A. *Hydraulic Energy Dissipators*. New York: McGraw-Hill, 1959. 214 p.

ESTADOS UNIDOS. BUREAU OF RECLAMATION (USBR). *Design of Small Dams*. 3. ed. Denver: Government Printing Office, 1987, 860 p.

GANDOLFO, J. S.; COTTA, R. D. Dissipateur d'Energie. In: GENERAL MEETING OF THE IAHR, 6., 1955, La Haya. *Anais La Haya*. IAHR, v. 3, n. C23, p. 1-9, 1955.

KHATSURIA, R. M. *Hydraulics of Spillways and Energy Dissipators*. New York: Marcel Dekker, 2005.

LOPARDO, R. A., VERNET, G. F.; CHIVIDINI, M. F. Modelling the behaviour of high head hydraulic jump energy dissipators under flood conditions, In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON THE HYDRAULIC OF FLOODS & FLOOD CONTROL, 2., 1985, Cambridge, England. *Anais...* Cambridge, England: BHRA, The Fluid Engineering Center. Paper G1. 1985. p.313-323.

MACHADO, L. I. O Projeto de Dissipadores de Energia, Tipo Concha Lisa. *Revista do Instituto de Engenharia*, São Paulo, v. 415, p. 52-55. 1979.

MACHADO, L. I. Teoria do Trampolim Submerso de Lançamento Simples. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE GRANDES BARRAGENS, 1979, Recife. *Anais...* Recife: Comitê Brasileiro de Grandes Barragens. 1979. p. 31-45.

MARQUES, M. G. *Nouvelle approche pour le dimensionnement de dissipateurs à auge*. 328 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Faculté de Études Supérieures d de l' Université Laval, Québec, Canada, 1995.

MAYS, L. W. *Hydraulic Design Handbook*. New York: McGraw-Hill, 2004.

McPHERSON, M. B.; KARR, M. H. A Study of Bucket Type of Energy Dissipator Characteristics. *Journal of hydraulic division*, v. 83, p.1266-1-18, jun. 1957a.

McPHERSON, M.B.; KARR, M.H. (1957). Discussion by "A Study of Bucket-type Energy Dissipator Characteristics. *Journal of hydraulic division*, v. 83, n. HY4, p. 1348-57-64, aug. 1957b.

PETERKA, A. J. *Hydraulic Design of Stilling Basins and Energy Dissipators*. Washington, U.S.: Govt. Print. Off., 1957. 222 p.

RAJAN, B. H.; RAO, K. N. S. Design for Solid Roller Buckets. *Journal of Central Board of Irrigation and Power*, v. 37, n. 4, p. 435-444, 1980.

RAO, K.N.S. Design of Energy Dissipators for Large Capacity Spillways, In: SYMPOSIUM ON LAYOUT OF DAMS IN NARROW GORGES. Rio de Janeiro, 1982. v. 1. p. 311-328.



TAMADA, K. *Dissipadores de Energia com Baixo Número de Froude*: Estudo Experimental. 1989. 250 f. Tese (Doutorado em Engenharia Hidráulica e Sanitária) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 1989.

TOSO, J. W.; BOWERS, C. E. Extreme pressure in hydraulic jump stilling basins. *Journal of hydraulic engineering*, New York, v. 114, n. 8, p. 829-843, 1988.

VALENÇA, R.; CARVALHO D. Dimensionamento de bacias de dissipação em rampa contra-inclinada. *Revista brasileira de Engenharia* - Caderno de Recursos Hídricos, Rio de Janeiro, v. 7, n. 2, p. 83-102, 1989

### **Contribuição dos autores:**

Alba Valéria Brandão Canellas: organização da metodologia do trabalho, interpretação dos resultados e fechamento do texto

Maurício Dai Prá: interpretação dos resultados e fechamento do texto

Carlos Barreira Martinez: interpretação dos resultados e fechamento do texto

Eder Daniel Teixeira : interpretação dos resultados e fechamento do texto

Marcelo Giulian Marques: coleta de dados, organização dos dados, interpretação dos resultados, fechamento do texto.