

## COMPORTAMENTO LONGITUDINAL DAS PROFUNDIDADES DO ESCOAMENTO NO RESSALTO HIDRÁULICO

**EDUARDO MORAES ROSA<sup>1</sup>; JOANA SOUZA DE GUSMÃO<sup>2</sup>; MAURÍCIO DAI PRÁ<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>*Universidade Federal de Pelotas – duduardsr@yahoo.com.br*

<sup>2</sup>*Universidade Federal de Pelotas – joana.de.gusmao@hotmail.com*

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

### 1. INTRODUÇÃO

No Brasil ocorrem diversas situações de danos em bacias de dissipação causados pelos efeitos macroturbulentos do escoamento. A ocorrência desses problemas reforça a importância para o dimensionamento hidráulico e estrutural das bacias de dissipação e do conhecimento das características internas e externas do ressalto hidráulico (TEIXEIRA, 2008).

De acordo com Baptista e Lara (2013), o ressalto hidráulico é um fenômeno que corresponde a uma brusca elevação do nível d'água em um canal funcionando em regime permanente, ou seja, quando ocorre a passagem do escoamento supercrítico para subcrítico em uma curta distância, com o aparecimento de grande turbulência e dissipação de energia.

Cerezer (2008) também diz que o escoamento é caracterizado por uma elevação brusca no nível d'água acompanhada de uma instabilidade na superfície com ondulações e entrada de ar do ambiente e por uma consequente perda de carga em forma de grande turbulência. Na passagem do regime supercrítico para subcrítico, ocorre a formação de rolos d'água. A agitação da massa d'água favorece a penetração de ar no escoamento com o aparecimento de bolhas de ar. A turbulência criada no interior do ressalto e o movimento dos rolos produzem a dissipação de energia.

O ressalto hidráulico, atualmente, é aplicado com diferentes finalidades, como misturar produtos químicos em estações de tratamento de água, aerar águas de escoamento e aumentar a carga de um canal, sendo que uma das mais usadas é a dissipação de energia a jusante de estruturas hidráulicas (vertedouros, comportas, canais de macro drenagem), apresentando formas geométricas mais variadas (QUEVEDO, 2008).

Dada a sua importância, distintos autores propuseram a avaliação das profundidades do escoamento, dada a sua relação direta com a dissipação de energia, enfatizando aqui as propostas de Haddad *et al.* (1992), Equação 1, e de Hager (1992), Equação 2. A primeira por relacionar o ressalto hidráulico a uma onda estacionária e a segunda por considerar a diferença das alturas conjugadas do ressalto hidráulico fazendo relação com o comprimento do mesmo (DAI PRÁ, 2011).

$$\frac{y}{y_1} = \left[ 1 + \left( \frac{y_2}{y_1} - 1 \right) \cdot \sin \left( \frac{\pi \cdot x}{2 \cdot L_j} \right) \right]$$

EQUAÇÃO 1

$$\frac{y - y_1}{y_2 - y_1} = \tan h \cdot 1,5 \left( \frac{x}{L_r} \right)$$

EQUAÇÃO 2

Onde,

$Y_2$  = altura conjugada lenta;

$Y_1$  = altura conjugada rápida;

X = comprimento de escala horizontal tomado a partir do início do ressalto;

Y= altura do nível d'água para cada comprimento X;

Lr = comprimento do rolo;

Lj = comprimento total do ressalto.

O objetivo deste trabalho é verificar o comportamento longitudinal das profundidades do escoamento no ressalto hidráulico, a partir de resultados experimentais obtidos em canal didático e em canal de grande dimensão.

## 2. METODOLOGIA

O presente trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Hidráulica do curso de Engenharia Hídrica da Universidade Federal de Pelotas. Para a realização do experimento utilizou-se um canal didático retangular com 3 metros de extensão e 0,1m de largura, constituído de uma bomba e um medidor de vazão do tipo diafragma para as simulações de ressalto hidráulico.



Figura 1 - Ressalto hidráulico no canal didático utilizado no experimento.

Através do canal foram medidos os dados experimentais deste estudo. Tendo em vista a grande oscilação e turbulência da superfície d'água, foi feita, visualmente, uma linha média ao longo do perfil longitudinal e, a partir desta, foram medidas as alturas conjugadas ( $Y_1$  e  $Y_2$ ) com o auxílio de uma trena.

A determinação dos comprimentos do ressalto (Lj) e do rolo (Lr) foi realizada visualmente, observando-se as bolhas de ar e agitação da água para delimitar o Lr e a distância horizontal até o ponto em que a superfície d'água é normalizada para determinar Lj.

A partir destes comprimentos, calculou-se as alturas Y pelas Equações 1 e 2, comparando-as com as alturas Y, medidas visualmente a cada 0,05 m.

Os dados do canal de grandes dimensões foram extraídos de Dai Prá (2011). O circuito hidráulico a qual o modelo esta vinculado consiste de: canal-reservatório inferior, reservatório superior, o canal de ensaios e um sistema de

tubulação de ferro fundido. No total o canal tem 46 metros de extensão com 1,15 metros de largura, e o trecho onde podem ser feita as medições tem 12 metros de extensão.

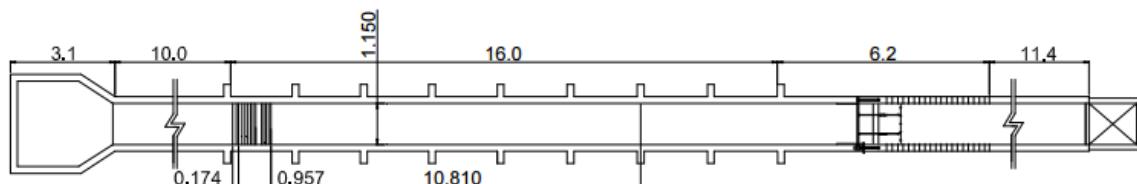


Figura 2 – Canal de grandes dimensões utilizado por Dai Prá (2011).

Os resultados obtidos nos trabalhos foram comparados com os obtidos pelas equações propostas por Haddad *et al.* (1992) e Hager (1992).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na comparação dos resultados usou-se  $\bar{x}$  e  $\bar{y}$  adimensionais, e considerou-se que  $L_j = \frac{4}{3} L_r$  para que a equação de Haddad *et al.* (1992) se adequasse ao eixo das abscissas da figura. Sendo assim foram plotados os dados de nove ensaios coletados em laboratório e seis, e relacionados com os resultados teóricos – em um mesmo gráfico (figura 3).

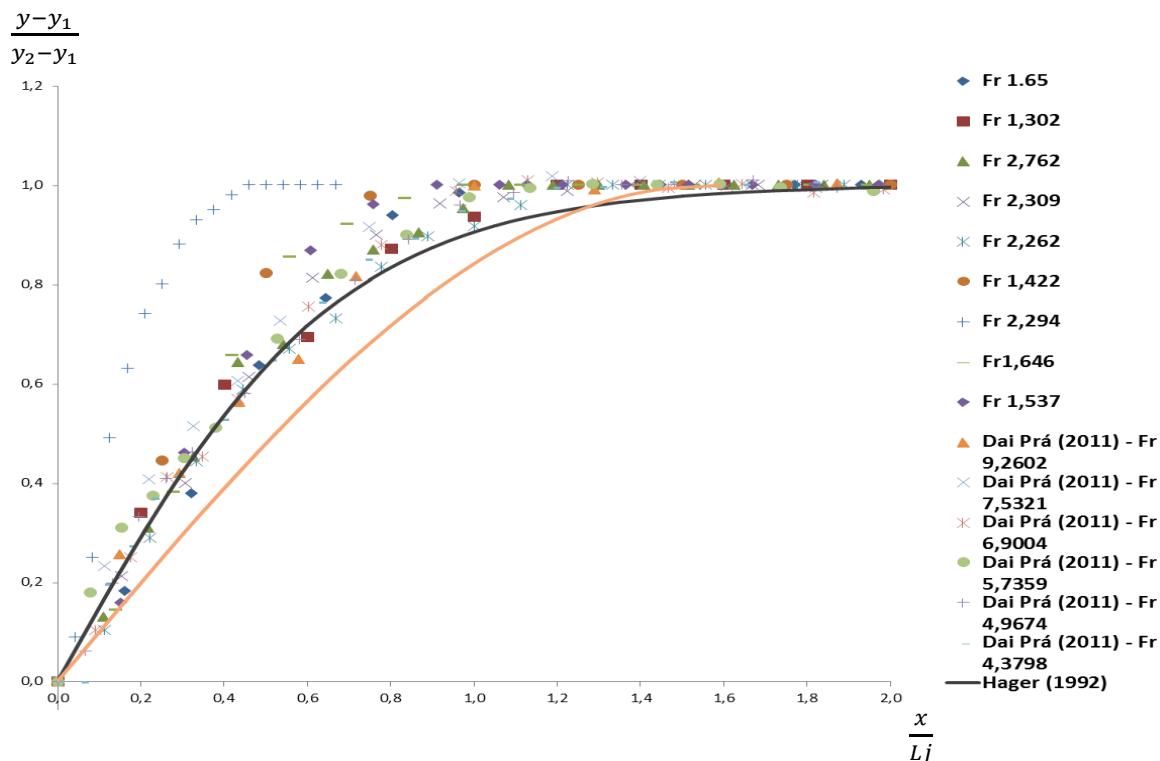


Figura 3 – Gráfico com todos dados adimensionais plotados.

De acordo com a figura 3, observa-se que o comportamento do ressalto é bem descrito pela proposta de Hager (1992), tendo certa variação na curva do gráfico, mas por se tratar do rolo gerado pelo ressalto, que é a parte mais complicada – de ter precisão durante a medição. Já o modelo de Haddad *et al.*

(1992) tem mais discrepância, porém ambos se estabilizam no mesmo ponto. Percebe-se também que um dos ensaios, aquele com  $Fr = 2,292$ , está destoando bem mais do que o esperado, mas foi relatado formação de bolhas no medidor de vazão devido ao excesso de água utilizada neste teste.

#### 4. CONCLUSÕES

Concluiu-se que independente do tamanho do canal é possível obter resultado satisfatório com as equações citadas. E mesmo com certa dificuldade de efetuar a medição em alguns locais do ressalto, notou-se que o modelo de Hager (1992) se adaptou muito melhor que o de Haddad et al. (1992) em ambos canais.

Já que o estudo desenvolvido teve um resultado satisfatório, a pesquisa terá continuidade, sendo testadas novas vazões e inclinações do canal, assim como medições a partir da análise de imagens.

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

SAUMA HADDAD, J. C.; DE LIO, J. C.; LOPARDO, R. A. (1992). **Una aproximación Analítica para la Superficie Libre del Resalto Hidráulico.** XV Congresso Latinoamericano de Hidráulica, Cartagena, Colombia, 11p.

HAGER, W. H. (1992). **Energy Dissipators and Hydraulic Jump.** Water Science and Technology Library, Kluwer Academic Publishers, 289 p.

BAPTISTA, M.; LARA, M. **Fundamentos de Engenharia Hidráulica.** Belo Horizonte-MG: Editora UFMG, 2014.

CEREZER, S.M. **Uso da teoria dos valores extremos para estimar valores de pressões hidrodinâmicas em um ressalto hidráulico formado a jusante de um vertedouro: o caso da UHE Porto Colômbia.** 2008. 190f. Tese de Doutorado. Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre-RS.

DAI PRÁ, M. **Uma Abordagem Para a Determinação das Pressões Junto ao Fundo de Dissipadores de Energia por Ressalto Hidráulico.** 2011. 208f. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre-RS.

QUEVEDO, D.M. **Análise de pressões junto ao fundo no ressalto hidráulico formado a jusante de um vertedouro através da distribuição bivariada de valores extremos.** 2008. 185f. Tese de Doutorado. Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre-RS.

TEIXEIRA, E. D. **Efeito da Escala na Previsão dos Valores Extremos de Pressão Junto ao Fundo em Bacias de Dissipação por Ressalto Hidráulico.** 2008. 293f. Tese de Doutorado. Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre-RS.