

## ANÁLISE TEMPO X FREQUÊNCIA DE FLUTUAÇÕES DE PRESSÃO EM VERTEDOR EM DEGRAUS

Alfredo Ramón Lopez Fernández<sup>(1)</sup>, Augusto Ceron Reginatto<sup>(2)</sup>, Felipe Correia Presser<sup>(3)</sup>,  
Alba Valéria Brandão Canellas<sup>(4)</sup>, Marcelo Giulian Marques<sup>(5)</sup>  
e Luiz Augusto Magalhães Endres<sup>(6)</sup>

(1) FIUNA, Paraguai, lopito.82@gmail.com; (2) UFRGS - IPH, Brasil, augusto.creginatto@gmail.com, (3) UFRGS - IPH, Brasil, felipe.presser@ufrgs.br, (4) FURNAS, Brasil, alba@furnas.com.br, (5) UFRGS - IPH, Brasil, mmarques@iph.ufrgs.br, (6) UFRGS - IPH, Brasil, endres@ufrgs.br

### Introdução

Os escoamentos macro turbulentos podem originar fenômenos hidráulicos bastante complexos, alvo de inúmeros estudos atuais, independente da estrutura em que são originados.

Nos vertedores em degraus, este tipo de escoamento recebe grande influência do tamanho dos degraus e das vazões escoadas por este tipo de estrutura hidráulica. A ampliação do conhecimento dos processos internos destes escoamentos pode ser utilizada na otimização de projetos, buscando, por exemplo, evitar a ocorrência de danos à estrutura e incremento de perdas de energia, para o que foi prevista.

A consideração, a priori, de comportamento estacionário dos parâmetros hidráulicos normalmente investigados em modelos físicos reduzidos deve ser confirmada ou, ao menos, avaliada em que medida pode ser assumida, visando dar base às conclusões e considerações finais dos estudos de laboratório. As características de pressões dinâmicas exercidas sobre os contornos sólidos desses escoamentos podem ser melhor esclarecidas com a investigação dos aspectos de repetitividade de efeitos ao longo de posições e instantes em que ocorrem.

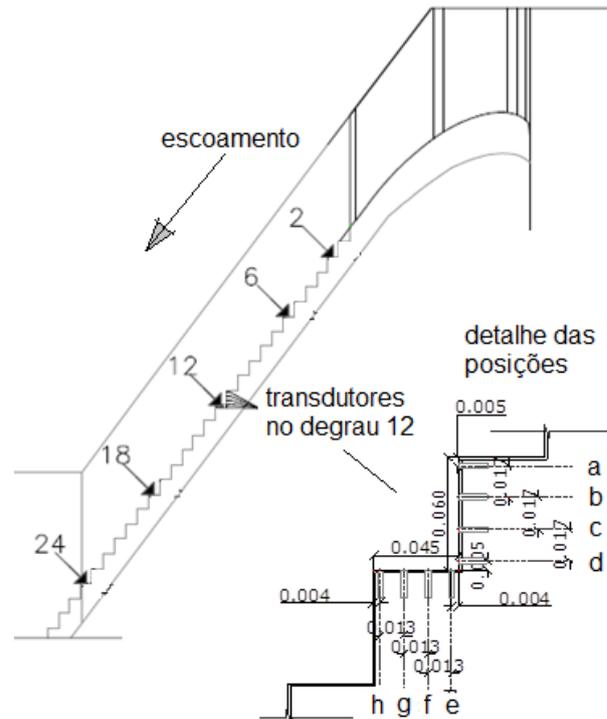
O trabalho, aqui apresentado, faz parte de uma pesquisa desenvolvida por aluno do Programa de Pós-graduação em Engenharia de Recursos Hídricos da Faculdade de Engenharia da Universidade Nacional de Assunção – Paraguai. A pesquisa está inserida em um tema voltado à análise da macro turbulência em estruturas de dissipação de energia, através do estudo de variação instantânea das propriedades dos escoamentos no Laboratório de Obras Hidráulicas, Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Brasil, fazendo parte do projeto de pesquisa e desenvolvimento Análise da Macro Turbulência em Vertedores em Degraus com Aeração Induzida em parceria com o Laboratório de Hidráulica Experimental de Furnas Centrais Elétricas S. A.

### Metodologia

A instalação experimental utilizada é um modelo reduzido parcial, em escala 1:10, de um vertedor em degraus. O modelo possui 2,45 m de altura, 0,40 m de largura e um canal de restituição a jusante. O vertedor possui uma inclinação de aproximadamente 53° com a horizontal e ogiva do tipo Creager projetada para uma carga de 0,4 m. Os degraus possuem 0,045 m de patamar e 0,060 m de espelho.

A figura 1 apresenta uma vista lateral esquemática do vertedor em degraus com o detalhe das posições das tomadas de pressão no eixo longitudinal central do degrau 12, denominadas **a**, **b**, **c**, **d** no espelho e **e**, **f**, **g**, **h** no patamar.

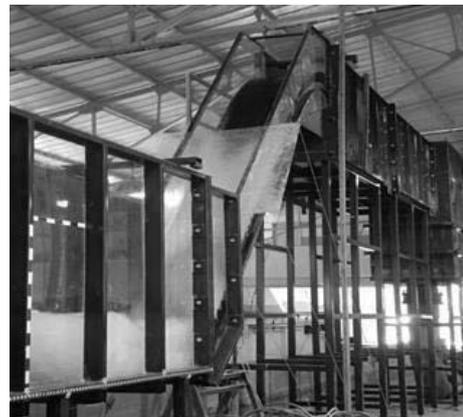
Os valores de pressão foram medidos com transdutores eletrônicos de pressão, simultaneamente nas 8 tomadas, a uma frequência de aquisição de 100 Hz durante 15 minutos, para 4 diferentes vazões de água: 0,04, 0,08, 0,10 e 0,11 m<sup>3</sup>/s, em escala de modelo. Após identificação das informações de interesse do trabalho, foram aplicados filtros digitais passa banda, na faixa entre 1 e 30 Hz às séries de dados medidas.



**Figura 1.-** Vista lateral do vertedor em degraus e detalhe das posições (a, b, c, d, e, f, g, h) das tomadas de pressão (medidas em m) no degrau.

Convertidos os valores de tensão elétrica provenientes dos transdutores para as pressões correspondentes no formato de alturas piezométricas em metros, foram utilizadas rotinas computacionais para obtenção de estimativas das funções de densidade auto espectral e dos espectrogramas característicos da análise no domínio tempo-frequência.

As figuras 2 e 3 apresentam fotografias do aspecto geral da instalação e uma vista lateral do escoamento sobre os degraus, respectivamente.



**Figura 2.-** Aspecto geral da instalação.

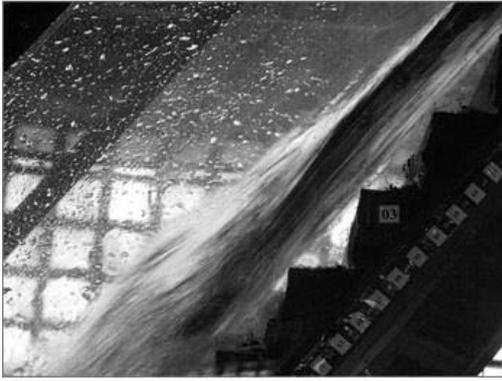


Figura 3.- Vista lateral do escoamento sobre os degraus.

## Resultados e conclusões atuais

Neste resumo estendido, por questões de espaço, estão sendo apresentados resultados de uma pequena parcela das análises realizadas na pesquisa e com algumas avaliações e considerações ainda em etapa de confirmação, nesta data, no âmbito da pesquisa original.

A figura 4, a seguir, apresenta os gráficos com as estimativas das funções de densidade auto espectrais das flutuações de pressão para a vazão de  $0,08 \text{ m}^3/\text{s}$  no espelho (tomadas a, b, c, d) e patamar (tomadas e, f, g, h) do degrau de número 12.

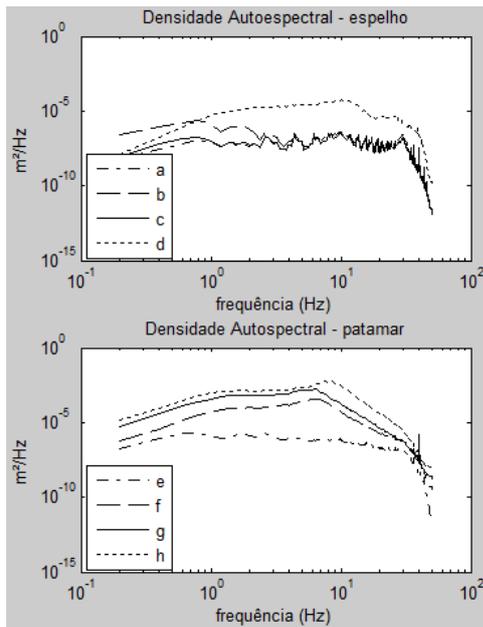


Figura 4.- Densidades autoespectrais das flutuações de pressão no degrau 12 –  $Q = 0,08 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Neste tipo de estimativa, normalmente empregada na representação da decomposição em frequência da flutuação de grandezas em processos estatisticamente considerados como estacionários, voltando a atenção para a região do patamar é possível perceber maior energia da flutuação no ponto mais próximo do final do patamar, decrescendo em direção ao início, em toda a faixa de frequências analisada. No espelho do degrau este padrão de comportamento não se repete da mesma forma.

Complementando o resultado anterior, as figuras 5 (espelho do degrau) e 6 (patamar do degrau) apresentam as distribuições de energia de flutuação das pressões, para cada frequência na faixa de interesse (1 a 30 Hz), ao longo do tempo de duração dos ensaios (900 segundos). Vale destacar que os gráficos contêm linhas de contorno dos valores de energia mais significativos,

mas esta magnitude não aparece com clareza no gráfico em escala de cinza, aqui utilizada em virtude de não serem permitidas escalas de cor no texto.

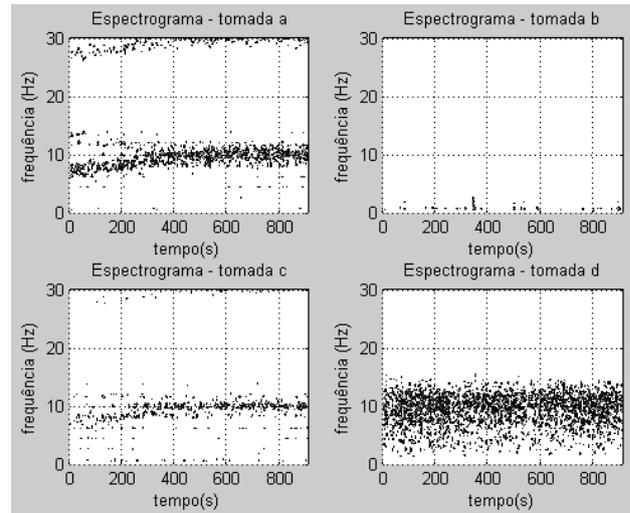


Figura 5.- Espectrogramas das flutuações de pressão no espelho do degrau 12 –  $Q = 0,080 \text{ m}^3/\text{s}$ .

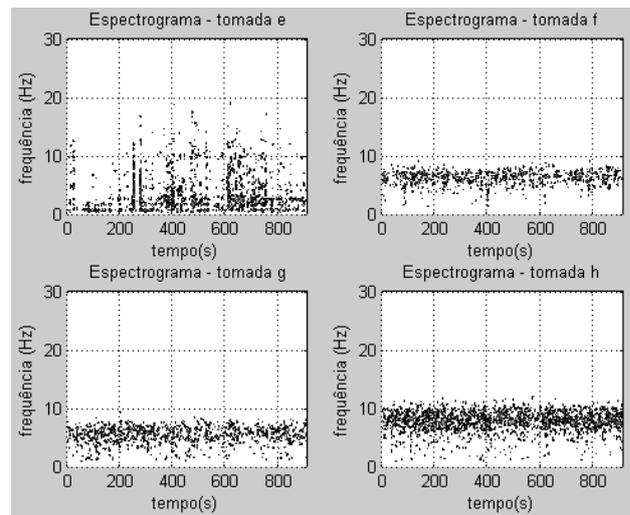


Figura 6.- Espectrogramas das flutuações de pressão no patamar do degrau 12 –  $Q = 0,080 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Na figura 5 em conjunto com a figura 4, as flutuações de pressão na tomada 'a' ocorrem com amplitudes mais reduzidas, no entanto são visíveis em pelo menos dois valores de frequências e com alguma variabilidade ao longo do tempo, efeito este que deverá ter sua significância no processo avaliada com maior detalhe. Na tomada 'd', as amplitudes de variação são maiores (maior energia) espectral, definida em torno dos 10 Hz, com alguma dispersão em torno deste valor.

Por outro lado, na figura 6 em conjunto com a figura 4, as flutuações de pressão na tomada 'g' apresentam amplitudes intermediárias, porém agora mais concentradas em torno dos 6 Hz. Diferente disto, a tomada 'h' apresenta amplitudes de flutuação elevadas, voltando a concentrar-se em torno dos 10 Hz.

Considerando a proximidade dos pontos de tomada de pressão aqui apresentados e das diferentes características destacadas, fica confirmada a complexidade dos fenômenos envolvidos neste tipo de escoamento e justificada sua investigação com ferramentas de análise recomendadas, visando maior detalhe que possa ser incorporado aos critérios de projeto correntes.