

<http://dx.doi.org/10.1590/2318-0331.011615180>

Método de determinação de pressões em bacias de dissipação a jusante de vertedores tipo salto esqui

Pressure determination method in stilling basins downstream of ski jump spillways

Franco Turco Buffon¹ e Marcelo Giulian Marques¹

¹Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil

E-mails: francobuffon@gmail.com (FTB), mmarques@iph.ufrgs.br (MGM)

Recebido: Dezembro 11, 2015 - Revisado: Março 28, 2016 - Aceito: Abril 15, 2016

RESUMO

Este artigo trata da ação dos jatos formados em vertedouros tipo salto esqui sobre bacias de dissipação tipo fossa pré-escavada, dando especial ênfase às pressões hidrodinâmicas e sua caracterização junto ao fundo da bacia. Para estudar experimentalmente a ação dos jatos nas bacias de dissipação, utilizou-se de um modelo físico construído no Laboratório de Obras Hidráulicas do IPH/UFRGS com ensaios de diferentes vazões e cotas de fossas pré-escavadas. As pressões dinâmicas observadas no modelo físico foram comparadas com as calculadas por meio de metodologia teórica com a finalidade de avaliar a sua aplicação em projetos de engenharia, onde se observou grandes diferenças de magnitude da pressão quando em colchões rasos, e diferenças de distribuição de pressão ao longo do fundo da bacia de dissipação, principalmente quando em colchões profundos. No sentido de ajustar a metodologia aplicada, foi proposta a variação de parâmetros que regulam a forma do bulbo de pressões formado pelo jato e a aplicação de um coeficiente de amortecimento de pressões, sendo que assim foi possível melhorar significativamente a distribuição e a magnitude das pressões calculadas devidas à ação dos jatos no fundo da bacia de dissipação. Os resultados se mostram satisfatórios até determinada distância após o pico de pressão provocado pelo jato, porém após este ponto, os efeitos de ressalto hidráulico prevalecem e devem ser pesquisados em estudos futuros.

Palavras-chave: Vertedouro salto esqui; Dissipação de energia; Pressões dinâmicas.

ABSTRACT

This paper discusses the action of jets formed in ski jump spillways on pre-excavated stilling basins, with special emphasis on hydrodynamic pressures and their characterization in the bottom of the basin. Experimental trials were performed on a physical model built in the Hydraulic Works Laboratory of IPH (Institute of Hydraulic Research)/UFRGS (Federal University of Rio Grande do Sul), applying different flows and depths, to study the action of the jets in stilling basins. The dynamic pressures observed in the physical model were compared with those calculated by a theoretical model in order to evaluate its application in engineering projects. Large pressure magnitude differences were observed in shallow water beds, while differences in pressure distribution were observed along the stilling basin bottom, especially when in deep water beds. Changes in the values of the parameters that regulate the shape of the pressure bulb formed by the jet were proposed, in combination with the use of a pressure damping coefficient, allowing to significantly improve the distribution and magnitude of the pressures calculated due to the action of jets in the stilling basin bottom. The results were satisfactory until a certain distance after the peak pressure caused by the jet. After this point, the hydraulic jump effects prevail and should be investigated in future studies.

Keywords: Ski jump spillway; Energy dissipation; Dynamic pressures.



INTRODUÇÃO

As fossas de erosão ocorrem devido à interação das condições do escoamento (flutuações de pressão e de velocidades) com a formação rochosa do local, sua evolução pode colocar em risco a segurança do barramento devido ao comprometimento de sua base e fundações. O processo erosivo ocorre devido, principalmente, à ação das flutuações de pressão provocadas pelo jato que incide no colchão d'água e que são transmitidas através das fraturas que caracterizam o maciço rochoso.

A metodologia de cálculo de pressões dinâmicas foi desenvolvida originalmente para jatos incidentes perpendicularmente ao fundo da bacia. Segundo Hartung e Hausler (1973), quando um jato adentra um colchão d'água em repouso, ele se dispersa de forma linear (Figura 1), assim como, os contornos do núcleo também são lineares e caracterizam-se pelo fato de ter a mesma velocidade que na seção de impacto e, portanto, com pressão hidrostática agindo ao longo deste mesmo contorno.

Magela (1996) apresenta o desenvolvimento do método para estimativa das pressões hidrodinâmicas, apresentado originalmente por Hartung e Hausler (1973), o qual calcula a flutuação de pressão (P_d ; ou pressão dinâmica, que se refere à pressão média subtraída do nível do colchão d'água) para determinadas coordenadas x (transversal ao jato) e y (eixo do jato), em qualquer local da bacia de dissipação (fossa de erosão), conforme a equação apresentada a seguir.

$$P_d = \frac{y_k}{y} \cdot \frac{V_0^2}{2 \cdot g} \cdot e^{-\frac{\pi}{16} \left(\frac{x}{y} \right)^2} \quad (1)$$

Sendo que, x (transversal) e y (longitudinal) são as coordenadas dentro da bacia de dissipação em relação ao eixo do jato (m) e sua origem (0,0) é o ponto de incidência do jato no colchão d'água;

P_d é a pressão dinâmica (m.c.a.) nas respectivas coordenadas x e y da bacia de dissipação; y_k o comprimento do núcleo do jato (m), V_0 a velocidade do jato no seu núcleo (m/s), g é a aceleração da gravidade (m/s^2). Magela (1996) destaca que essa metodologia fornece pressões dinâmicas maiores que as reais e, portanto, a favor da segurança. O resultado da aplicação dessa equação é um bulbo de pressões decorrentes do processo de difusão do jato na massa da água a jusante do dissipador salto-esqui, conforme pode ser visto na Figura 2, que apresenta a aplicação dessa metodologia para o caso de vertedouros tipo salto esqui.

Uma das diferenças entre os conceitos teóricos e o que de fato ocorre a jusante de um vertedouro salto esqui é uma perturbação maior (em termos de distância) a jusante do ponto de impacto do jato no fundo da bacia (Figura 3). Esse efeito não é reproduzido pela metodologia atualmente aplicada no cálculo das pressões.

Na Figura 3, D é a espessura do jato (m). As pressões hidrodinâmicas a jusante dos dissipadores tipo salto esqui podem ser estimadas de duas maneiras (MAGELA, 1996): através de medições em modelos físicos reduzidos; ou através de cálculos hidráulicos. A seguir será apresentado o modelo físico de escala reduzida onde foram realizados ensaios hidráulicos para determinação das pressões médias em uma bacia de dissipação a jusante de um salto esqui, assim como o cálculo das pressões pela metodologia apresentada aplicada ao modelo físico.

MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia adotada consiste em analisar a magnitude e a distribuição longitudinal das pressões junto ao fundo de bacias de dissipação pré-escavadas a jusante de vertedouros tipo salto esqui através de estudos experimentais para posterior comparação

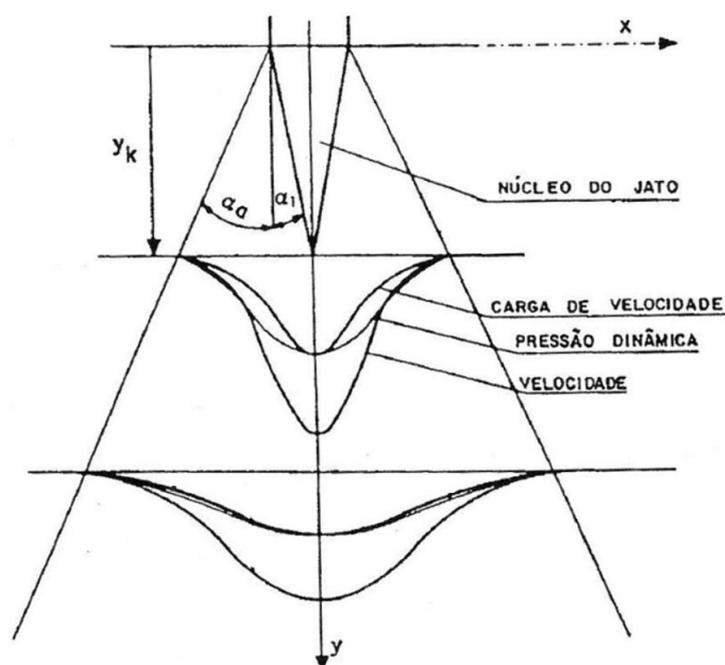


Figura 1. Comportamento teórico do jato em um colchão d'água ilimitado. Adaptado de Hartung e Hausler (1973).

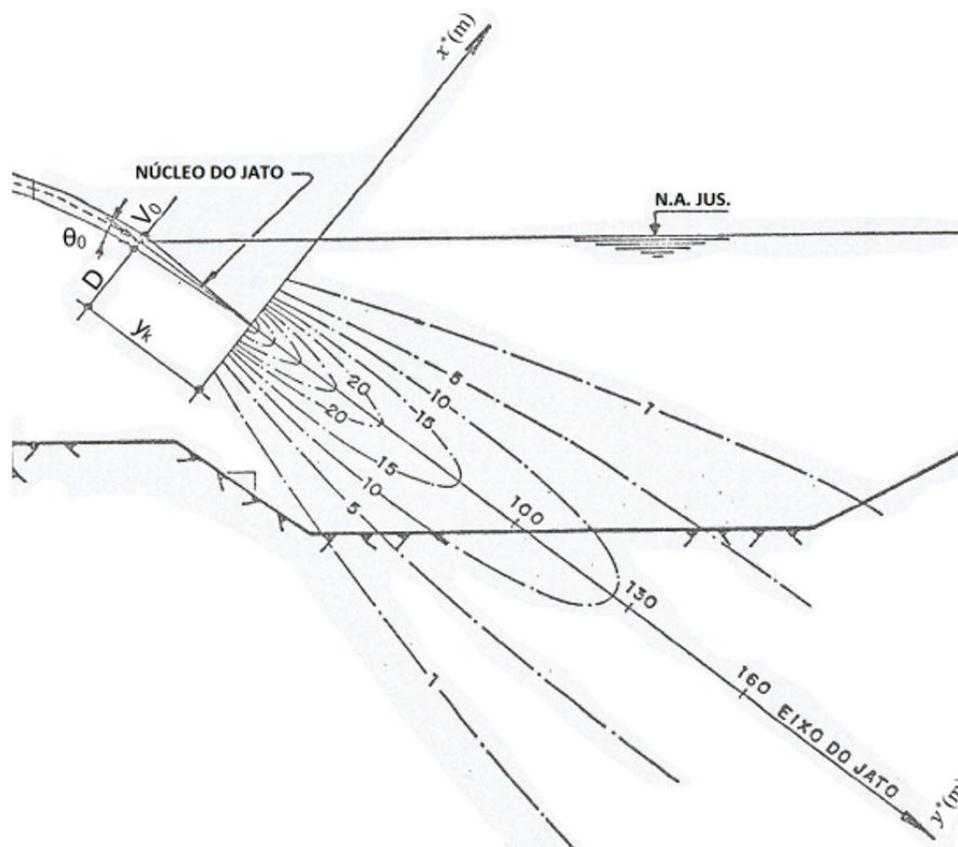


Figura 2. Bulbo de pressões dinâmicas. Adaptado de Magela (1996).

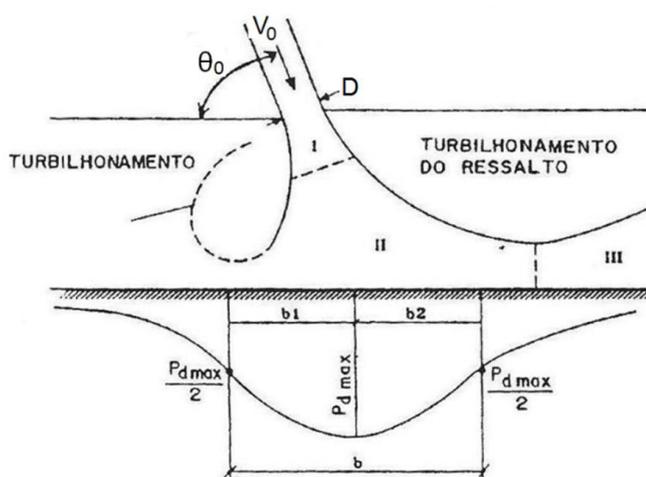


Figura 3. Regiões do fluxo do jato. Adaptado de Pinto (2004).

com os valores obtidos por meio da Equação 1 e propor melhorias no método de cálculo.

Para estudar experimentalmente a ação dos jatos nas bacias de dissipação utilizou-se de um modelo físico de escala 1:100 com ensaios de diferentes vazões e diferentes cotas de fossas de erosão pré-escavadas (Figura 4).

O modelo físico utilizado é semelhante ao vertedouro tipo salto esqui da UHE Luiz Carlos Barreto de Carvalho (LCBC), construído (Figura 5) no Laboratório de Obras Hidráulicas (LOH) do Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH/UFRGS), e desenvolvido em parceria com o Laboratório de Hidráulica Experimental e Recursos Hídricos (LAHE/FURNAS), dentro do P&D “Análise dos Processos Físicos Envolvidos na Formação de Fossas de Erosão em Leito Coesivo a Jusante de Salto de Esqui”.

Os dados obtidos neste estudo se referem à faixa de valores de número de Reynolds que variam de 13.700 até 194.245, e números de Froude que variam de 3,13 até 4,87, calculados a partir da velocidade e da espessura da lâmina d’água no final do defletor. As principais características do modelo estão apresentadas na Tabela 1, sendo que neste trabalho todas as medidas apresentadas se referem às dimensões de modelo.

As medições referentes à altura do escoamento na saída do jato no final do defletor do vertedouro salto esqui foram realizadas com uma ponta linimétrica instalada sobre a calha, perpendicularmente ao escoamento, conforme está apresentado na Figura 6.

As tomadas de pressão no fundo da bacia de dissipação foram conectadas a piezômetros de modo a se caracterizar as pressões médias. Todos os ensaios com piezômetros foram registrados durante 10 minutos por meio de vídeos e, através do processamento dos mesmos em uma rotina de computação, foram determinados os valores médios de cada tomada.

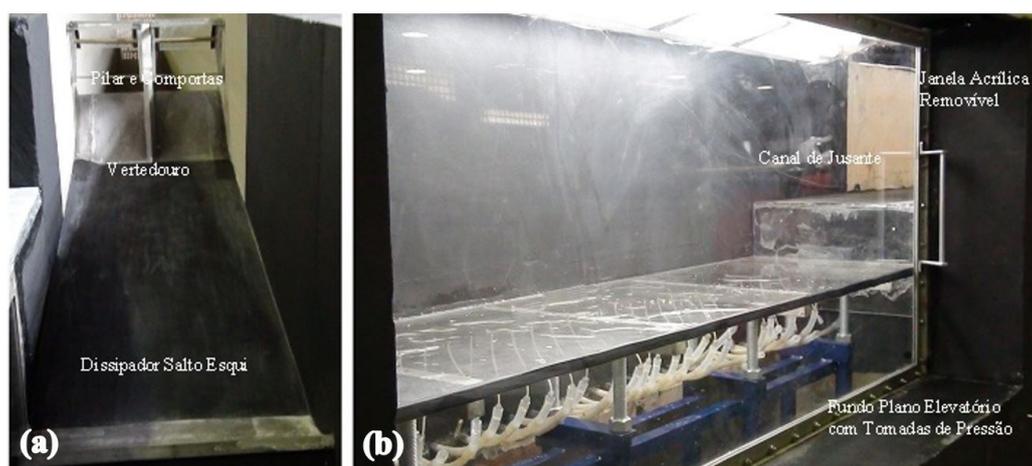


Figura 4. Modelo físico utilizado (a) vertedouro salto-esqui, vista frontal; (b) bacia de dissipação, vista lateral.

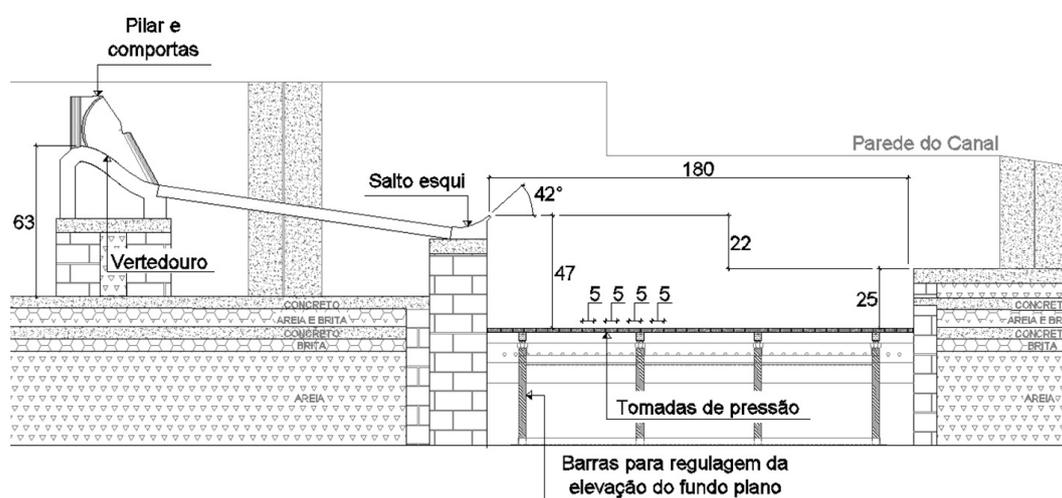


Figura 5. Esquema de construção do modelo físico utilizado.

Tabela 1. Características geométricas do modelo físico.

Nível máximo no reservatório (cm)	626,64
Nível mínimo no reservatório (cm)	618,50
Cota de fundo do canal de aproximação (cm)	554,86
Cota da soleira do vertedor (cm)	606,30
Cota no final do defletor (cm)	577,07
Largura total do vertedor (cm)	50
Largura do vão (cm)	23,5
Largura do pilar (cm)	3,0
Número de pilares	1
Número de vãos	2
Raio das comportas (cm)	16
Declividade da calha do vertedor (graus)	14
Ângulo de lançamento (graus)	42
Cota mínima da bacia de dissipação (cm)	530,0
Cota do canal de jusante (cm)	555,0

A Tabela 2 apresenta as características do escoamento para cada vazão ensaiada nos ensaios do modelo físico construído no LOH/IPH para representação de fossas pré-escavadas. Para todas estas vazões foram realizados ensaios com as cotas da pré-escavação iguais a 530, 540, 555 e 563 cm.

Tabela 2. Características do escoamento no lançamento do jato.

Vazão (L/s)	Lâmina (cm)	Velocidade (m/s)	Reynolds	Froude
6,81	1,00	1,37	13.700	4,37
13,62	1,47	1,85	27.195	4,87
20,43	1,95	2,10	40.950	4,80
27,25	2,43	2,25	54.675	4,61
58,30	4,60	2,53	116.380	3,77
97,26	7,33	2,65	194.245	3,13

COMPARAÇÃO ENTRE OS RESULTADOS MEDIDOS E CALCULADOS

Nas Figuras 7 a 10 apresentadas a seguir podem ser visualizadas as comparações entre os valores obtidos nos ensaios (observados) e os calculados pela metodologia anteriormente apresentada para a vazão de 58,30 L/s (Re: 116.380, Fr: 3,77). A diferença entre os dados observados e calculados podem ser claramente identificadas. Nas menores profundidades, onde o comprimento do núcleo do jato é menor que a distância percorrida em sua fase submersa ($y < y_d$), fora da faixa de aplicação recomendada por Magela (1996),



Figura 6. Ponta limimétrica utilizada nos ensaios.

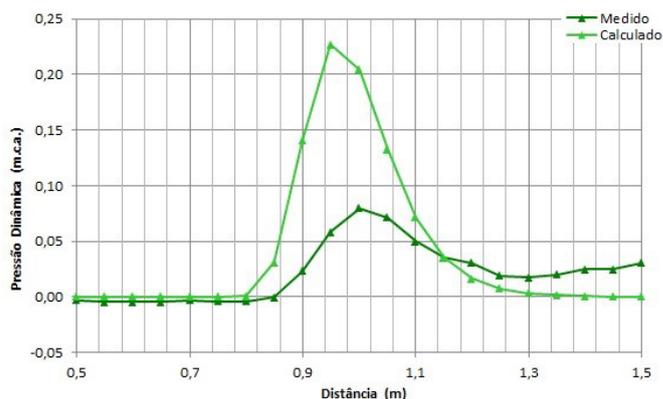


Figura 9. Comparação da pressão dinâmica média medida com os valores calculados; cota da bacia: 540 cm.

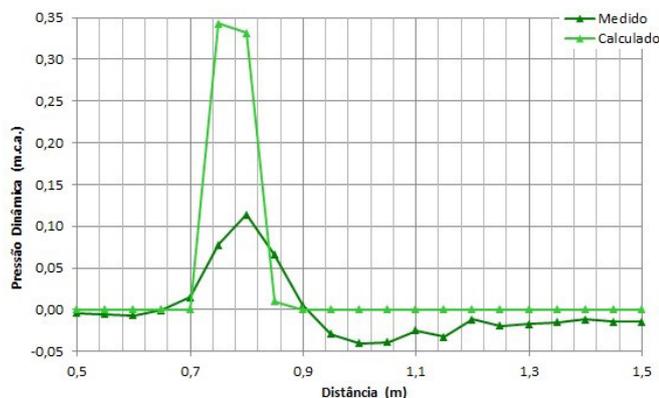


Figura 7. Comparação da pressão dinâmica média medida com os valores calculados; cota da bacia: 563 cm.

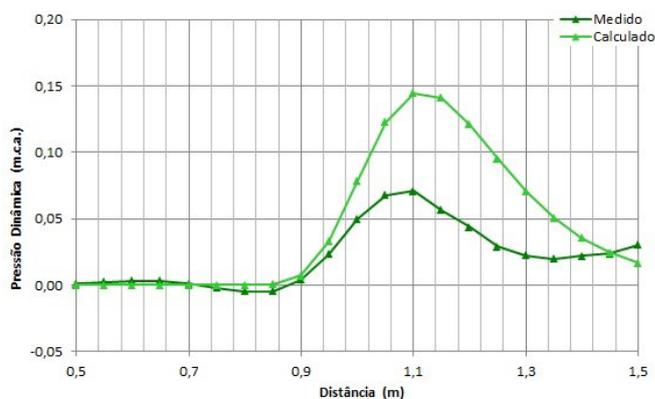


Figura 10. Comparação da pressão dinâmica média medida com os valores calculados; cota da bacia: 530 cm.

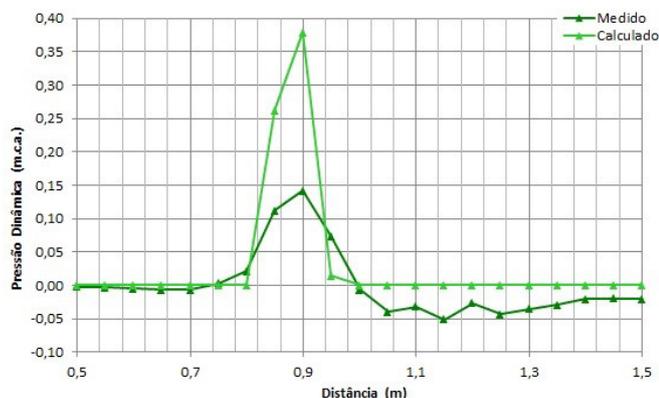


Figura 8. Comparação da pressão dinâmica média medida com os valores calculados; cota da bacia: 555 cm.

a metodologia apresenta maior dificuldade em representar tanto a distribuição quanto a magnitude das pressões.

Percebe-se a partir da observação dos gráficos acima, que quanto menor a profundidade da bacia de dissipação, ou seja, quanto menor a altura do colchão d'água na bacia e, conseqüentemente, menor a distância percorrida pelo jato na sua fase submersa, maior será a magnitude da pressão dinâmica calculada junto ao fundo da bacia pela metodologia utilizada em relação à pressão observada, apresentando as maiores diferenças de cálculo. Assim como o esperado, as pressões dinâmicas tendem a apresentar uma maior magnitude próximas a região de impacto do jato.

Em relação às distribuições das pressões dinâmicas calculadas junto ao fundo da bacia, quanto maior o percurso do jato submerso, também é maior a dispersão das pressões dinâmicas, provocando a elevação das pressões calculadas em uma região maior do fundo da bacia do que a região observada nos ensaios do modelo físico, conseqüentemente também é maior o erro relativo da distribuição das pressões. Provavelmente esse fato também se deve aos efeitos de aeração e dissipação do jato em sua fase submersa.

De modo geral, a metodologia de cálculo de pressões dinâmicas em fundos de bacias de dissipação devido à ação de jatos formados em vertedores tipo salto esquí apresenta uma boa correlação com os resultados observados por meio da utilização de ensaios em modelo físico de escala reduzida. Apesar das diferenças de magnitude quando em colchões rasos e das diferenças de distribuição quando em colchões profundos, a representatividade das pressões provocadas pela ação dos jatos junto ao fundo da bacia através da metodologia de cálculo é nítida.

METODOLOGIA DE DETERMINAÇÃO DE PRESSÕES DINÂMICAS

A metodologia de cálculo de pressões dinâmicas foi desenvolvida originalmente para jatos incidentes perpendicularmente ao fundo da bacia (Figura 1), porém os jatos formados em vertedores tipo salto esquí incidem no colchão d'água inclinado

(Figura 2), sofrendo a influência do fundo da bacia de dissipação de modo diferenciado.

Manso (2006) discute a influência da geometria das fossas de erosão e também apresenta a redução da pressão no fundo da fossa de erosão de fundo plano devido ao aumento do nível de água na bacia (fossa de erosão) de dissipação (Figura 11). Nota-se pela Figura 11, que a medida a profundidade do colchão d'água aumenta, a pressão dinâmica no fundo da bacia diminui. No entanto, o autor também não considera a incidência do jato com inclinação em relação ao colchão d'água, somente o considera de modo perpendicular.

Uma das diferenças entre os conceitos da metodologia de cálculo e a prática é devido ao fato de ocorrer o ressalto hidráulico em direção a jusante, provocando acréscimo de pressões menor (em termos de distância) a montante do ponto de impacto do jato no fundo da bacia, e um acréscimo de pressões maior (em termos de distância) a jusante do ponto de impacto do jato no fundo da bacia.

Neste trabalho é demonstrado que há possibilidade de melhorar os resultados com base em pequenos ajustes aplicados sobre a equação de determinação da flutuação das pressões (pressões dinâmicas) apresentada por Magela (1996), e dessa forma aproximar os resultados do cálculo à realidade observada em modelos físicos. Para ajustar os resultados foram utilizados parâmetros variáveis que regulam a forma do bulbo de pressões e um coeficiente de amortecimento do valor de pressão calculado, desta forma é possível adequar a intensidade e a distribuição das pressões do modelo físico ao longo do fundo da bacia.

Os ajustes na Equação 1 foram realizados de modo empírico, visualmente, e as alterações propostas são baseadas no que foi discutido acima e estão apresentadas a seguir:

$$P_d = C_a \cdot \frac{y_k}{y} \cdot \frac{V_0^2}{2 \cdot g} \cdot e^{-\frac{\pi}{a} \cdot \left(\frac{b \cdot x}{y}\right)^2} \quad (2)$$

Onde C_a é um coeficiente de amortecimento com objetivo de reduzir o valor de pressão calculada; e os coeficiente a e b regulam a forma do bulbo de pressões provocadas pelo jato para adaptá-lo as condições de contorno.

Forma do bulbo de pressões

O que se observou nos ajustes dos coeficientes que regulam a forma do bulbo de pressões (a e b) é que ocorre um achatamento do bulbo de pressões para uma determinada vazão à medida que se eleva a cota do fundo da bacia de dissipação. Na Figura 12 estão apresentados os gráficos do bulbo de pressão para a vazão de 27,25 L/s, já ajustados de acordo com os coeficientes empíricos, para todas as cotas da bacia de dissipação ensaiadas. Nessa figura foi considerada a incidência do jato pelo centro do lado superior da mesma, sendo as regiões com maiores pressões com cores mais próximas ao vermelho, e as regiões com menores pressões com cores mais próximas ao verde.

Os valores dos coeficientes a e b foram definidos empiricamente em função de um coeficiente adimensional de dissipação que representa as características do jato e da bacia de dissipação. O coeficiente adimensional de dissipação utilizado é representado pela Equação 3, apresentada a seguir:

$$\varphi = \left(\frac{Y}{Y_L} \right) \cdot \left(\frac{V_0^2}{\frac{2 \cdot g}{D}} \right) \quad (3)$$

Onde φ é o coeficiente adimensional de dissipação, Y é a profundidade de água na bacia de dissipação (m), medida por meio dos piezômetros instalados próximos ao final do defletor e Y_L é a altura conjugada lenta do ressalto hidráulico formado pelo jato (m). A altura conjugada lenta do ressalto hidráulico é calculada pela equação de Belanger, conforme apresentado a seguir:

$$Y_L = 0,5 \cdot \left(\sqrt{1 + 8 \cdot F_r^2} - 1 \right) \cdot D \quad (4)$$

Onde F_r é o número de Froude calculado com os parâmetros obtidos por meio dos dados observados na saída do jato no final do defletor. Na Figura 13 e Figura 14 a seguir podem ser visualizados os valores dos coeficientes a e b em função do

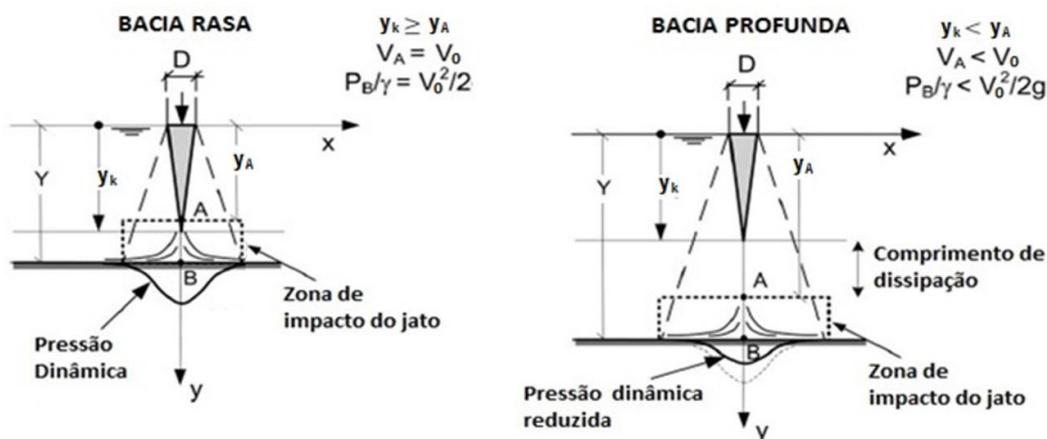


Figura 11. Difusão de jato turbulento em bacia com profundidade limitada. Adaptado de Manso (2006).

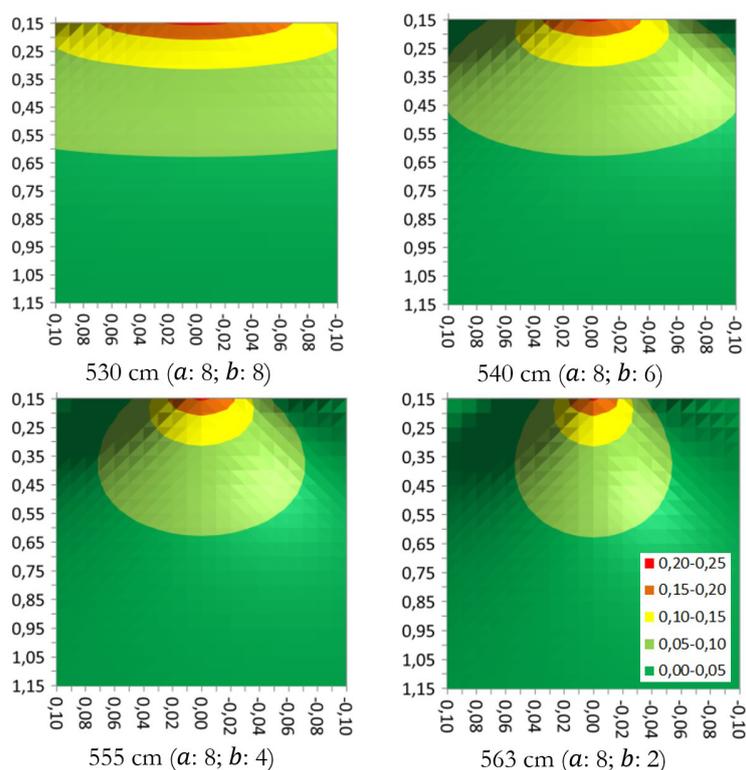


Figura 12. Ajuste empírico do bulbo de pressões para a vazão de 27,25 L/s (Re: 54.675 e Fr: 4,61).

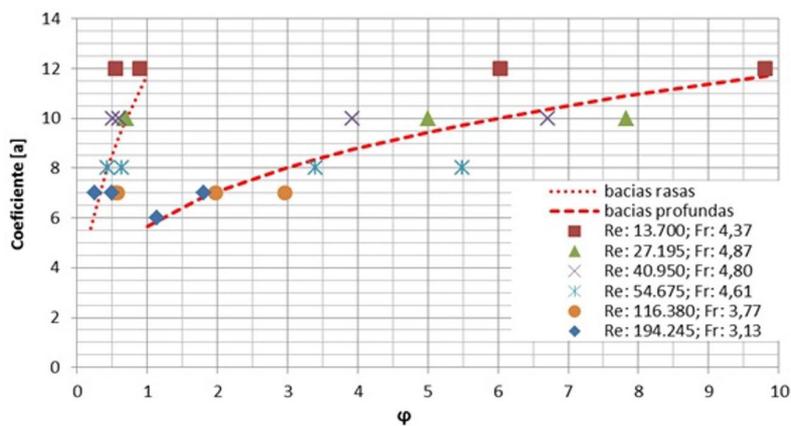


Figura 13. Coeficientes 'a' utilizados.

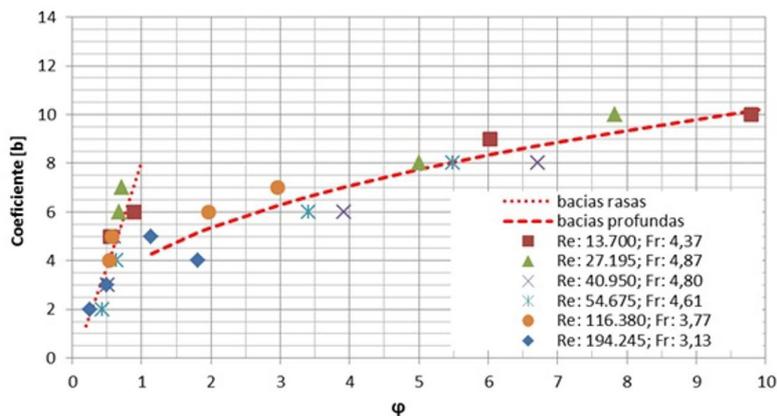


Figura 14. Coeficientes 'b' utilizados.

coeficiente adimensional de dissipação, indicando que há uma correlação em que os valores de a e b variam em função de ϕ .

Na Figura 13 e Figura 14 podem ser destacadas duas tendências de comportamento para cada um dos coeficientes a e b , uma para os valores do coeficiente adimensional de dissipação abaixo de 1, e outra para valores acima de 1.

Analisando-se os dados dos ensaios, os valores abaixo de 1 estão associados as cotas mais altas da bacia de dissipação (cota 563cm e 555cm), onde não há colchão d'água significativo para que ocorra dissipação de energia do jato em sua fase submersa. Os valores de coeficiente adimensional acima de 1 representam as maiores profundidades de colchão d'água em relação a espessura do jato, onde ocorre maior dissipação de energia durante a fase submersa do jato.

Amortecimento das pressões

Os efeitos da aeração que não podem ser representados devido ao efeito de escala do modelo físico fazem com que os valores medidos nos ensaios sejam maiores em relação aos que seriam lidos na escala de protótipo. Desta forma o coeficiente de amortecimento faz com que a magnitude das pressões calculadas sejam reduzidas para coincidirem com as registradas nos ensaios. Os valores dos coeficientes de amortecimento que foram determinados podem ser visualizados na Figura 15, em função do mesmo adimensional anterior.

Observa-se que a regressão matemática apresenta duas tendências distintas, uma para colchão d'água raso em relação à espessura do jato (adimensional inferior a 1), e outra para colchão d'água profundo em relação à espessura do jato (adimensional maior que 1). Observa-se ainda que nas bacias profundas, a partir de ϕ igual a 6, a tendência muda e o valor de C_a passa a aumentar devido, exclusivamente, ao ponto Re:13.400 e ϕ igual à 10 (Ca: 0,45), fazendo com que a tendência a partir de ϕ igual a 6. Este valor foi mantido no gráfico por ter sido obtido experimentalmente, mas deve se ter cautela ao adotá-lo e, futuramente, verificá-lo a partir de novos estudos experimentais.

No caso do amortecimento de pressões, valores mais altos do coeficiente tendem a ficar a favor da segurança, de modo que os valores de pressão que irão resultar de sua aplicação serão tão maiores quanto for o valor do coeficiente.

Resultados da aplicação da metodologia ajustada

A seguir estão apresentados os resultados de ajustes realizados conforme o modo empírico apresentado anteriormente com a finalidade de aumentar a precisão da metodologia apresentada, objetivando a exatidão da magnitude e da distribuição das pressões ao longo do fundo da bacia com relação aos resultados obtidos durante os ensaios no modelo físico.

Assim como antes dos ajustes, nas menores profundidades de colchão d'água, onde o comprimento do núcleo do jato é menor que a distância percorrida em sua fase submersa ($y < y_k$), fora da faixa de aplicação recomendada por Magela (1996), a metodologia apresenta maior dificuldade em representar tanto a distribuição quanto a magnitude das pressões. No entanto, os resultados são satisfatórios, pois melhoram consideravelmente os valores calculados.

Na Figura 16 até a Figura 19 a seguir podem ser visualizados os resultados gerados após a aplicação dos ajustes da Equação 2 quanto ao amortecimento e distribuição do cálculo das pressões no fundo da bacia de dissipação. Os resultados são apresentados em conjunto com os valores medidos nos ensaios realizados no modelo físico para a vazão de 58,50 L/s (Re: 116.380, Fr: 3,77).

Com os ajustes realizados foi possível acertar a distribuição de pressão evidenciando o início da região com perturbação de pressões dinâmicas, bem como ajustar o aumento e decaimento das pressões antes e depois do pico de pressão (ponto de incidência do jato no fundo), respectivamente. No entanto, fica claro que os ajustes para antes e até o pico de pressão apresentam melhores resultados, pois após determinada distância, após o pico de pressão, o efeito do ressalto hidráulico se sobressai ao efeito do impacto do jato no fundo da bacia de dissipação.

Também foi possível ajustar a magnitude das pressões, tanto no pico da pressão máxima, onde ocorre o ponto de incidência junto ao fundo da bacia de dissipação, quanto antes e após o mesmo. Nesse caso das magnitudes, fica nítida novamente a influência do ressalto hidráulico devido à configuração geométrica da bacia de dissipação, sendo esta metodologia de determinação de pressões devido à ação de jatos incapaz de representar as perturbações de pressão do ressalto, indicando que esta análise deve ser realizada levando em consideração outra metodologia não definida aqui neste trabalho para representação completa do fenômeno.

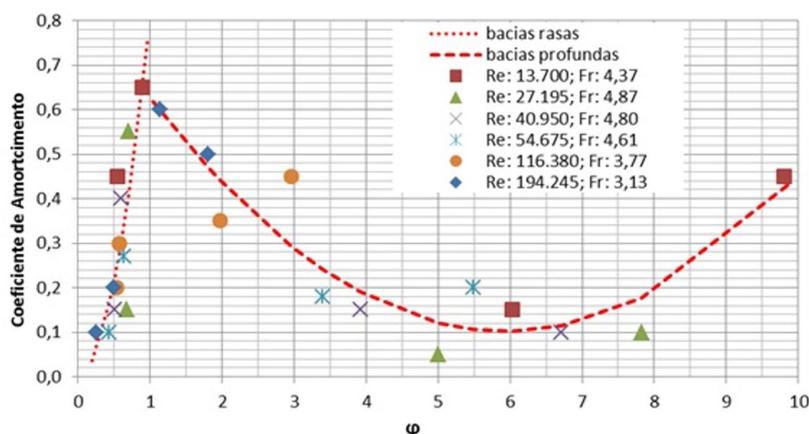


Figura 15. Coeficientes de amortecimento de pressão utilizados.

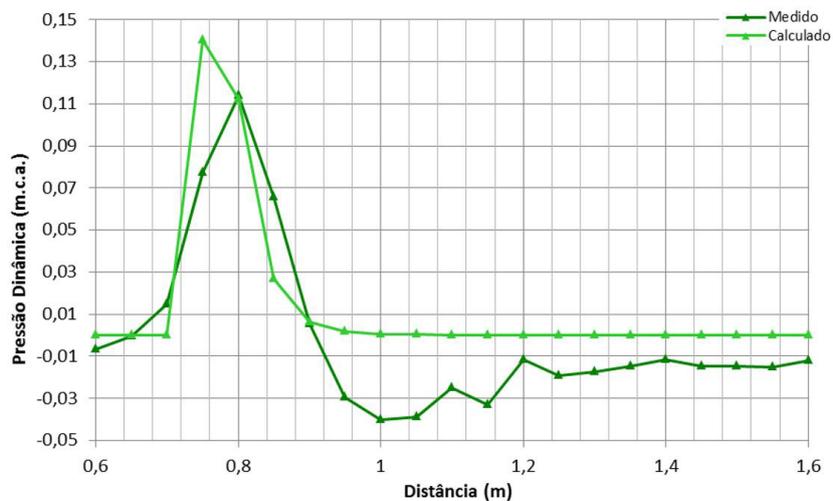


Figura 16. Comparação da pressão dinâmica média medida com os valores calculados e ajustados; cota da bacia: 563 cm.

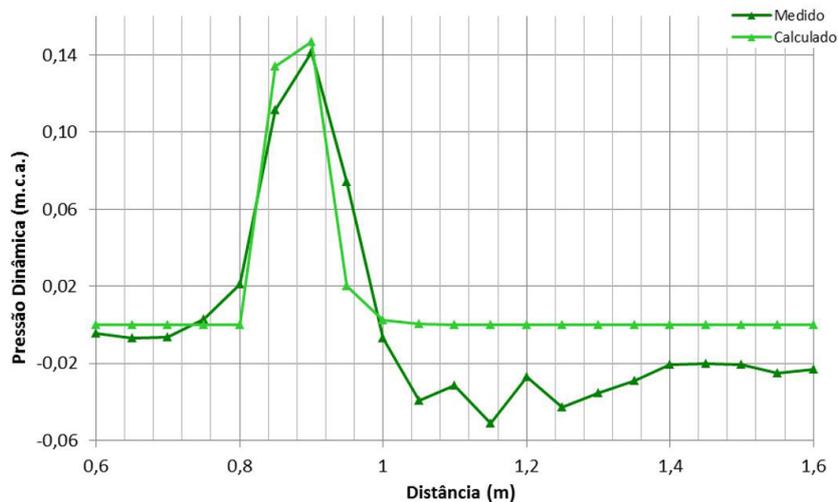


Figura 17. Comparação da pressão dinâmica média medida com os valores calculados e ajustados; cota da bacia: 555 cm.

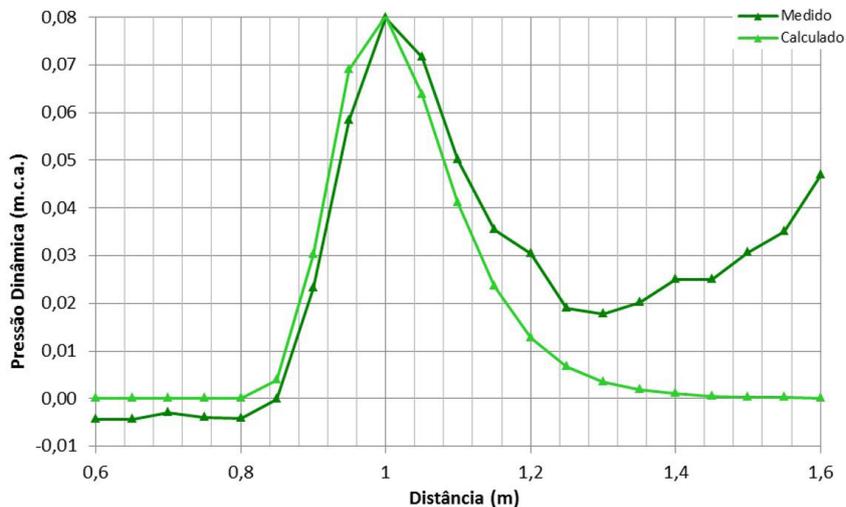


Figura 18. Comparação da pressão dinâmica média medida com os valores calculados e ajustados; cota da bacia: 540 cm.

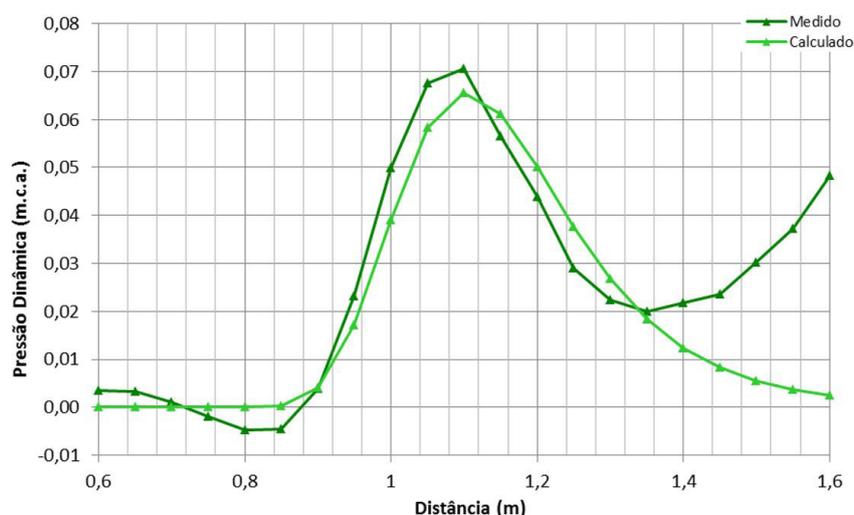


Figura 19. Comparação da pressão dinâmica média medida com os valores calculados e ajustados; cota da bacia: 530 cm.

CONCLUSÃO

Verificou-se por meio da aplicação de um coeficiente de amortecimento e por meio da variação dos parâmetros que controlam a forma do bulbo de pressões que é possível acertar a distribuição de pressão junto ao fundo da bacia, evidenciando o início da região com pressões dinâmicas, bem como ajustar o aumento e decaimento das pressões antes e depois do pico de pressão; assim como é possível ajustar a magnitude das pressões junto ao fundo da bacias, tanto no pico da pressão máxima, onde ocorre o ponto de incidência junto ao fundo da bacia de dissipação, quanto antes e após o mesmo. Até logo após o pico de pressão, o ajuste proposto funciona bem, sendo que a partir desse ponto os efeitos do ressalto hidráulico se sobressaem aos efeitos do impacto do jato no fundo da bacia de dissipação.

Por meio da correlação entre os coeficientes de ajustes com um coeficiente adimensional de dissipação proposto neste trabalho, foi possível ajustar linhas de tendência para estimar os valores dos coeficientes de ajuste necessários para melhorar os resultados do equacionamento. Foram ajustadas duas tendências para cada parâmetro (a , b e ϕ), pois há uma diferenciação para colchões d'água rasos, onde não ocorre dissipação de energia do jato em sua fase submersa, e para os que promovem a dissipação do jato submerso (colchões d'água profundos).

Em estudos futuros mostra-se necessária a sistematização da influência dos parâmetros de cálculo utilizados para ajustes da metodologia anteriormente estudada, incluindo testes de laboratório com modelos físicos de escala maior que 1:100. É importante verificar também futuros trabalhos com ensaios com valores de ϕ superior a 6, para verificar o comportamento do coeficiente de amortecimento para estes casos. Também se mostra necessário verificar a influência da geometria da bacia de dissipação em conjunto com o ressalto hidráulico que nela ocorre devido aos efeitos observados nos ensaios do presente trabalho, onde se destaca a diferença entre as pressões calculadas e observadas ao longo do desenvolvimento do ressalto hidráulico. Deste modo será possível consolidar a metodologia e futuramente possibilitar o cálculo de pressões devido à ação

de jatos nas bacias de dissipação com ainda mais precisão do que ocorre atualmente.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos aos bolsistas e funcionários do Laboratório de Obras Hidráulicas pelo apoio técnico. À FURNAS pela parceria no P&D onde se enquadra este trabalho.

REFERÊNCIAS

- HARTUNG, F.; HAUSTLER, F. Scours, stilling basins and downstream protection under free jets. In: TRANSACTIONS OF THE 11TH INTERNATIONAL CONGRESS ON LARGE DAMS (ICOLD), 1973, Madrid. *Proceedings...* Madrid: ICOLD, 1973. p. 39-56. (v. 2).
- MAGELA, G. P. Erosão a jusante de vertedouros. *Revista do Comitê Brasileiro de Grandes Barragens: erosão em bacias de lançamento: aspectos hidráulicos e geotécnicos*, n. 3, p. 15-71, 1996.
- MANSO, P. A. *The influence of pool geometry and induced flow patterns in rock scour by high-velocity plunging jets*. 2006. 294 f. Tese (Doutorado em Ciências) - Environnement Naturel, Architectural et Construit, École Polytechnique Fédérale de Lausanne, Switzerland, 2006.
- PINTO, L. C. S. Identificação da pressão dinâmica desenvolvida no fundo da pré-escavação a jusante de estrutura tipo salto esquí. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE HIDRÁULICA, 21., 2004, São Pedro. *Anais...* Campinas: UNICAMP, 2004.

Contribuição dos autores

Franco Turco Buffon: Adaptação do canal existente ao modelo físico, execução dos ensaios hidráulicos, registro de imagens do escoamento, registro dos valores dos parâmetros hidráulicos

e das pressões no fundo da bacia de dissipação, caracterização do escoamento e das pressões no fundo da bacia de dissipação, adaptação da metodologia existente para determinação de pressões ao modelo físico e proposição das melhorias no método de cálculo de pressões.

Marcelo Giulian Marques: Planejamento da adaptação do canal existente ao modelo físico, caracterização do escoamento e das pressões no fundo da bacia de dissipação, adaptação da metodologia existente para determinação de pressões ao modelo físico e proposição das melhorias no método de cálculo de pressões.