



**SNPTEE  
SEMINÁRIO NACIONAL  
DE PRODUÇÃO E  
TRANSMISSÃO DE  
ENERGIA ELÉTRICA**

GGH - 25  
16 a 21 Outubro de 2005  
Curitiba - Paraná

**GRUPO I  
GRUPO DE ESTUDO DE GERAÇÃO HIDRÁULICA - GGH**

**VERTEDOUROS EM DEGRAUS: UMA PROPOSTA DE DIMENSIONAMENTO**

**Daniela Guzzon Sanagiotto\*    Mauricio Dai Prá    Jaime Federici Gomes    Rafael André Wiest  
José Carlos Quito Bastos    Luiz Augusto Magalhães Endres    Marcelo Giulian Marques**

**IPH/UFRGS    IPH/UFRGS    IPH/UFRGS    IPH/UFRGS  
FURNAS CENTRAIS ELÉTRICAS S.A.    IPH/UFRGS    IPH/UFRGS**

**RESUMO**

Vertedouros em degraus são estruturas caracterizadas pela dissipação de energia que proporcionam estruturas de dissipação a jusante com dimensões reduzidas. Embora existam estudos, em modelos físicos e algumas observações em protótipos, não há um critério consagrado para o dimensionamento de vertedouros em degraus. Neste trabalho realizaram-se ensaios em 4 modelos físicos de vertedouros de declividade 1V: 0,75H, sendo um de calha lisa e os demais com calhas em degraus. Propõe-se uma metodologia para o dimensionamento de vertedouros em degraus, e posteriormente, efetua-se uma comparação entre as estruturas de dissipação a jusante de vertedouros com calhas lisas e em degraus.

**PALAVRAS-CHAVE**

Vertedouros em Degraus, Dissipação de Energia, Escoamento Aerado, Concreto Compactado a Rolo, Modelos Físicos.

**1.0 - INTRODUÇÃO**

Há mais de 3000 anos, canais e calhas vertentes, cujos fundos são formados pela sucessão de degraus, têm sido utilizados pelas diversas civilizações. O mais antigo vertedouro em degraus que se tem notícia está localizado na Akarnanian – Grécia - construído por volta de 1300 A.C (7).

Conforme Chanson (7), a adoção de calhas em degraus nas barragens da antigüidade se deu, muito provavelmente, por questões estruturais de estabilidade do maciço. Todavia, esse trabalho relatou canais de irrigação dotados de degraus responsáveis pela dissipação da energia do escoamento. A barragem de New Croton (1906) foi, segundo Chanson (7), a primeira construída sob esse conceito de dissipação de energia em calhas de vertedouros.

A partir da década de 70, com o surgimento de novos materiais e técnicas construtivas, como o concreto compactado a rolo (CCR) e as estruturas em gabiões, o interesse por calhas em degraus tornou-se objeto de estudo de pesquisadores e profissionais da engenharia hidráulica. Desta forma, essas estruturas passaram a ser comumente utilizadas em barragens em CCR, devido a vantagens econômicas e construtivas inerentes.

No Brasil, a difusão do CCR despertou o interesse nos paramentos em degraus. No estado do Rio Grande do Sul, destacam-se os vertedouros das barragens da UHE Dona Francisca e de Val de Serra, ambas com degraus com 60 cm de altura e declividade 53,13°.

O escoamento sobre calhas, canais e vertedouros em degraus pode ser dividido nas seguintes classes associadas as concentrações de vazões sobre as mesmas: *nappe flow* e *skimming flow*, de acordo com Rajaratnam (15) e Fael e Pinheiro (12). A nomenclatura aqui utilizada será respectivamente, escoamento em

\*Av. Bento Gonçalves, 9500 - Caixa Postal 15.029, CEP 91501-970 – Porto Alegre - RS - BRASIL  
Tel.: (051) 3316-6114 - e-mail: danielas@ppgiph.ufrgs.br

quedas sucessivas (*nappe flow*) e escoamento deslizante sobre turbilhões (*skimming flow*), conforme denominação de Matos e Quintela (13).

Este trabalho tem como objetivo apresentar um resumo dos resultados obtidos em vertedouros em degraus com declividade 1V: 0,75H (53,13°). Foram ensaiados geometrias de calhas com degraus com 3 cm, 6 cm e 9 cm de altura. Foram analisados a posição de início de aeração, as velocidades médias, o fator de resistência, a dissipação de energia e as pressões médias ao longo da calha.

## 2.0 - METODOLOGIA

### 2.1 Considerações Gerais

Neste trabalho foram analisados a posição do início da aeração, os níveis do escoamento, as velocidades e as pressões ao longo dos perfis dos vertedouros sob o regime de escoamento deslizante sobre turbilhões. Foram ensaiados 4 modelos: um de um vertedouro com calha lisa e três com calha escalonada com degraus de 3, 6 e 9 cm de altura, todos com declividade da calha 1V: 0,75H (53,13°). Os modelos apresentaram altura máxima e largura das calhas de 2,50 m e 0,40 m, respectivamente. Maiores detalhes sobre a metodologia adotada podem ser vistos em Sanagiotto (16). As instalações experimentais limitaram o valor máximo de vazão específica em 0,70 m<sup>3</sup>/(s.m). Como escala sugerida para transposição dos resultados, recomenda-se valores de 1:10 e a lei de semelhança de Froude.

### 2.2 Medição dos níveis de água

Os níveis de água foram medidos de duas formas: através da utilização de ponta linimétrica móvel perpendicular ao fundo do canal e por meio de imagens digitalizadas obtidas com câmara de vídeo digital. Os perfis médios da linha de água ao longo da calha foram caracterizados em diversas seções ao longo das calhas.

### 2.3 Medição de velocidades

As medições de velocidades médias do escoamento foram efetuadas com a utilização de um Tubo de Pitot-Prandtl, acoplado a um transdutor diferencial de pressão.

### 2.4 Medição de pressões

Foram medidas pressões médias e instantâneas em cada estrutura e em locais previamente fixados (no piso e no espelho de diferentes degraus ao longo da calha). As medições foram efetuadas através da utilização de transdutores de pressão – frequência de aquisição de 50 Hz e amostra de 9000 pontos - e com piezômetros, de maneira a permitir a comparação dos valores das pressões médias.

## 3.0 - RESULTADOS

### 3.1 Posição do início da aeração do escoamento

Conforme descrito em Chanson (4), o desenvolvimento da aeração ao longo da calha em degraus pode ser caracterizada em três zonas diferentes. Observou-se no escoamento sobre as calhas em degraus, que a aeração começa com uma perturbação na superfície da água, na posição onde a camada limite atinge a superfície livre, o que provoca o começo da entrada de ar no escoamento. Imediatamente a jusante deste ponto, visualiza-se no escoamento a aeração intermitente dos degraus, até uma posição onde o vórtice aerado, formado na cavidade do degrau, ocorre de forma contínua, e o escoamento aerado apresenta um regime uniforme. Os resultados apresentados neste trabalho referem-se a este último tipo de comportamento descrito, conforme pode ser observado na Figura 1.

Os dados de comprimento de início de aeração ( $L_A$ ) foram adimensionalizados em relação à rugosidade de cada estrutura ( $k$ ) e foram agrupados em função do número de Froude do degrau ( $F^* = q / \sqrt{gk^3 \sin \alpha}$ , onde  $q$  é a vazão específica,  $g$  é a aceleração da gravidade e  $\alpha$  é a declividade do paramento de jusante da calha).

Na Figura 2, são apresentados os resultados do presente estudo juntamente com os dados de diferentes pesquisadores Bindo et al. (2), Beitz e Lawless (1) apud Chanson (4), Sorensen (18) e Tozzi (20). É importante salientar que os mesmos foram obtidos em estruturas com calhas com declividades entre 50° e 53,13°. Com estes dados e os resultados encontrados nesta pesquisa, propõe-se uma equação para o cálculo do comprimento de início da aeração (equação 1). Observa-se que a equação proposta representa um bom ajuste aos dados, com um coeficiente de determinação igual a 0,94.

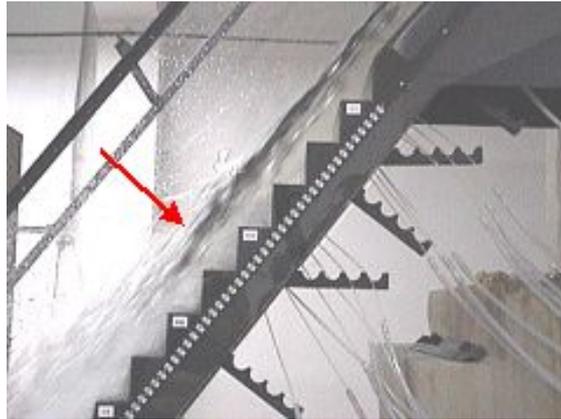


FIGURA 1 – Início da aeração considerada como aeração uniforme do fluxo (recirculação estável na cavidade do degrau). Foto correspondente à vazão de  $0,20 \text{ m}^3/(\text{s.m})$ , na calha com degraus de  $9 \text{ cm}$  de altura, declividade  $53,13^\circ$ , início da aeração uniforme no quinto degrau.

$$\frac{L_A}{k} = 9,7721F^{*0,7014} \quad (1)$$

onde  $L_A$  (em m) é o comprimento do início do desenvolvimento da camada limite à posição que esta atinge a superfície livre, que indica o início da aeração do escoamento;  $k$  é a rugosidade formada pelo degrau, dado por  $k = H \cdot \cos \alpha$  ( $H$  altura do degrau em m e  $\alpha$  é a declividade da calha).

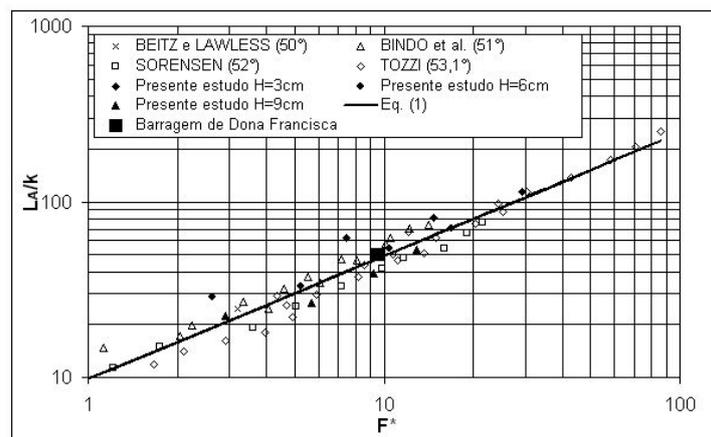


FIGURA 2 – Comparação da posição do início da aeração do escoamento entre os resultados obtidos no presente estudo, com os dados de outros pesquisadores.

Na figura 2 apresenta-se uma posição de início de aeração, obtida a partir de uma foto do escoamento sobre o vertedouro em degraus da Barragem de Dona Francisca / RS, que apresenta degraus com  $0,60 \text{ m}$  de altura e declividade da calha idêntica a deste estudo (Sanagiotto et al. (17)). O valor encontrado apresenta uma boa concordância com os resultados experimentais e com a Equação 1.

### 3.2 Altura de água na posição do início da aeração

Após a avaliação do início da aeração, em conjunto com a análise do nível de água, foram analisadas as alturas de água na posição do início da aeração. A Figura 3 compara os resultados de altura de água no local de início da aeração deste estudo com os dados de outros pesquisadores. Observa-se que os valores encontrados no presente estudo seguem a mesma tendência dos dados da bibliografia, apresentando um comportamento muito semelhante ao de Sorensen (18) e Tozzi (20), e um pouco inferior ao de Bindo et al. (2).

Devido à concordância entre os resultados observados na Figura 3, propõe-se a Equação 2 ( $R^2 = 0,96$ ) para avaliar a profundidade do escoamento na posição do início do escoamento aerado uniforme ( $h_A$ ).

$$\frac{h_A}{k} = 0,3965F^{*0,5975} \quad (2)$$

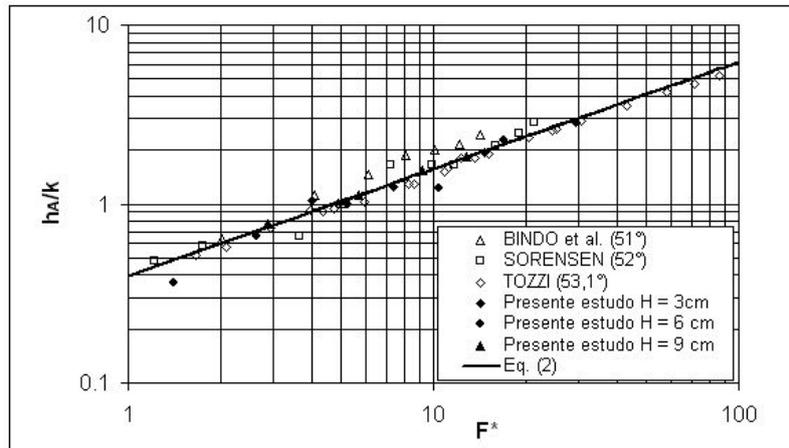


FIGURA 3 - Comparação dos resultados da profundidade do escoamento na posição do início da aeração do fluxo no presente estudo, dados de outros pesquisadores e a Equação 2.

### 3.3 Velocidades

Nos perfis analisados, as velocidades são menores próximas ao fundo do escoamento e maiores a distâncias maiores do fundo da calha, tendendo a um valor constante. Estes perfis gerados não apresentam, como citado por Tozzi (20), uma região de valores menores próximos à superfície livre, isto devido a não terem sido realizadas medições nesta região. Segundo Chow (9), na região da camada limite turbulenta os perfis de velocidades têm um comportamento logarítmico com relação à profundidade ( $y$ ). Este comportamento também foi observado na maioria dos perfis de velocidades traçados. Quando se comparam os valores de velocidades obtidos para a calha lisa com os das calhas em degraus, observa-se que há uma redução das velocidades médias com a inserção dos degraus sobre as calhas. A Figura 4 ilustra essa comparação para uma determinada posição na calha. Os perfis para outras posições ao longo da calha encontram-se em Sanagiotto (16).

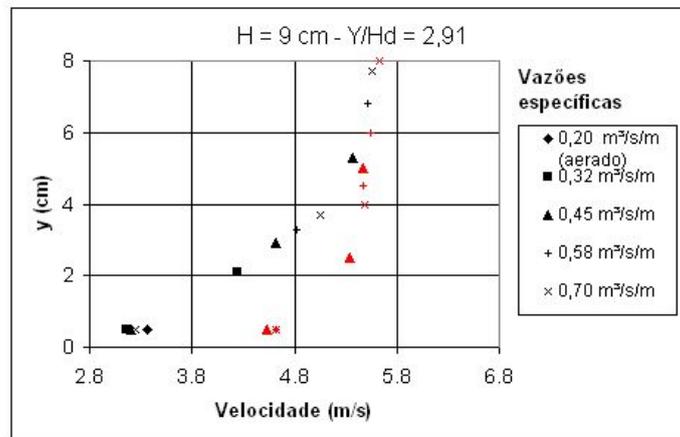


FIGURA 4 - Perfis de velocidade média do escoamento na calha com degraus de 9 cm de altura (pontos em preto) e para a calha lisa (em vermelho), declividade  $1V: 0,75H$ , para a posição relativa ao longo da calha  $Y/Hd = 2,91$  ( $y$  é a profundidade do escoamento,  $Y$  é a distância vertical da crista do vertedouro até determinada posição da calha e  $Hd$  é a carga de projeto do vertedouro).

### 3.4 Avaliação do fator de resistência

A partir da definição das alturas normais na região de escoamento aerado uniforme ( $h_n$ ), pode-se avaliar o valor do fator de resistência. Na Figura 5 comparam-se os resultados encontrados neste estudo com algumas equações propostas por outros pesquisadores. Observa-se que os resultados obtidos para o fator de resistência neste estudo encontram-se na faixa entre as curvas propostas por Stephenson (19) e Chanson (5) e aproximam-se bastante da proposição de Chamani e Rajaratnam (3).

Na Figura 6, os mesmos resultados de fator de resistência são comparados com os dados da bibliografia (obtidos de Chanson (6)) em função da rugosidade ( $k$ ) e do diâmetro hidráulico ( $D_H$ ). A referência (6) propôs um valor médio igual a 1,00 para o fator de resistência, com base em dados de vários pesquisadores, que apresentam

variações entre 0,17 e 5,00. Os valores do fator de resistência obtidos neste estudo, apresentam uma variação entre 0,18 e 0,45, com um valor médio em torno de 0,25.

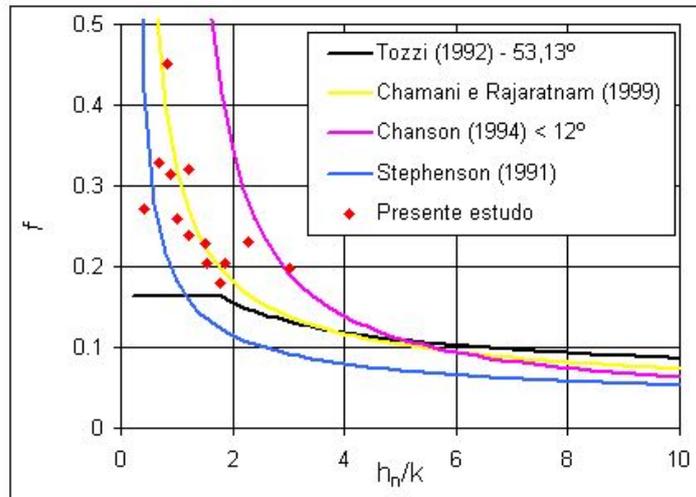


FIGURA 5 - Valores do fator de resistência obtidos neste estudo em comparação com algumas proposições de outros pesquisadores.

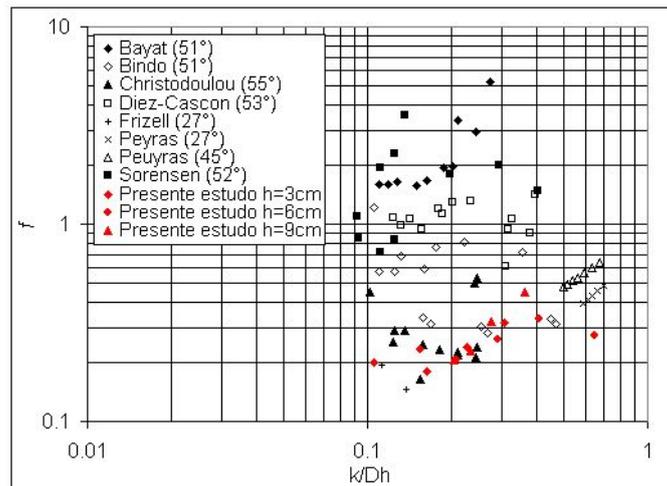


FIGURA 6 - Valores do fator de resistência em função da rugosidade relativa obtidos neste estudo, em comparação com dados de outros pesquisadores (obtidos de Chanson(4)).

Sanagiotto (16) realizou uma análise mais detalhada do fator de resistência. Foi feita uma análise comparativa dos fatores de resistência obtidos nos modelos com calhas em degraus ( $f_k$ ) com os obtidos no modelo de calha lisa ( $f_L$ ), independentes do regime de escoamento uniforme ter sido atingido. A seguir segue apenas a equação final obtida nesta análise.

$$\frac{f_L}{f_k} = 1,8162 \exp\left(-1,7692 * \frac{L_p}{L_A}\right) \quad (3)$$

onde  $L_p$  é uma distância medida alinhada ao perfil, até qualquer posição na calha e  $L_A$  é a posição do início da aeração. A Equação (3) é recomendada para valores de  $L_p/L_A \leq 2,5$ .

### 3.5 Análise da dissipação de energia

A Figura 7 apresenta os resultados de dissipação de energia em relação à energia a montante, comparando-os com os propostos por outros pesquisadores.

Os resultados encontrados no presente estudo mostraram, em geral, valores de dissipação de energia bastante semelhantes aos encontrados por Stephenson (19), Bindo et al. (2) e Christodoulou (10); superiores à avaliação de Povh (14) e inferiores aos resultados de Sorensen (18).

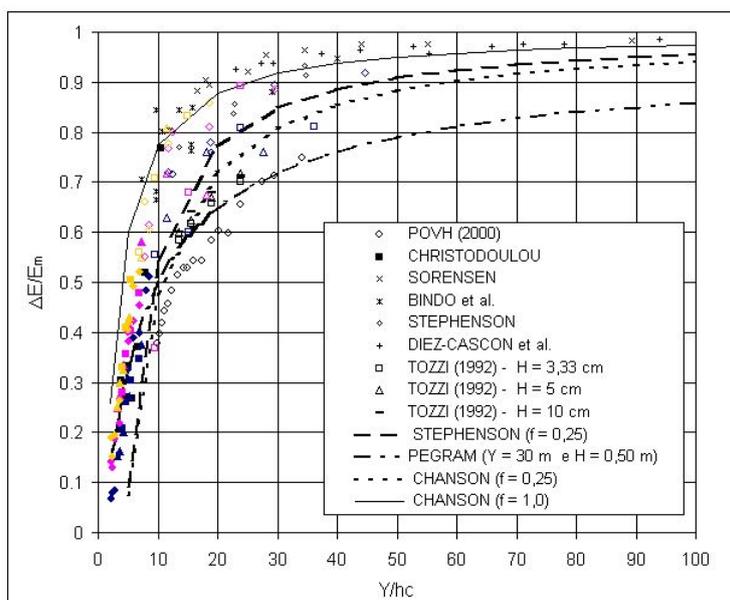


FIGURA 7 - Resultados experimentais de dissipação de energia em relação à energia de montante ( $\Delta E/E_m$ ), comparados com os dados e proposições de outros pesquisadores (Y é a distância vertical da crista do vertedouro até determinada posição da calha e  $h_c$  é a profundidade crítica do escoamento).

### 3.6 Análise das pressões médias

O estudo das pressões ao longo da calha é relevante, uma vez que, verifica a possibilidade da ocorrência de cavitação nos degraus, fenômeno responsável por desgastes em estruturas hidráulicas.

Em decorrência dos avanços tecnológicos recentes do CCR, o estudo de fenômenos de cavitação vem suprir uma necessidade técnico-científica nos projetos de novas estruturas escalonadas. Atualmente, os projetos estão enfatizando estruturas e degraus mais altos e permitindo elevadas concentrações de vazões sobre os descarregadores. A combinação inadequada destes fatores pode fazer com que os degraus dos vertedouros sejam submetidos a maiores velocidades que proporcionarão características muito favoráveis para a ocorrência da cavitação.

Sanagiotto (16) avaliou as pressões médias ao longo de vertedouros em degraus com declividade de 1V:0,75H dotados de três diferentes alturas de rugosidade ( $k = 18, 36$  e  $54$  mm). Foi detectado um aumento das pressões no piso do degrau com o aumento do tamanho destes. As pressões médias máximas foram verificadas nas posições mais externas do piso do degrau e variaram entre  $-0,014$  e  $0,455$  m.c.a., no modelo. Já as pressões médias mínimas foram detectadas no espelho dos degraus, nas posições próximas ao vértice superior que delimita o pseudofundo (formado pela união das quinas dos degraus), e os valores ficaram entre  $-0,062$  e  $0,245$  m.c.a.. A escala de transposição 1:10 é sugerida no estudo de Chanson et al. (8).

São necessários estudos mais detalhados que avaliem as flutuações de pressões para a verificação da possibilidade de ocorrência de cavitação.

### 4.0 - DIMENSIONAMENTO COMPARATIVO – VERTEDOIRO EM DEGRAUS X VERTEDOIRO COM CALHA LISA

Neste item, através de uma situação hipotética, procura-se demonstrar a aplicabilidade dos resultados apresentados neste trabalho, bem como demais conclusões obtidas por Sanagiotto (16) e Dai Prá (11).

A Tabela 1 procura sintetizar um dimensionamento comparativo de bacias de dissipação necessárias a jusante de um vertedouro de calha lisa e de um vertedouro em degraus. Supõe-se neste exemplo um vertedouro com vazão específica máxima igual a  $10 \text{ m}^3/\text{s/m}$ , altura total igual a  $25$  m, calha com declividade 1V: 0,75H ( $53,13^\circ$ ) e degraus com  $0,60$  m de altura.

Observa-se, através deste exemplo, que a utilização de vertedouros com a calha em degraus, possibilita o uso de estruturas de dissipação a jusante com dimensões reduzidas e, conseqüentemente, mais econômicas. Nesta situação constatou-se que com o uso de vertedouros em degraus, o comprimento da bacia de dissipação pode ser sensivelmente reduzido e, além disso, a cota de fundo desta estrutura pode ser mais elevada, diminuindo o volume a ser escavado para o assentamento da bacia.

TABELA 1 – Dimensionamento simplificado comparativo de bacias de dissipação necessárias a jusante de um vertedouro de calha lisa e de um vertedouro em degraus.

	Observações	Calha lisa	Calha em degraus
Cota crista	Fixado no projeto	30 m	30 m
Nível de jusante	Obtido da curva chave	9 m	9 m
Vazão específica	Obtido do estudo hidrológico	10 m <sup>3</sup> /s/m	10 m <sup>3</sup> /s/m
Altura crítica	$h_c = (q^2 / g)^{1/3}$	2,17 m	2,17 m
Energia de montante	$N_m = \text{Cota crista} + 1,5 h_c$	33,25 m	33,25 m
Posição de início de aeração para calha em degraus	Eq. (1)	X	$L_A = 25,16 \text{ m}$
Profundidade na calha do vertedouro próximo ao pé da estrutura ( $L_P = 35 \text{ m}$ )	Calculado de acordo com Sanagiotto (16).	0,42 m	0,74 m (calculado após encontrado $f_k$ )
Altura conjugada rápida ( $y_r$ )	Considerada igual a profundidade do escoamento no pé do vertedouro (calculada acima)	0,42 m	0,74 m
Velocidade no pé do vertedouro	Pela equação da continuidade	23,81 m/s	13,51 m/s
Número de Froude	$Fr = V / ((g \cdot y_r)^{1/2})$	11,68	5,02
Altura conjugada lenta	$y_l = \frac{y_r}{2} \left( \sqrt{1 + 8Fr^2} - 1 \right)$	6,75 m	4,90 m
Fator de resistência	Calha lisa – de acordo com Sanagiotto (16) Com degraus – Eq. (3)	$f_L = 0,041$	$f_K = 0,26$
Cota do fundo	$C_F = \text{Nível jusante} - y_l$	2,25 m	4,10 m
Comprimento da bacia de dissipação	$L_j = 6,9 (y_l - y_r)$	43,7 m	28,7 m

## 5.0 - CONCLUSÕES

Neste estudo foram apresentadas as características gerais do escoamento sobre vertedouros em degraus, propondo uma análise mais aprofundada na caracterização do comportamento do fluxo sobre calhas com declividade 1V: 0,75 H (53,13°).

Propôs-se neste trabalho uma metodologia para o dimensionamento de vertedouros em degraus com esta declividade e com altura de até 25 m, respeitando a recomendação de Chanson 2002, de escala limite de transposição igual a 1:10.

Observa-se no dimensionamento comparativo da estrutura de dissipação de energia do tipo bacia horizontal por ressalto hidráulico que, com a utilização da calha em degraus, consegue-se diminuir o comprimento da estrutura de dissipação e elevar-se a cota de fundo desta, representando assim uma estrutura mais econômica.

A continuação deste trabalho foi realizada por Dai Prá (2004), estudando vertedouros escalonados com calhas de declividade 1V: 1H.

Salienta-se a importância de que dados de protótipos venham a ser incorporados aos estudos, para assim determinar possíveis efeitos de escala.

## 6.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) BEITZ, E., e LAWLESS, M. (1992). Hydraulic Model Study for dam on GHFL 3791 Isaac River at Burton Gorge. **Water Resources Coimission Report**, Ref. No. REP/24.1, Sept., Brisbane, Australia. Apud Chanson 1994a.
- (2) BINDO, M., GAUTIER, J., LACROIX, F. (1993). The Stepped Spillway of M'Bali Dam. **Water Power & Dam Construction**, p. 35-36, January.
- (3) CHAMANI, M. R.; RAJARATNAM, N. (1999a). Characteristics of Skimming Flow over Stepped Spillways. **Journal of Hydraulic Engineering**, ASCE, New York, v. 125, n. 4, p. 361-368.
- (4) CHANSON, H. (1994a). Hydraulics of Skimming Flows over Stepped Channels and Spillways. **Journal of Hydraulic Research**, IAHR, Delft, v. 32, n. 3, p. 445-460.

- (5) CHANSON, H. (1994b). Hydraulic Design of Stepped Cascades, Channels, Weirs and Spillways. **Pergamon**, Oxford, UK, Jan., 261 p.
- (6) CHANSON, H. (1994c). Comparison of Energy Dissipation between Nappe and Skimming Flow Regimes on Stepped Chutes. **Journal of Hydraulic Research**, IAHR, Delft, v. 32, n. 2, p. 213-218.
- (7) CHANSON, H. (1995a). History of Stepped Channels and Spillways: a Rediscovery of the "Wheel". **Canadian Journal of Civil Engineering**, v. 22, p. 247-259.
- (8) CHANSON, H.; YASUDA, Y.; OHTSU, I. (2002). Flow Resistance in Skimming Flows in Stepped Spillways and its Modelling. **Canadian Journal of Civil Engineering**, v. 29, p. 809-819.
- (9) CHOW, Ven Te. (1959). Open channel hydraulics. New York : McGraw-Hill, 1959. 680p.
- (10) CHRISTODOULOU, G. C. (1993). Energy dissipation on stepped spillways. **Journal of Hydraulic Engineering**, ASCE, New York, v.119, n.5, p.644-650.
- (11) DAI PRÁ, M., 2004. Características do escoamento sobre vertedouros em degraus de declividade 1V: 1H. **Dissertação de Mestrado**, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: UFRGS, 134p.
- (12) FAEL, C.; PINHEIRO, A. N. (2003). Escoamentos em Quedas Sucessivas. Condições de Ocorrência e Energia Residual. **Associação Portuguesa de Recursos Hídricos**, v. 24, n. 1, p. 39-50.
- (13) MATOS, J. S. G.; QUINTELA, A. C. (1995). Descarregadores de Cheias em Degraus: Posição Actual da Avaliação da Dissipação de Energia. In: **XI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, 1995, Recife. Anais. Recife: ABRH, 1995. v. 4, p. 65-71.
- (14) POVH P. H. Avaliação da Energia Residual a Jusante de Vertedouros em Degraus com fluxo em Regime Skimming Flow. **Dissertação de mestrado**, 141p, 2000.
- (15) RAJARATNAM, N. (1990). Skimming Flow in Stepped Spillways. **Journal of Hydraulic Engineering**, ASCE, New York, v. 116, n. 4, p. 587-591.
- (16) SANAGIOTTO, D. G. (2003). Características do Escoamento sobre Vertedouros em Degraus de Declividade 1V:0,75H. Porto Alegre: Instituto de Pesquisas Hidráulicas, UFRGS, 2003. **Dissertação de Mestrado**, 118 p., Porto Alegre.
- (17) SANAGIOTTO, D. G., GOMES, J. F., DAI PRÁ, M., WIEST, R., MARQUES, M. G. (2004). Posição do Início da Aeração em Escoamentos sobre Vertedouros em Degraus de Declividade 1V: 0,75H. In: Anais **IV Simpósio Brasileiro sobre Pequenas e Médias Centrais Hidrelétricas**, Porto de Galinhas, PE. T14, A17, 11p.
- (18) SORENSEN, R. M. (1985) .Stepped spillways hydraulic model investigation. **Journal of Hydraulic Engineering**, ASCE, New York, v111, n. 12, p. 1461-1472, Dec.
- (19) STEPHENSON, D. (1991). Energy Dissipation down Stepped Spillways. **Water Power & Dam Construction**, Sutton, v. 43, n. 9, p. 27-30.
- (20) TOZZI, M. J. (1992). Caracterização/Comportamento de Escoamentos em Vertedouros com Paramento em Degraus. São Paulo: USP, 1992. **Tese de Doutorado**, 302 p., São Paulo.