

AVALIAÇÃO DA EROSIÃO A JUSANTE DA BACIA DE DISSIPAÇÃO POR RESSALTO HIDRÁULICO EM MODELO REDUZIDO

Fernanda Hiromi Scheffer Yamakawa^{1}; Fernando Ribas Terabe²; José Junji Ota³; Giovani Moser Girardi⁴*

Resumo – A reprodução do processo erosivo em modelo reduzido é uma tarefa difícil. Tornam-se dúvidas a escolha do tamanho do material de fundo móvel, o processo de ensaio, a duração do teste, os cuidados com a barra (depósito de material erodido), etc. O objetivo deste trabalho é apresentar os resultados de previsão da erosão em arenito a jusante de uma bacia de dissipação. Nos ensaios de fundo móvel é necessário que a rocha encontrada em campo tenha os processos erosivos e de transporte do material erodido representados adequadamente. No caso do estudo para a UHE Colider, foi imprescindível o desenvolvimento de uma metodologia para melhorar a simulação do comportamento do arenito e então, possibilitar a análise do projeto da bacia. Assim o modelo em questão possibilitou identificar a necessidade de se modificar a configuração da bacia de dissipação e o formato proposto atendeu aos critérios de projeto.

Palavras-Chave – Modelo reduzido, Erosão, Bacia de dissipação

EVALUATION OF EROSION DOWNSTREAM OF HYDRAULIC JUMP STILLING BASIN ON PHYSICAL SCALE MODEL

Abstract – Reproduction of erosion in reduced scale model is a difficult task. It is difficult to define the size of the mobile material, the testing process, the test duration, the care with the bar (deposit of eroded material), etc. The aim of this paper is to present some results of prediction of erosion in sandstone at downstream of a stilling basin. In tests of the moving materials it is necessary that the rock erosion and transport pattern of eroded material are well represented. In the case of study for Colider Power Plant, it was essential to develop a test methodology to enhance the simulation of sandstone and then to allow the analysis of the basin design. Thus the model enabled to identify the need of modification of the stilling basin and the proposed configuration met the design criteria.

Keywords – Physical model, Erosion, Stilling basin

INTRODUÇÃO

Os ensaios de fundo móvel em modelo reduzido, apresentados neste trabalho, foram realizados com o objetivo de analisar as tendências e os padrões da erosão em rocha do tipo arenito a jusante de uma bacia de dissipação. Porém, para a correta estimativa da profundidade e extensão da erosão, é necessário que o material móvel utilizado no modelo represente adequadamente a erodibilidade da rocha encontrada em campo.

No caso da UHE Colider, foi necessário o desenvolvimento de uma metodologia para melhorar a simulação, em modelo, do comportamento erosivo da rocha encontrada na região, possibilitando, assim, a previsão da erosão a jusante da bacia de dissipação por ressalto hidráulico e a avaliação da efetividade desta estrutura.

¹ Lactec Cehpar e UFPR. E-mail: fernanda.hiromi@lactec.org.br

² Lactec Cehpar e UFPR. E-mail: fernando.terabe@lactec.org.br

³ Lactec Cehpar e UFPR. E-mail: ota@lactec.org.br

⁴ VLB Engenharia. E-mail:Giovani.girardi@vlb.com.br

ENSAIOS DE EROSÃO NO MODELO REDUZIDO

Os ensaios de erosão foram realizados no modelo reduzido da UHE Colider (Rio Teles Pires, 300 MW, empreendimento com outorga de concessão da Copel Geração e Transmissão S.A.), construído no laboratório do Cehpar/Lactec na escala geométrica 1:120 e operado de acordo com os critérios de semelhança de Froude. O arranjo parcial da usina reproduzido no modelo é mostrado na figura 1.

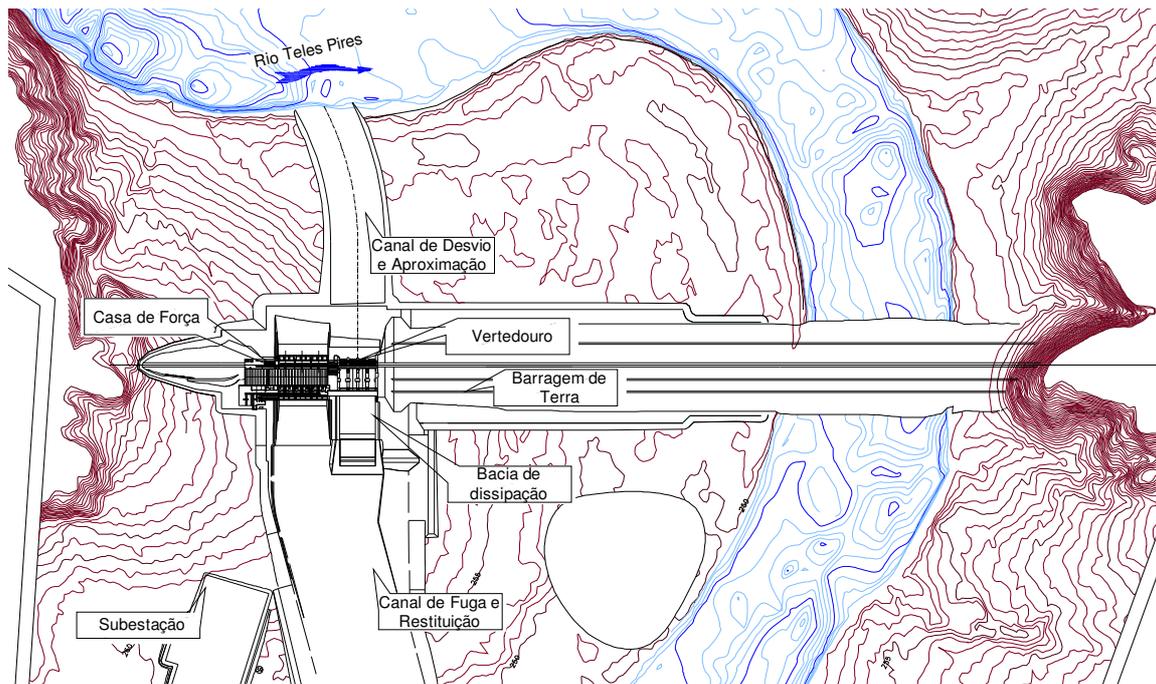


Figura 1 – Arranjo parcial do modelo da UHE Colider, construído na escala geométrica 1:120

Nesse trabalho são apresentados resultados decorrentes da imposição da vazão de $4.555 \text{ m}^3/\text{s}$, correspondente ao tempo de recorrência de 100 anos, passando totalmente pelo vertedouro. Os ensaios tiveram duração de 2,8 dias, tempo considerado suficiente para a avaliação da erosão gerada pela passagem da cheia.

Nos ensaios, o desnível constatado entre o nível de água do vertedouro e o nível de água na saída do canal de restituição foi de 16,6 m, implicando em uma potência específica de $162,5 \text{ kN/m}^2$. A vazão específica do escoamento foi de $94,9 \text{ m}^3/\text{s.m}$.

Definição das características do material móvel

Para o estudo da erosão a jusante da bacia de dissipação, o canal de restituição foi representado através de material solto. Em geral, a escolha das dimensões desse material é realizada em função da previsão geológica da fragmentação da rocha quando submetida a esforços hidráulicos, o que torna a estimativa das dimensões do material móvel complexa.

No caso da UHE Colider, o maciço rochoso que aflora na região é constituído por arenitos feldspáticos avermelhados da Formação Dardanelos, indicados na figura 2. Na região do canal de restituição, o arenito exposto apresentou baixa resistência e a avaliação em campo, realizada através da imposição de um jato de água de energia equivalente a uma carga de aproximadamente 10 m sobre a rocha, constatou sua grande erodibilidade, com fragmentação em partículas pequenas e carregamento para jusante.

Perante tais características, inicialmente o arenito foi representado no modelo usando-se areia, com as seguintes dimensões, em valores transpostos para protótipo: diâmetro máximo de 24 cm,

diâmetro médio de 6,5 cm e diâmetro mínimo de 0,9 cm. O resultado erosivo obtido a partir dessa estimativa é mostrado na figura 3. Nota-se que houve formação de barra, a qual atingiu 6,6 m de altura, fato contrário às observações realizadas no teste em campo, no qual se averiguou que a rocha fragmentada seria carregada, não havendo, portanto, formação de barras.



Figura 2 – Arenito feldspático avermelhado da formação Dardanelos



Figura 3 – Resultado do ensaio de erosão após simulação da vazão de 4.555 m³/s (Tr=100 anos) passando pelo vertedouro – Estimativa inicial da fragmentação do arenito utilizando areia peneirada de diâmetro médio de 6,5 cm (dimensão transposta para valor de protótipo).

Devido a essa constatação, julgou-se coerente realizar novo ensaio de forma que fosse possível avaliar a erosão sem a influência dessas formações, as quais poderiam aumentar o nível de água e conseqüentemente reduzir as velocidades, resultando numa erosão menos intensa.

Assim, foi criado um dispositivo simples de funcionamento similar a um sifão, capaz de retirar a areia depositada e impedir a formação das barras durante o ensaio. Os resultados obtidos utilizando esse mecanismo são mostrados na figura 4. Observa-se que a fossa de erosão formada é mais profunda (aumentou de 10,5 m para 16,4 m) e a erosão junto à estrutura, mais intensa

(aumentou de 10 m para 13 m), confirmando a influência das barras e, logo, a necessidade de retirá-las durante o ensaio para obtenção de resultados de maior probabilidade de ocorrência em campo.



Figura 4 – Resultado do ensaio de erosão após simulação da vazão de 4.555 m³/s (Tr=100 anos) passando pelo vertedouro – Estimativa inicial da fragmentação do arenito utilizando areia peneirada de diâmetro médio de 6,5 cm (dimensão transposta para valor de protótipo) e remoção das barras formadas durante o ensaio

A análise dos resultados concluiu que a estimativa inicial do material móvel não representava adequadamente a erodibilidade do arenito, pois permitia a erosão com velocidades muito baixas no modelo, por isso a areia, muito fina, foi substituída por material granular, capaz de resistir a velocidades da ordem de 2 m/s na obra, com as seguintes dimensões, em valores transpostos para protótipo: diâmetro médio de 24 cm, diâmetros mínimo de 14 cm e diâmetro máximo de 34 cm.

As modificações propostas foram introduzidas com o objetivo de melhorar a simulação da erosão em arenito de baixa resistência, de forma que as características da rocha fragmentada fossem representadas de acordo e gerassem os resultados qualitativos adequados. Portanto, após as alterações realizadas no ensaio (remoção da barra durante o ensaio e aumento do diâmetro do material solto), foi possível avaliar os efeitos das ações erosivas junto às estruturas e no canal de restituição.

Avaliação da erosão a jusante da bacia de dissipação

A realização do ensaio de erosão, considerando os ajustes na metodologia feitos com o objetivo de melhorar a semelhança entre os comportamentos do material móvel no modelo e da previsão do arenito fragmentado na obra, resultou na configuração apresentada na figura 5.

Observa-se uma erosão assimétrica, mais intensa à direita a jusante da estrutura. Nessa região a erosão atingiu 11,5 m, sendo que junto à estrutura alcançou cerca de 6 m. O fenômeno da erosão localizada já foi observado anteriormente, conforme ressaltado no relatório do modelo reduzido do Aproveitamento Hidrelétrico 14 de Julho [Mannich *et al.* (2008)] e nos trabalhos referentes aos modelos reduzidos da UHE Foz do Chapecó e UHE Estreito [Fudimori *et al.* (2013)]. Este explica que a causa é a interação do escoamento proveniente do vertedouro com as correntes de retorno formadas na região (essas características do escoamento são mostradas na figura 6). A interação de correntes amplia o movimento circulatório e contribui para a erosão naquela região.



Figura 5 – Resultado do ensaio de erosão após simulação da vazão de 4.555 m³/s (Tr=100 anos) passando pelo vertedouro – Estimativa inicial da fragmentação do arenito utilizando material granular de diâmetro médio de 24 cm (dimensão transposta para valor de protótipo) e remoção das barras formadas durante o ensaio



Figura 6 – Ensaio de erosão original simulando vazão de 4.555 m³/s (Tr=100 anos) passando pelo vertedouro – Interação do escoamento proveniente do vertedouro e das correntes de retorno

Concluiu-se, devido à grande erosão resultante, que seria necessário alterar a configuração da bacia de dissipação, a qual, inclusive, já apresentava uma geometria alternativa a jusante do *end-sill*, configurada com o intuito de suprimir a necessidade de revestimento com enrocamento no piso do canal de fuga exposto por arenito de baixa resistência.

As modificações, propostas pelo consultor Professor Nelson Pinto, foram realizadas com o objetivo de diminuir as velocidades na saída da bacia de dissipação e estão indicadas na figura 7. Observa-se que o fundo plano da bacia de dissipação na elevação 236,50 m foi estendido e o segundo fundo plano, na elevação 240,60 foi eliminado. A ligação da estrutura com o fundo do canal na elevação 244 m passou a ser feita através de um *end-sill* de inclinação 1V:2H e uma rampa escavada com de inclinação 1V:10H.

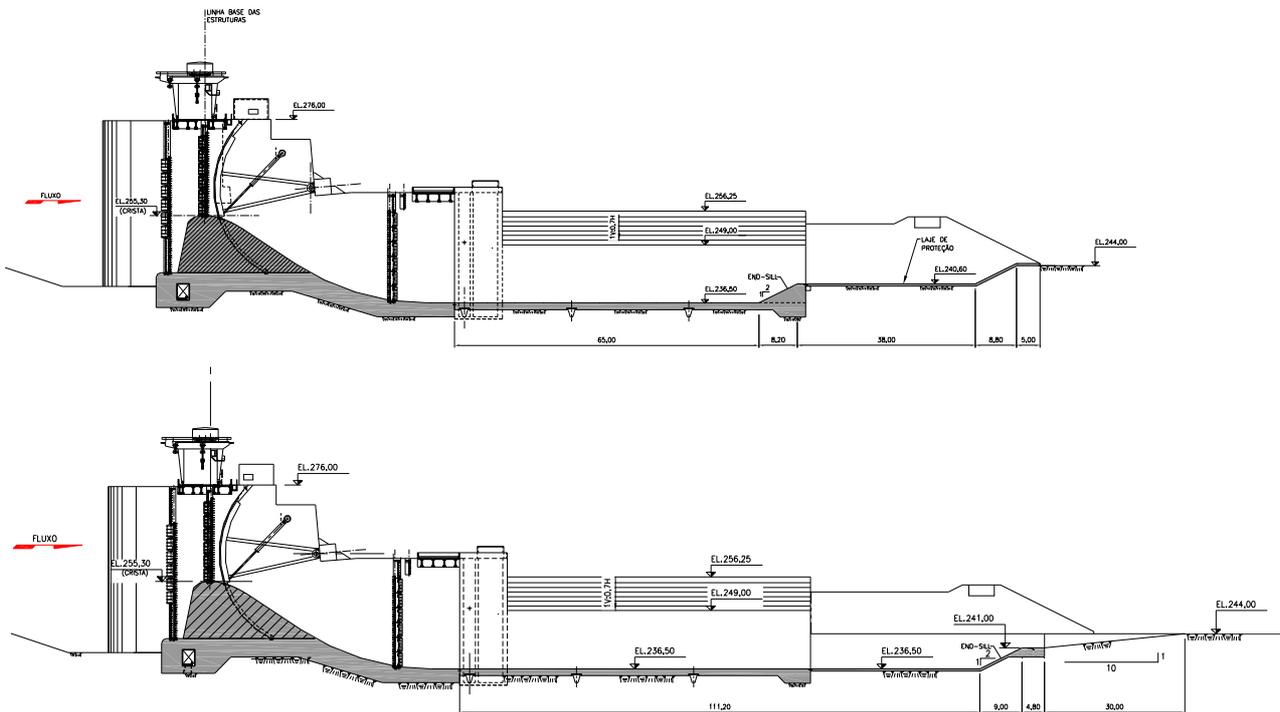


Figura 7 – Modificações implementadas na bacia de dissipação – Acima, configuração anterior às modificações propostas. Abaixo, nova configuração da estrutura.

Junto a essa alteração, foi proposta a modificação da escavação da margem esquerda do canal para melhorar as condições do escoamento na saída da bacia de dissipação. O resultado da erosão após aplicações das mudanças é apresentado na figura 8. Observa-se a minimização da assimetria e da profundidade da erosão, que atingiu valor máximo de 8,5 m, e, também, redução na extensão da erosão, a qual não atingiu diretamente a estrutura da bacia de dissipação, uma das maiores preocupações geradas nos ensaios antecedentes.



Figura 8 – Resultado do ensaio de erosão após modificação na configuração da bacia de dissipação- Simulação da vazão de 4.555 m³/s (Tr=100 anos) passando pelo vertedouro

Pode-se dizer que a nova configuração da bacia de dissipação e a modificação na escavação melhoraram as condições de escoamento no canal de restituição, colaborando para a redução da intensidade do campo de velocidades a jusante da estrutura. A figura 9 compara as velocidades máximas medidas durante os ensaios de erosão realizados com operação das duas alternativas de bacia de dissipação.

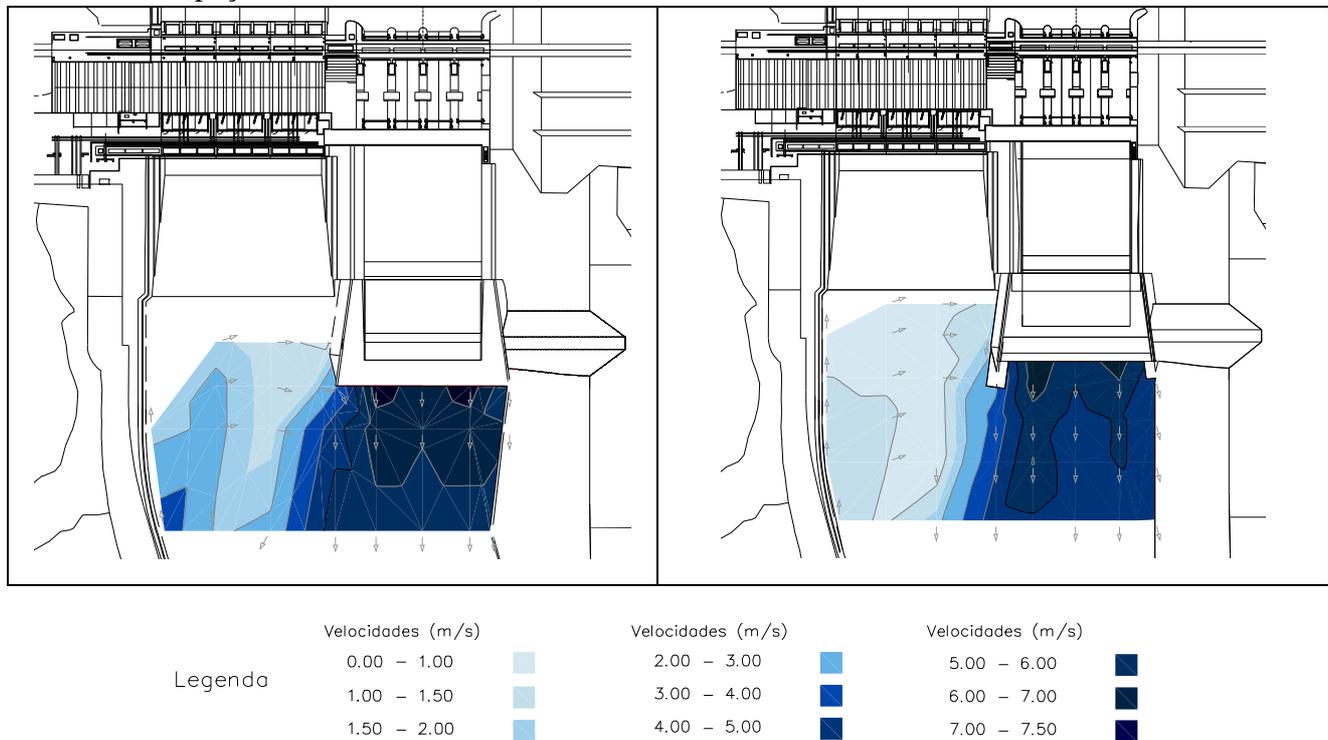


Figura 9 – Comparação do campo de velocidades máximas medidas durante os ensaios. À esquerda, bacia de dissipação original. À direita, nova configuração da bacia de dissipação e alteração na escavação da margem direita

CONCLUSÃO

Os estudos apresentados confirmam a necessidade da avaliação do processo erosivo em modelos reduzidos, visto que os resultados de extensão e profundidade da erosão são boas indicações para a avaliação do mecanismo de dissipação de energia, mostrando possíveis falhas e permitindo a comparação de alternativas.

Este trabalho apresentou uma metodologia para a tentativa de reprodução em modelo físico do comportamento erosivo do arenito feldspático da formação Dardanelos, a qual, em comparação com as observações em campo realizadas até então, se mostrou adequada e permitiu, assim, a avaliação do processo erosivo e constatação da necessidade de redimensionamento da bacia de dissipação. Sendo um estudo não convencional, existe a necessidade de comprovação da efetividade do método proposto, a qual será realizada através das observações no protótipo após início da operação do vertedouro.

REFERÊNCIAS

- FUDIMORI, M.H.; PECINI, B.; TAMADA, K.; BERNARDINO, J.C.M. (2013). Medidas estruturais em bacias de dissipação para redução de erosões a jusante do dissipador. In *Anais do XXIX Seminário Nacional de Grandes Barragens*, Porto de Galinhas, Abr. 2013. T 109 – A 12.
- MANNICH, M.; TERABE, F.R.; OTA, J. *Estudo da erosão a jusante do Vertedouro de Comportas*. LACTEC / CEHPAR. Curitiba, p. 10. 2008. (Projeto HL-152 rel. 5).