

Proposta de desenvolvimento de um sistema para monitoração dos deslocamentos de pêndulos diretos e indiretos instalados em barragens

Eduardo Konrad Burin^{1,2,3}, Armando Albertazzi Gonçalves Jr.^{1,3},
Huei Diana Lee^{2,3}, Feng Chung Wu^{2,3}

¹Laboratório de Metrologia e Automatização (LABMETRO)
Departamento de Engenharia Mecânica
Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)
Caixa Postal 5053 – 88.040-970 – Florianópolis, SC – Brasil

²Laboratório de Bioinformática (LABI)
Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE)
Caixa Postal 6731 – 85.866-900 – Foz do Iguaçu, PR – Brasil

³Centro de Estudos Avançados em Segurança de Barragens (CEASB)
Parque Tecnológico Itaipu (PTI)
Caixa Postal 6731 – 85.856-970 – Foz do Iguaçu, PR – Brasil

{ekb, albertazzi}@labmetro.ufsc.br

Abstract. *Ensuring the integrity of dams becomes important as severe complications are related to its rupture. In this context, a problem reported by owner of dams is characterized by the fact that the instruments currently used for determining the position of the plumb lines are no longer found for purchase. Thus, in this work is proposed the development of an instrument for determining the orthogonal coordinates of plumb lines installed in dams, contributing for the improvement of the safety of such structures.*

Resumo. *Em virtude do imenso potencial de perdas relacionadas ao rompimento de barragens, torna-se de fundamental importância a garantia da integridade dessas estruturas. Nesse contexto, um problema relatado por empresas proprietárias de barragens caracteriza-se pelo fato de que os coordenômetros ópticos atualmente utilizados para determinação da posição do fio de pêndulos já não são mais encontrados para aquisição. Assim, nesse trabalho é apresentada uma proposta de desenvolvimento de um novo instrumento para determinação das coordenadas ortogonais da posição do fio de pêndulos diretos e invertidos instalados em barragens, contribuindo assim para melhoria das condições de segurança dessas estruturas.*

1. Introdução

De acordo com a ICOLD¹ (*International Commission on Large Dams*), atualmente existem mais de 45000 grandes barragens registradas em todo o mundo. Esses empreendimentos desempenham importante papel para o desenvolvimento da sociedade, sendo destinados principalmente ao abastecimento de água para fins residenciais e industriais, à produção de alimentos, ao saneamento e à geração de

¹ <http://www.icold-cigb.net/>

energia [Medeiros 2003]. Assim, em virtude do imenso potencial de perdas decorrentes de possíveis rupturas acidentais, tem havido uma preocupação crescente com relação à segurança dessas estruturas [Rocha et al. 2003].

A monitoração e a garantia da integridade de obras de elevada complexidade tais como as barragens, é atualmente realizada por meio de inspeções visuais e pela análise de dados gerados por instrumentos de auscultação. Os principais parâmetros medidos incluem a pressão da água nas rochas da fundação, os deslocamentos da estrutura e da fundação, a temperatura do concreto e do ambiente, as vazões de drenagem e os materiais sólidos carregados pela água. A avaliação da inter-relação existente entre esses parâmetros pode auxiliar na determinação de ações que possam ser tomadas para remediar efeitos indesejados por meio da atenuação de suas causas [Silveira 2006].

Todas as estruturas movem-se quando são submetidas à carregamentos externos. Nesse contexto, os pêndulos diretos são instalados com o propósito de se observar os deslocamentos da crista da barragem com relação à interface solo-estrutura. Os pêndulos invertidos, por sua vez, possibilitam avaliar os deslocamentos da base da barragem com relação a pontos fixos na fundação. Esses instrumentos são amplamente utilizados para a monitoração de deslocamentos pelo fato de serem simples, de baixo custo, precisos e confiáveis. Por meio da determinação destas variáveis, podem ser avaliadas as solicitações mecânicas relacionadas ao nível de água à montante e à jusante da estrutura, às subpressões da fundação, dentre outros aspectos [FERC 2008].

Para a obtenção das coordenadas ortogonais da posição do fio de um pêndulo, um instrumento amplamente utilizado é denominado coordenômetro óptico. Esse equipamento é fixado a uma base de referência na estrutura, sendo composto por duas escalas graduadas e perpendiculares entre si que permitem monitorar os deslocamentos do fio de aço. No entanto, um problema relatado por empresas proprietárias de barragens caracteriza-se pelo fato desses instrumentos já não serem mais encontrados para aquisição, estando sujeitos a degradação com o passar do tempo.

Esse trabalho, em andamento, tem como objetivo propor o desenvolvimento de um novo instrumento para a monitoração das coordenadas ortogonais da posição do fio de pêndulos diretos e invertidos, de modo a se utilizar as mesmas bases de referência atualmente instaladas nas barragens.

Com relação à estrutura deste trabalho, na seção 2 é realizado um estudo a respeito dos pêndulos diretos e invertidos. Na seção 3 estão apresentados os requisitos iniciais do sistema de medição a ser gerado. Na seção 4, por sua vez, um esquema do instrumento de medição é apresentado e, na seção 5, as discussões e conclusão.

2. Pêndulos diretos e invertidos

Os pêndulos são instrumentos de auscultação freqüentemente instalados em barragens com o objetivo de se monitorar os deslocamentos da estrutura. Com relação aos pêndulos diretos, estes são caracterizados pela fixação de um fio de aço na crista da barragem, o qual sustenta um peso de chumbo imerso em um banho de óleo posicionado na interface solo-estrutura. Assim, o deslocamento relativo existente entre o ponto de ancoragem e a base de referência instalada na elevação de interesse é determinado por meio da medição do deslocamento do fio de aço [ITAIPU 1992]. Na Figura 1-a pode ser observada a representação esquemática e os elementos constituintes de um pêndulo direto instalado na usina hidrelétrica de ITAIPU Binacional.

Nos pêndulos invertidos, por sua vez, a fixação do fio de aço é realizada na fundação, sendo a outra extremidade atada a um elemento flutuador posicionado na barragem. Por meio desta configuração, as movimentações da barragem são avaliadas em relação a pontos fixos da fundação realizando-se a medição do deslocamento do fio de aço na base de referência instalada na elevação de interesse [ITAIPU 1992]. Na Figura 1-b pode ser observada a representação esquemática e os elementos constituintes de um pêndulo invertido instalado na usina hidrelétrica de ITAIPU Binacional.

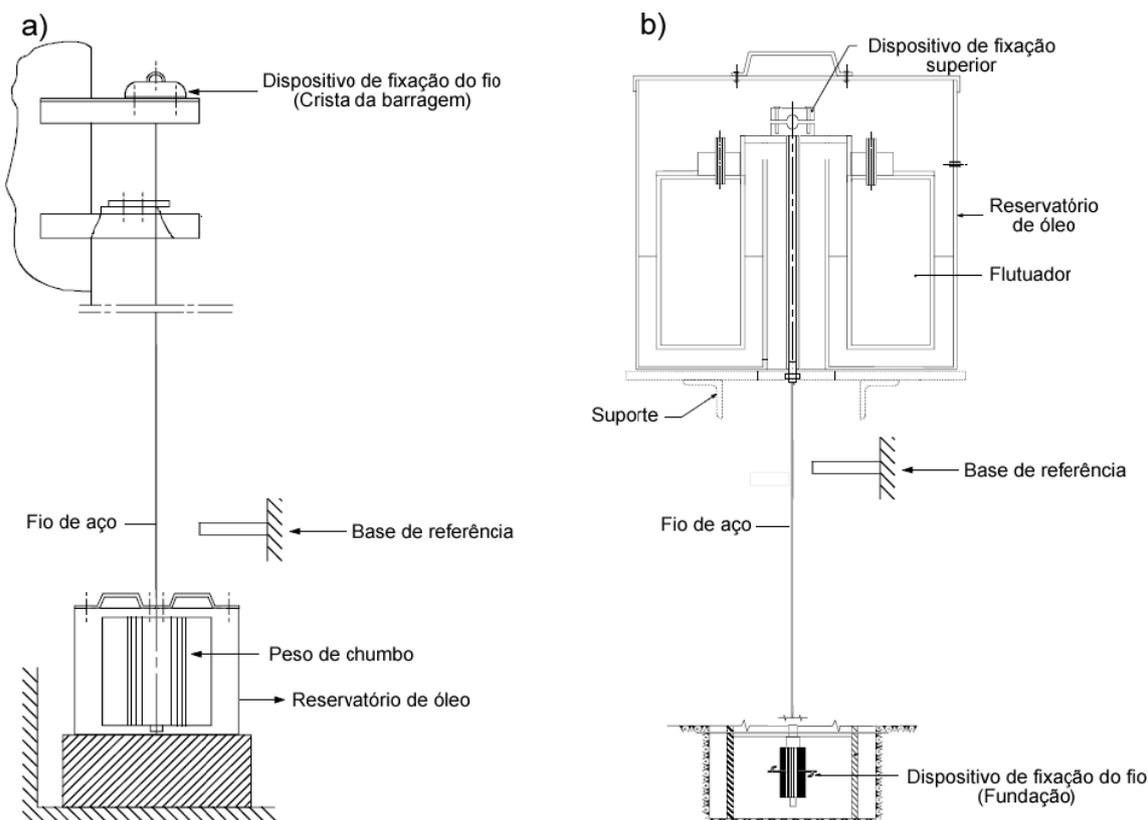


Figura 1. a) Representação esquemática e elementos constituintes de um pêndulo direto. b) Representação esquemática e elementos constituintes de um pêndulo invertido [ITAIPU 1992].

3. Requisitos do sistema proposto

Para o desenvolvimento do novo instrumento de monitoração das coordenadas ortogonais da posição do fio de pêndulos diretos e invertidos instalados em barragens, uma série de requisitos deverão ser estabelecidos e avaliados. Alguns desses atributos estão relacionados abaixo:

- **Base de referência:** Os valores medidos da posição do fio de um pêndulo deverão estar relacionados a uma base de referência já instalada na estrutura da barragem. Desse modo, a série temporal gerada pelo instrumento será compatível com a gerada anteriormente até o momento da substituição do dispositivo de medição;
- **Faixa de medição:** A faixa de medição do instrumento deverá ser compatível com os deslocamentos observados para o pêndulo;
- **Incerteza de medição:** A incerteza de medição do instrumento deverá ser compatível com os níveis considerados adequados para a monitoração dessa

grandeza. Os dados gerados deverão ser confiáveis, uma vez que serão analisados e utilizados para alimentar sistemas orientados à tomada de decisões;

- **Grau de automação:** O instrumento deverá possibilitar a aquisição e a transferência automática dos dados de medição;
- **Portabilidade:** O instrumento deverá realizar as medições “*in situ*” de modo a não inibir a realização de inspeções visuais;
- **Resistência (umidade, temperatura e descargas elétricas):** O instrumento deverá apresentar bom desempenho e máxima durabilidade no ambiente em que for instalado. Nesse contexto, aspectos como umidade, temperatura e descargas elétricas deverão ser levados em consideração para a elaboração do projeto do sistema, assegurando uma operação confiável em tais circunstâncias;
- **Manutenção:** O projeto do instrumento será realizado de modo a viabilizar futuras intervenções de manutenção;
- **Calibração:** Deverão ser estabelecidos procedimentos de calibração para o instrumento de medição, visando garantir a manutenção de suas características metrológicas;
- **Custo:** Uma análise de custos do instrumento de medição será realizada, ponderando-se os valores relacionados às etapas de aquisição, calibração, instalação, operação e manutenção.

A avaliação destes requisitos será realizada juntamente com os usuários do sistema, além de especialistas da área de metrologia e de segurança de barragens.

4. Apresentação do sistema proposto

Na Figura 2 é delineada uma representação esquemática do instrumento de medição proposto para a monitoração dos deslocamentos do fio de aço de um pêndulo. O desenvolvimento desse projeto será realizado em uma parceria entre o Laboratório de Metrologia e Automatização (LABMETRO) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) e o Centro de Estudos Avançados em Segurança de Barragens (CEASB) do Parque Tecnológico Itaipu (PTI).

Como pode ser observado, o acionamento do equipamento será realizado assim que um sinal de entrada for disponibilizado para o sistema. Desse modo, as coordenadas ortogonais do fio do pêndulo serão então mensuradas, sendo os valores desse atributo referenciados a uma base previamente instalada na estrutura da barragem (base de referência). Após a realização desses procedimentos, os dados adquiridos pelo instrumento serão convertidos para grandeza de engenharia, disponibilizados para o usuário e posteriormente analisados.

Com relação ao equipamento de medição, aos módulos de aquisição e transmissão de dados e aos demais componentes necessários para a composição do sistema, será realizado um estudo com o objetivo de se identificar as tecnologias mais adequadas para o delineamento de cada função.

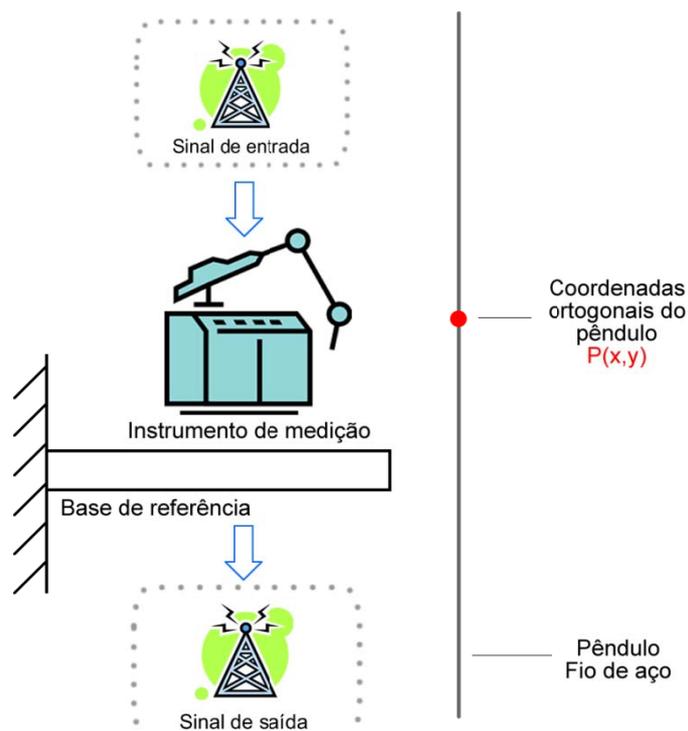


Figura 2. Representação esquemática do sistema proposto para avaliação dos deslocamentos do fio de pêndulos.

5. Discussões e conclusão

O sistema de instrumentação de uma barragem tem como função fornecer informações confiáveis relacionadas ao comportamento da estrutura nas diversas fases de sua vida útil, sendo elas a construção, o primeiro enchimento e a sua operação ao longo do tempo [Silveira et al. 1994]. No entanto, o fato de existirem instrumentos de auscultação instalados na barragem não garante a detecção precoce de problemas, tornando-se necessária a constante avaliação de quais são os equipamentos ainda confiáveis, quais podem ser desativados em definitivo e quais devem ser substituídos por outros novos [Silveira 2006].

Nesse contexto, esse trabalho tem como objetivo propor o desenvolvimento de um novo instrumento para monitoração das coordenadas ortogonais da posição do fio de pêndulos diretos e invertidos instalados em barragens. A realização desse projeto faz-se necessária visto que um conjunto de equipamentos amplamente utilizados para esse fim (coordinômetros ópticos) já não encontram-se mais disponíveis para aquisição, impossibilitando a reposição das unidades danificadas e fora de uso. Com relação às características do novo instrumento de medição proposto, este será desenvolvido tomando-se como base uma série de requisitos pré-estabelecidos por profissionais da área de metrologia e de segurança barragens. Desse modo, por meio da realização desses procedimentos, será gerado um sistema confiável, versátil e orientado às necessidades dos usuários, contribuindo assim para a melhoria das condições de segurança dessas estruturas, cuja ruptura pode ocasionar conseqüências devastadoras.

7. Agradecimentos

Ao Programa de Desenvolvimento Tecnológico Avançado (PDTA-FPTI/BR) e ao Centro de Estudos Avançados em Segurança de Barragens (CEASB), pelo auxílio por meio da linha de financiamento de bolsas.

Referências

FERC - Federal Energy Regulatory Commission. *Engineering Guidelines for the Evaluation of Hydropower Projects*. Washington DC, 2008.

Medeiros, C. H. (2003). Segurança e auscultação de barragens. Em *XXV Seminário Nacional de Grandes Barragens*, páginas 13–50.

ITAIPU Binacional. *Descrição de Funcionamento – Pêndulo direto/invertido*. Foz do Iguaçu, 1992.

Rocha, R., Bernardi, E., Rodrigues, R. C., Fujiwara, R., Kawauche, T. M., Santos, R. P., Pereira, P. N., e Ferreira, W. V. F. (2003). Sistema de gestão de segurança de barragens. Em *XXV Seminário Nacional de Grandes Barragens*, páginas 104–115.

Silveira, J. F. A. (2006). *Instrumentação e Segurança de Barragens de Terra e Enrocamento*. Oficina de Textos, 1ª edição.

Silveira, J. F. A., Souza, R. B., Castro Oliveira, T., e Lopes, A. M. (1994). A automação da instrumentação da UHE de Xingó e os custos envolvidos. Em *XXI Seminário Nacional de Grandes Barragens*, páginas 111–119.