

Instrumentação em barragens: a automatização é realmente uma necessidade?

Cristian Chacón Quispe

Fonntes Geotécnica, Belo Horizonte, Brasil, cristian.quispe@fonntesgeotecnica.com

Michel Moreira Morandini Fontes

Fonntes Geotécnica, Belo Horizonte, Brasil, michel@fonntesgeotecnica.com

Jean Carlos Macson Cardoso

Fonntes Geotécnica, Belo Horizonte, Brasil, jean.cardoso@fonntesgeotecnica.com

RESUMO: O presente artigo avalia os principais instrumentos utilizados atualmente em barragens de terra e suas versões automatizadas, comparando resultados e elucidando as vantagens e desvantagens dos instrumentos analisados, através de revisão bibliográfica e pesquisa sobre instrumentos. Os instrumentos automatizados imprimem segurança e confiabilidade na aquisição dos dados de acordo com os resultados de diferentes autores, porém não garante que seja a única forma de monitoramento, devendo ser compartilhado com a instrumentação manual.

PALAVRAS-CHAVE: Instrumentação, Barragens de terra, Monitoramento automatizado.

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos tem sido observado um aumento considerável na quantidade e gravidade nos acidentes com barragens no Brasil, acidentes que poderiam ser evitados e ou minimizados com instrumentação e monitoramento adequados, subsidiados pela interpretação adequada dos dados coletados que sinalizariam o comportamento dos maciços das barragens, possibilitando a tomada de decisão frente ao cenário apresentado em tempo congruente (Affonso,2005).

Com o avanço da tecnologia, surge um novo conceito na área de instrumentação de barragens: a automatização. Nas barragens, a segurança é fortemente influenciada pela correta leitura e interpretação dos resultados obtidos por meio da instrumentação. Eles permitem verificar as condicionantes que determinam a estabilidade atual dos maciços de barragens, definindo níveis críticos para acionamentos de ações que permitam enfrentamento a cenários de emergência de maneira preventiva.

Dentre os instrumentos mais utilizados na auscultação de barragens atualmente estão os: Indicadores de nível d'água (INA), piezômetros (PZ), inclinômetros (INC), Marcos superficiais (MS), entre outros, os mesmos possuem suas versões automatizadas devendo ser utilizados tanto na construção como durante a operação. Toda instrumentação deve ser definida com a determinação de seu objetivo, finalizando na avaliação e validação criteriosa dos dados obtidos (Machado,2007).

Segundo Granemann (2005), a coleta de dados da instrumentação pode ser realizada manual ou por sistemas automatizados o que deverá ser definido conforme as condições observadas durante a elaboração do projeto conforme o porte, localização e tipo de instrumento, todas as informações devem ser avaliadas ainda no momento da coleta dos dados de modo que qualquer erro seja verificado e a coleta seja refeita imediatamente nos casos de coletas de dados manuais.

No caso de obtenção automatizada dos dados, estes deverão ser analisados e comparados com leituras anteriores com o objetivo de validar e reconhecer o mesmo como representativo e confiável para utilização.

O objetivo deste trabalho é avaliar os principais instrumentos utilizados atualmente em barragens de terra e suas versões automatizadas, comparar resultados e elucidar sobre as vantagens e desvantagens dos instrumentos analisados de acordo com a experiência em campo e literatura atualizada.

2 REVISÃO BILIOGRÁFICA

Conforme estabelecido pela norma brasileira NBR 13028 - 2017 - Projetos de barragem para disposição de rejeitos, contenção de sedimentos e reservação de água, a instrumentação mínima requerida de uma barragem deverá contemplar: Controle da vazão da drenagem interna, níveis de água e poropressões no interior do maciço e fundação da barragem, assim como as deformações.

A Portaria 70.389, de maio de 2017 do DNPM na Seção IV Art. 1 determina que o nível de complexidade do sistema de gerenciamento fica a cargo da classificação do dano potencial associado (DPA), nos casos em que as estruturas possuem DPA alto, população a jusante e método construtivo ambos com pontuação 10 o Art.2 cita a obrigatoriedade do empreendedor a manter monitoramento adequado com acompanhamento integral.

A seguir será apresentado os tipos de instrumentação utilizados atualmente para monitoramento em barragens de terra.

2.1 Instrumentação com leitura manual

No estudo realizado por Kainj e Figueira (1990) nas barragens brasileiras é comumente

observado a instalação de 01 instrumento para cada metro de altura (1:1) sendo os instrumentos mais instalados apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Principais instrumentos para auscultação de barragens (Kainj e Figueira, 1990)

Instrumento	Média
Piezômetros	50%
Marcos Topográficos	30%
Medidores de deslocamento	20%
Inclinômetros	5%

A experiência demonstrou que apesar de apresentarem bom custo/benefício os instrumentos manuais apresentam muitos erros e variações das leituras realizadas em campo resultados de leituras mau executadas, danos durante a construção e operação dos instrumentos, o que compromete a interpretação dos dados assim como a tomada de decisão (Fusaro,2007).

Silveira (2006) relaciona alguns problemas comuns que podem vir a acontecer durante a vida útil de piezômetros *standpipe*: obstrução dos tubos por introdução de objetos; obstrução dos tubos por cisalhamento no interior do maciço; colmatação dos orifícios do tubo/bulbo ou do material drenante; oxidação do tubo de leitura, quando este for metálico; ruptura da tubulação de leitura.

Outro problema que pode ocorrer, é a instalação de piezômetros antes da execução ou conclusão de cortinas de injeção, que ao serem executadas, podem obstruir com calda de cimento as células destes instrumentos, levando à total inoperância dos mesmos. (Castro et al., 2017)

A má execução do selo impermeável ao longo do furo, onde o piezômetro está instalado, favorece a entrada de água proveniente de locais externos ao da instalação do piezômetro. Dunicliff (1993 apud Castro et al. 2017) salienta que, uma das maneiras para se avaliar esta falha é efetuar um ensaio de

permeabilidade com carga constante, após a dissipação da poropressão gerada durante a instalação do piezômetro.

2.2 Instrumentação automatizada

A substituição do sistema de instrumentação convencional vem se tornando viável para barragens de grande porte, isso só foi possível após o desenvolvimento dos micro-computadores, data loggers e entre outros e a transmissão dos dados via rádio, fibra-óptica e satélite.

Através da evolução das tecnologias referentes a instrumentação de controle, surgiram avanços tecnológicos no que tange a coleta de dados, transmissão, processamento e análise de dados. A título de exemplo cita-se o sistema Monitor criado pela CEMIG, totalmente automatizado, realiza todas atividades supracitadas, traduz os dados para grandezas de interesse controlando os limites de alerta e em caso de comportamento inadequado aciona os responsáveis pela barragem, apresentando resultados através de gráficos sobre as plantas ou seções de projeto (Balbi et al, 2003).

Segundo Doornik et al. (2004) uma nova tecnologia que permite modernizar o monitoramento das barragens é a dos sensores de fibra óptica. Uma das vantagens desses sensores ópticos é que são imunes a possíveis danos provocados por raios ou interferências eletromagnéticas, o que é comum ocorrer nos sensores eletrônicos. Os sensores ópticos dispensam também qualquer tipo de alimentação elétrica provida de tomadas, painéis solares ou bateria.

2.1.1 Descrição do Sistema Óptico de Monitoração

O sistema óptico de monitoração integrado, em tempo real e de multiparâmetros para barragens (SOMB) cujo diagrama é mostrado na Figura 1 é chamado assim pelos seguintes motivos: é

integrado pelo fato de todos os sensores serem feitos da mesma tecnologia (FBG); uma única fibra óptica conduz os sinais de vários sensores e todos os sinais dos sensores são processados em um único equipamento chamado interrogador; é de tempo real porque os dados dos sensores podem ser acessados remotamente e no mesmo tempo da medição e é de multiparâmetros porque os sensores da tecnologia FBG permitem a avaliação de parâmetros distintos, entre os quais, deslocamentos, pressão, nível de água, vazão e temperatura.

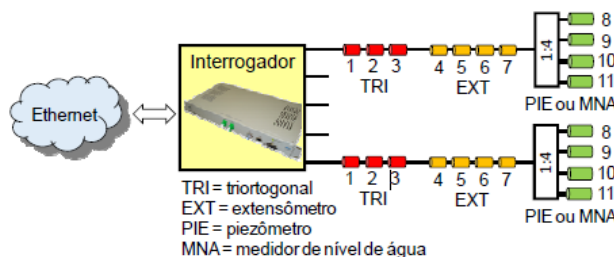


Figura 1. Topologia do Sistema SOMB. (Rosolem, 2017)

A saída do interrogador é conectada a um servidor onde está instalado a ferramenta computacional do sistema SOMB e este é conectado à rede Ethernet. Desta forma o acesso aos dados pode ser feito em qualquer lugar através de um aplicativo desenvolvido no projeto para uso em smartphones, tablets e desktops.

3 COMPARAÇÃO DE RESULTADOS DE INSTRUMENTAÇÃO AUTOMATIZADA E MANUAL

As observações e resultados da instrumentação com leitura manual é comumente conhecida em função ao seu uso, porém os cuidados sempre serão poucos no momento da interpretação, devendo duvidar de resultados incompatíveis. Um caso é apresentado no trabalho de Neves (2017) onde a barragem de Santa Branca, instalada no rio Paraíba do Sul a jusante da Usina Hidroelétrica (UHE) Paraibuna, começou a apresentar comportamentos anômalos nos instrumentos instalados. Por meio de um

endoscópio foram detectados elementos dentro dos tubos piezométricos que impediam as leituras e em outros casos foram encontradas descontinuidades nos dutos dos piezômetros (Figura 2 e Figura 3).



Figura 2. Vista para uma tampa de adesivo plástico no interior do piezômetro. (Neves, 2017)



Figura 3. Vista para descontinuidade do duto do piezômetro. (Neves, 2017)

Neste caso, a câmera endoscópica vem a ser uma nova tecnologia que pode ser usada dentro do monitoramento de barragens ao apresentar instrumentação com algum tipo de anomalia nos resultados sendo que inicialmente é recomendado a realização de “teste de vida” ou equalização das pressões nos instrumentos.

Rosolem et al. (2017) apresenta resultados sobre instrumentação automatizada e manual sendo comparados ao longo de um ano (2015)

nas Usinas Hidroelétricas (UHE) de Foz de Chapecó e Barra Grande. Os resultados em função aos sensores piezométricos, manômetros, extensômetros de haste KM e sensores de células de recalque foram satisfatórios sendo comparados com os instrumentos convencionais, porém, apresentou problemas de medição em alguns outros instrumentos. (Figura 4 e Figura 5)



Figura 4. Medidas de três piezômetros localizados no Vertedouro da UHE Foz do Chapecó. (Rosolem, 2017)

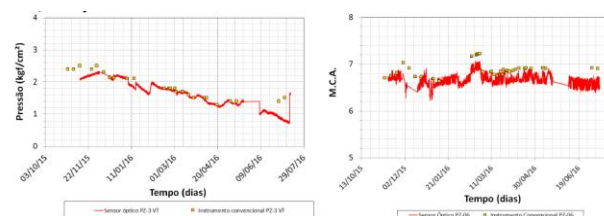


Figura 5. Medidas do manômetro e do piezômetro instalados na UHE Barra Grande (Rosolem, 2017)

De acordo com a literatura técnica e do conhecimento de especialistas no assunto que acompanharam e visitaram vários casos de automação de barragens é comum em uma fase inicial ocorrer problemas com sensores, mau funcionamento, e algumas medições incorretas sendo necessário da ordem de 5 anos para verificar o funcionamento correto dos sensores.

Os sensores FBG se apresentam como uma alternativa no mercado de monitoramento de barragens devido que dispensam qualquer tipo de alimentação elétrica provinda de tomadas, painéis solares ou bateria e são imunes a possíveis danos provocados por raios ou interferências eletromagnéticas o que é comum

ocorrer em sensores eletrônicos.

3 VANTAGENS E DESVANTAGENS DA INSTRUMENTAÇÃO MANUAL E AUTOMATIZADA

Em função da revisão bibliográfica e experiência de diferentes autores, as vantagens e desvantagens sobre o uso de instrumentação manual e automatizada se apresenta na seguinte tabela. (Tabela 2),

Tabela 2 – Comparativo entre instrumentos manuais e automatizados.

	Automatizados	
	Pontos positivos	Pontos negativos
INA	Acurácia dos dados, Monitoramento sem interferências, Confiabilidade dos dados, Alta sensibilidade, Unidade de leitura portátil e com memória, Permite a monitoração contínua	Alto Investimento inicial Não existe recuperação para instrumento danificado, Requer de equipe técnica especializada, Manutenção constante, Comparação de resultados com instrumentação manual.
PZ		
MS		
	Manuais	
	Pontos positivos	Pontos negativos
INA	Baixo Custo Simplicidade construtiva Simplicidade para realizar leitura Fácil operação Permite verificação do funcionamento Permite ensaio de permeabilidade ao longo do tempo	Erros na coleta de dados, Coleta de dados é comprometida por fatores climáticos, Interferência do tubo vertical com a execução do aterro, Atrito negativo em aterros de grande altura, requerendo a utilização do tubo de proteção externa, Perigo de seccionamento do tubo durante a construção,
PZ		
MS		

INA: indicador de nível de água, PZ: Piezômetro e MS: Marco superficial

Silveira (2006) apresenta o valor médio unitário de cada instrumento instalado em algumas barragens. (Tabela 3).

Tabela 3 – Instrumentação de Barragens (Silveira 2006).

Barragem	Tipo	Qtd	Unitário US\$
Ridgway - Colorado/USA	Terra	114	1986,828
Calamus - Nebraska/USA - U.	Terra	163	1986,828
Reversível de Bath County U.	Concreto	422	1895,735
Hidrelétrica de Xingo	Concreto	154	2077,922

Devido ao custo elevado e o pouco conhecimento, ainda, da instrumentação automatizada, vários autores recomendam que esta seja instalada em no máximo o 25% da instrumentação total do empreendimento, com isto, se abre uma nova forma de monitoramento que provê novos resultados comparativos entre a instrumentação manual e a instrumentação automatizada. De acordo com Rosolem et al (2017) o período de teste varia entre 2 a 5 anos para uma efetiva comprovação da eficácia da instrumentação automatizada. Durante este tempo, todo o sistema de automatização continuará se aperfeiçoando para que tenha a robustez, confiabilidade e precisão necessárias para uso definitivo como um produto nas barragens escolhidas bem como em qualquer outra onde se deseje instalar.

5 CONCLUSÃO

Neste contexto conclui-se que os instrumentos automatizados imprimem segurança e confiabilidade na aquisição dos dados, entretanto os custos de implantação são muito elevados inicialmente com previsão de retorno do investimento à longo prazo, principalmente pela estrutura de rede requerida pelo sistema para recebimento e envio dos dados, ficando ainda dependente de softwares para conversão e gestão dos dados com licenças com renovações anuais. Cumpre ressaltar que a automatização

de uma parte do sistema de monitoramento dos empreendimentos irá melhorar os resultados obtidos até a atualidade com a instrumentação manual.

AGRADECIMENTOS

Os autores deste artigo agradecem a empresa FONNTES GEOTÉCNICA pelo fornecimento de todos os dados necessários, bem como seu apoio para a participação em congressos de alta relevância.

REFERÊNCIAS

- Affonso, H. M. M. (2005). *Instrumentação para medir deslocamentos em barragens de enrocamento*. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da PUC – Rio, Rio de Janeiro.
- Balbi, D.A.F., Fusaro T. C., Magalhães R. A (2003). *Inspetor – Sistema Inteligente de Controle e Segurança de Barragens*, XXV – Seminário Nacional de Grandes Barragens, Salvador - BA
- Castro, M. D., Oliveira T. C., Freitas I. M.. (2017). *Critério para Avaliação da operacionalidade de piezômetros de tubo aberto*, XXXI – Seminário Nacional de Grandes Barragens, Belo Horizonte – MG
- Cerqueira,H. (2017). *Crerios de Projeto para Instrumentação Piezométrica de Diversas Estruturas Geotécnicas em Mineração*. Dissertação (Mestrado) Apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Geotecnia, UFOP, Ouro Preto, 166p.
- Doornink,J. D., Phares B. M., Zhou,Z., GRAVER,T. W., XU,Z. (2004) -“*Fiber Bragg Grating Sensing for Structural Health Monitoring of Civil Structures*,” Anais do International Symposium on Advances and Trends in Fiber Optics and Applications, vol. 11, pags.41–44.
- Fusaro, T. C., (2007). *Estabelecimento estatístico de valores de controle para a instrumentação de barragens de terra: estudo de caso das barragens de Emborcação e Piau*, Dissertação (Mestrado) – Universidade federal de Ouro Preto, Ouro Preto – MG, 155f.
- Granemann, D. C. (2005) *Estabelecimento de uma Rede Geodésica para o Monitoramento de Estruturas: Estudo de Caso na Usina Hidrelétrica de Salto Caxias*. Dissertação Apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, , UFPR, Curitiba, 112p.
- Machado, G.F. (2007). *Monitoramento de Barragens de Contenção de Rejeitos da Mineração*. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.Departamento de Engenharia de Minas e Petroleo.São Paulo, 155f.
- Neves, B., (2017). *Considerações sobre inspeção endoscópica em piezômetros: Detecção de manifestações patológicas* – Seminário Nacional de Grandes Barragens, Belo Horizonte – MG
- Rosolem, J.B., Gregatti A.C.M., Carvalho G. M. Melegari L. F P. (2017). *Avaliação do Desempenho de Sensores de Fibra Óptica Multiparâmetros nas Barragens das UHES Barra Grande e Foz do Chapecó*, XXXI – Seminário Nacional de Grandes Barragens, Belo Horizonte – MG
- Silveira, J. F. A., (2006). *Instrumentação e segurança de barragens de terra e enrocamento* – Oficina de Textos, São Paulo, 413p.