

Novas Metodologias Aplicadas ao Monitoramento da Barragem de Salto Caxias

Marcos Alberto Soares¹
Elizeu Santos Ferreira¹
Pedro Luis Faggion²
Luis Augusto Koenig Veiga²
Carlos Aurélio Nadal²
Silvio Rogério Correia de Freitas²
Carlos Alberto Zocolotti Filho²
Daniel Carvalho Granemann²
Luisnei Martitni²
César Rafael Lopes²
Daniel Perozzo dos Santos²
Roberta Bomfim Boszczowski³

¹Copel – Companhia Paranaense de Energia
marcos.asoares@copel.com
elizeu.sf@copel.com

²Universidade Federal do Paraná
faggion@ufpr.br
kngveiga@ufpr.br
cnadal@ufpr.br
sfreitas@ufpr.br
czocolotti@hotmail.com
daniel.mestrado@ibest.com.br
l_martini@terra.com.br
cesar.r.Lopes@ufpr.br
danielperozzo@hotmail.com

³Lactec – Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento
roberta.bomfim@lactec.org.br

Resumo: O objetivo da Auscultação Geodésica é obter coordenadas cartesianas geodésicas de pontos topográficos por meio de técnicas de levantamentos Geodésicos, tais como: nivelamento geométrico de alta precisão, levantamento gravimétrico, posicionamento com GPS (*Global Positioning System*) e triangulações e trilaterações no monitoramento de determinados fenômenos. O trabalho busca integrar a Auscultação Geodésica à instrumentação de segurança utilizada para o controle de possíveis deslocamentos dos blocos de concreto que formam a barragem da Usina Hidrelétrica de Salto Caxias, situada no rio Iguaçu, no Estado do Paraná. Esta integração tem a finalidade de fornecer subsídios aos técnicos responsáveis pela manutenção civil, definindo deslocamentos absolutos dos blocos, uma vez que a instrumentação fornece apenas variações relativas. Estes dados são obtidos com a implantação de uma rede de monitoramento a jusante do reservatório,

formada por seis pilares de concreto engastados na rocha, e dotada de sistema de centragem forçada. Esta rede servirá para realizar o monitoramento externo do muro que forma a barragem e também para apoiar uma poligonal geodésica de alta precisão que será conduzida no interior das galerias de drenagem, objetivando a integração da instrumentação de monitoramento e segurança, a qual consiste na transformação de deslocamentos relativos medidos em deslocamentos absolutos relacionados ao sistema de coordenada geodésica utilizado no levantamento.

Palavras-chave: Auscultação Geodésica, Instrumentação de Barragens, Levantamentos Geodésia.

1 Introdução

As barragens são obras geralmente associadas a um elevado potencial de risco devido à possibilidade de um eventual colapso, com conseqüências catastróficas para as estruturas das próprias barragens, ao meio ambiente, causando destruição da fauna e flora, e, principalmente, colocando em risco vidas humanas. [Mini02].

O monitoramento destas estruturas se reveste de especial importância, fazendo com que diversos trabalhos tenham sido publicados sobre a utilização da Geodésia para este fim, principalmente no que concerne ao monitoramento de grandes estruturas. O Departamento de Geomática da Universidade Federal do Paraná (UFPR) vem realizando há alguns anos trabalhos voltados à auscultação geodésica, com destaque para a determinação de deslocamentos verticais da crosta terrestre na região do reservatório da Usina Hidrelétrica de Salto Caxias-PR. Dando continuidade àquela pesquisa desenvolveu-se um projeto junto à COPEL (Companhia Paranaense de Energia), à ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) e ao LACTEC (Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento) que visa à integração da Auscultação Geodésica com a instrumentação de controle e segurança da Barragem de Salto Caxias. Fundamentar o desenvolvimento de novas metodologias geodésicas com a implantação de redes topográficas de alta precisão, objetivando a análise de séries históricas de observações geodésicas, a elas agregando-se os novos dados da instrumentação de monitoramento e controle, será possível realizar uma análise global dos deslocamentos observados, o que culminará com uma melhora nos dados relativos à segurança da barragem.

2 Monitoramento Geodésico

Os levantamentos geodésicos efetuados em uma rede de pontos topográficos, utilizando medidas de ângulos e medidas de distância, usualmente proporcionam suficiente redundância de observações para análises estatísticas de qualidade e detecção de erros [Army94]. Ainda, segundo os autores, esta técnica proporciona informações globais sobre o comportamento do objeto deformável, enquanto as medições geotécnicas proporcionam informações localizadas e, muito freqüentemente, informações locais sem qualquer verificação a não ser a comparação com outras medidas independentes.

Algumas técnicas de levantamentos geodésicos utilizados para fins de monitoramento são: triangulação geodésica, poligonação, nivelamento geométrico de precisão e determinação de coordenadas utilizando o GPS. Em trabalhos de monitoramento de grandes estruturas é comum associar estas diferentes técnicas, como por exemplo, o posicionamento por GPS para a determinação das coordenadas planas dos pontos e o nivelamento geométrico de precisão para o controle altimétrico.

3 Desenvolvimento do Projeto

O projeto de auscultação geodésica da barragem de Salto Caxias está fundamentado em duas redes de monitoramento: uma externa e outra interna. A rede externa será utilizada para o monitoramento de pontos de interesse da segurança da barragem, localizados na face jusante, no topo da barragem e também como amarração para a rede interna de monitoramento (figura 1). Os pontos de interesse a serem monitorados pela rede externa compõem-se principalmente de alvos situados em lados opostos às juntas de dilatação ou a eventuais fissuras no corpo da barragem.



Figura 1 - Rede externa de pontos para o monitoramento

A rede interna é constituída de uma poligonal geodésica de precisão, que tem como objetivo servir de referência e apoio ao monitoramento

de pontos de interesse, localizados dentro das duas galerias da barragem (superior e inferior), geralmente correspondentes às posições dos pontos situados no exterior do muro. Servirá também de apoio a pontos que integrarão os equipamentos de segurança, tais como extensômetros e pêndulos, com a rede geodésica.

As principais atividades desenvolvidas na realização do monitoramento até o presente momento foram:

- a) Definição da posição dos pontos da rede de controle externa (Figura 1), com base em pré-análise de métodos e instrumentos. Foram, desta forma, escolhidos os locais para implantação de pilares de concreto armado, cujo projeto e construção foram desenvolvidos na UFPR (Figura 2);

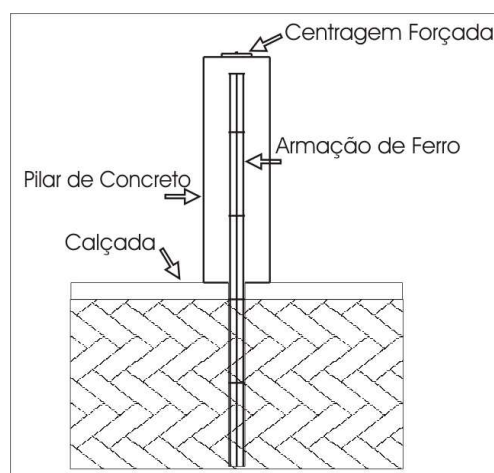


Figura 2 – Projeto do Pilar da Rede de Monitoramento

- b) Uma vez implantados os pilares, efetuou-se o levantamento geodésico da rede (figura 3), que consiste na medição de ângulos e distâncias por metodologia específica de trabalho, através de séries de medidas, obtendo-se superabundância de observações que permitem o ajustamento e análise dos dados;



Figura 3 - Levantamento Geodésico

- c) Após este levantamento em conjunto com os engenheiros da COPEL, procedeu-se à definição dos pontos a serem monitorados na face voltada a jusante da barragem em seu topo. Levou-se em consideração a definição de juntas de dilatação ou eventuais fissuras, colocando-se alvos topográficos em ambos seus lados (Figura 4). Procedeu-se a seguir ao levantamento de coordenadas tridimensionais dos pontos, com métodos geodésicos específicos, e que mais tarde possibilitarão o ajustamento e a análise dos dados;
- d) De forma análoga, efetuou-se a definição dos pontos a serem monitorados nas galerias de inspeção, a escolha dos locais e a materialização das estações da poligonal (pontos de referência). Procedeu-se a seguir ao levantamento topográfico tridimensional das galerias, com a determinação da posição dos pontos a serem monitorados;
- e) Na seqüência, estão sendo estudados os procedimentos para a observação de alvos situados nos equipamentos de monitoramento e de segurança, tais como pêndulos e extensômetros, tendo como objetivo a transformação de observações relativas em absolutas, ou em outras palavras, que permitam a análise total do deslocamento do instrumento em relação à barragem.

Convencionou-se chamar de primeira campanha a que resultará nas coordenadas tridimensionais dos pontos, com sua respectiva qualidade estatística.

Para a análise de possíveis deslocamentos dos pontos no tempo é necessária a realização de observações em pelo menos duas épocas distintas, comparando-se os resultados obtidos. Para que se tenha confiabilidade nos resultados, é necessário garantir que as mesmas condições e procedimentos realizados na primeira campanha sejam repetidos nas outras campanhas. Não menos importante é verificar a estabilidade dos pontos de referência. Finalmente, após esta coleta de dados e seu ajustamento, há a necessidade de verificar se as diferenças entre as coordenadas de um mesmo ponto para duas épocas distintas são estatisticamente significativas, o que efetivamente caracterizará um deslocamento do ponto.



Figura 4 – Alvos na crista da barragem

4 Conclusão

O monitoramento de grandes estruturas é fundamental para sua segurança e as técnicas geodésicas vêm proporcionar informações adicionais aos responsáveis por esta área. Com este trabalho, pretende-se disponibilizar aos técnicos da Usina informações relacionadas a um conjunto de pontos para os quais serão conhecidas as coordenadas em diferentes épocas do ano, possibilitando analisar possíveis deslocamentos, de forma global, uma vez que os pontos externos e internos terão suas coordenadas referidas a um único sistema de referência.

5 Agradecimentos

Este projeto é uma parceria entre a ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica), COPEL (Companhia Paranaense de Energia), UFPR (Universidade Federal do Paraná) e o LACTEC (Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento).

6 Referências

- [Army94] Department of Army – U. S. Army Corps of Engineers. Manual 1110-1-1004 Deformation Monitoring and Control Surveying. Washington, DC, 1994.
- [Mini02] Ministério da Integração Nacional. Manual de Segurança e Inspeção de Barragens. Brasília, 2002.