

# ESTUDOS PRELIMINARES PARA A INTEGRAÇÃO DA INSTRUMENTAÇÃO DE CONTROLE E SEGURANÇA DA BARRAGEM DE SALTO CAXIAS COM A REDE GEODÉSICA DE MONITORAMENTO

Carlos Alberto Zocolotti Filho<sup>1</sup>  
Pedro Luis Faggion<sup>1</sup>  
Luis Augusto Koenig Veiga<sup>1</sup>  
Carlos Aurélio Nadal<sup>1</sup>  
Silvio Rogério Correa de Freitas<sup>1</sup>  
Daniel Perozzo dos Santos<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal do Paraná - UFPR - Departamento de Geomática - Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas - [zocolotti@pop.com.br](mailto:zocolotti@pop.com.br), [faggion@ufpr.br](mailto:faggion@ufpr.br), [kngveiga@ufpr.br](mailto:kngveiga@ufpr.br), [cnadal@ufpr.br](mailto:cnadal@ufpr.br), [sfreitas@ufpr.br](mailto:sfreitas@ufpr.br)

<sup>2</sup>Universidade Federal do Paraná - UFPR - Departamento de Geomática - Curso de graduação em Engenharia Cartográfica - [danielperozzo@ufpr.br](mailto:danielperozzo@ufpr.br)

## RESUMO

O presente trabalho consiste em determinar coordenadas geodésicas de pontos topográficos, instrumentos de monitoramento e junções de blocos das galerias internas da barragem da Usina Hidroelétrica de Salto Caxias. O objetivo é desenvolver uma metodologia para medir a posição, em diferentes épocas do ano, destes pontos. Estas coordenadas são referenciadas a uma rede geodésica a jusante da barragem que, por sua vez, está referenciada a um ponto da rede geodésica estadual, localizado em Francisco Beltrão. Desta forma pode-se determinar movimentos absolutos nos pontos monitorados, referidos a um sistema de coordenadas geodésicas, diferentemente das observações realizadas nos instrumentos da barragem, que fornecem movimentos relativos entre pontos. Os pontos monitorados no interior da galeria de inspeção terão suas coordenadas determinadas a partir de uma poligonal de precisão apoiada nos pontos da rede externa, sendo que a estação total e os prismas, serão fixados em um dispositivo de centragem forçada (DCF) ao longo da poligonal.

**Palavras-chave:** Geodésia, Monitoramento, Barragens.

## PRELIMINARY STUDIES FOR THE INTEGRATION OF CONTROL AND SAFETY INSTRUMENTATION OF SALTO CAXIAS DAM WITH THE GEODETIC MONITORING NETWORK

### ABSTRACT

*The purpose of this work is to determine geodetic coordinates of points, monitoring instruments and blocks junctions of the internal galleries in the Salto Caxias Dam. The objective is to develop a methodology to measure the position, in different times of the year, of these points. These coordinates are referred to a geodetic network. So it will be possible determine absolute displacements of the points in the geodetic reference system used, differently of the observations accomplished in the instruments of the dam, that supply relative displacements among points. The monitoring points in the gallery will have their coordinates determined using and precision traverse that will start and finish in points of external network, and the total station and the prisms will be placed in a forced centering device (DCF) along the traverse.*

**keywords:** Geodesy, Monitoring, Dams

## 1. INTRODUÇÃO

O projeto de pesquisa, Integração da Auscultação Geodésica com a Instrumentação de Controle e Segurança da Barragem de Salto Caxias, tem como objetivo desenvolver procedimentos, metodologias e redes complementares para a auscultação geodésica da barragem de Salto Caxias, integrando séries históricas de observações e novos dados da instrumentação de monitoramento e controle, atualmente em operação e levantamentos complementares, objetivando a análise global dos deslocamentos observados, tendo em vista a segurança da barragem. Este projeto foi dividido em duas partes: monitoramento interno e externo. Este artigo trata da parte interna da barragem, ou seja, a partir de coordenadas conhecidas de uma rede de marcos geodésicos com centragem forçada situada a jusante da barragem, as coordenadas são transportadas através de poligonais de precisão pelas galerias. O objetivo é o estabelecimento de coordenadas em pontos notáveis como junções de blocos, instrumentação de monitoramento e elementos de interesse, em diferentes épocas do ano, para que se possa estudar a variação dos deslocamentos, a fim de se fornecer subsídios aos projetistas e engenheiros da Copel. Os trabalhos realizados até o presente momento, visam estudos preliminares à integração da instrumentação de controle e segurança da barragem de Salto Caxias, com a rede geodésica de monitoramento, ou seja, levantamento tridimensional das galerias de inspeção, planejamento da locação dos pontos da poligonal de precisão a ser implantada e desenvolvimento e confecção dos dispositivos de centragem forçada e apoio de prismas.

## 2. LOCALIZAÇÃO DOS TRABALHOS

A Usina Hidrelétrica Salto Caxias está situada no Rio Iguaçu, no município de Capitão Leônidas Marques (figura 1). A construção das obras iniciou em janeiro de 1995, sendo que a produção comercial da primeira unidade geradora ocorreu em 18 de fevereiro de 1999 (COPEL, s.d.). De acordo com COPEL (s.d.) a usina possui uma capacidade instalada de 1240 MW de potência, em quatro unidades instaladas. A barragem de Salto Caxias apresenta 67 m de altura e 1083 m de comprimento, é do tipo gravidade em CCR (concreto compactado a rolo). O vertedouro sobre a barragem abriga 14 comportas com capacidade máxima e descarga para 49.600 metros cúbicos de água por segundo.



Figura 1 – Localização da Usina Hidroelétrica Salto Caxias

## 3. MONITORAMENTO GEODÉSICO

As técnicas de mensuração geodésicas visam determinar se um ponto ou, o conjunto destes, sofre variação em suas coordenadas ao longo do tempo, ou seja, se houve algum deslocamento dos mesmos. Estas coordenadas devem ser referenciadas a um sistema de referência geodésico. Foi necessária a construção de marcos geodésicos com centragem forçada (figura 2) e coordenadas geodésicas bem definidas. A partir de métodos globais (GPS).



Figura 2 – marcos geodésicos com centragem forçada

Para a determinação de deslocamentos absolutos, ou seja, para que os pontos de referência não sofram as tensões instaladas na barragem, realiza-se triangulações geodésicas muito precisas a partir de bases fixadas na rocha e distantes da área de influência da mesma, acompanhada de nivelamentos de precisão, operações essas para se determinar coordenadas de marcos notáveis na estrutura e nas fundações.

Os trabalhos de geodésia têm seu sucesso estreitamente vinculado à escolha conveniente das bases de medida (figura 3) em posições adequadas. Neste caso optou-se pela construção de seis pilares de concreto fixados na rocha.

Em trabalhos de monitoramento de grandes estruturas é comum associar estas diferentes técnicas, como o posicionamento por GPS para a determinação das coordenadas planas dos pontos, o nivelamento geométrico de precisão para o controle altimétrico e poligonação ou triangulação para definição de uma rede de monitoramento. Materializada a jusante da barragem, a rede geodésica está referenciada a um ponto da rede geodésica estadual do Paraná localizado no município de Francisco Beltrão (figura 4).



Figura 3 – Rede Geodésica de Monitoramento na UH de Salto Caxias



Figura 4 – Linha de base entre o ponto de referência e a rede geodésica de monitoramento

Adicionalmente, HECK (1984) apud CHAVES (1994, p.54) dizem que o método geodésico é caracterizado por observações diretas de distâncias, diferenças de altitude, direções verticais e horizontais, através do uso de teodolitos, níveis, medidores eletrônicos de distância, taqueômetros eletrônicos, miras invar, etc. Deve-se ter atenção especial à confiabilidade das medidas realizadas pela instrumentação geodésica. Deve-se conhecer a precisão dos equipamentos que, por sua vez, devem estar verificados e, se necessário, retificados, calibrados e classificados, por instituições competentes para garantir a confiabilidade das medições.

#### 4. TRABALHOS REALIZADOS

Após a construção dos pilares de monitoramento, com centragem forçada, foram realizadas medidas de ângulos e distâncias para a definição da geometria e coordenadas dos pontos da rede. Esta rede foi amarrada a um ponto localizado a aproximadamente 80km da usina, utilizando-se rastreamento GPS. Esta rede geodésica será a referência, ou seja, é a partir dela que todas as coordenadas serão transportadas aos pontos de interesse. Para a realização do monitoramento interno as seguintes etapas de são realizadas:

- Definição dos pontos de monitoramento;
- Levantamento topográfico tridimensional das galerias;
- Definição da localização dos pontos da poligonal de apoio;
- Confecção dos dispositivos de centragem forçada (DFG) para materializar a poligonal;
- Instalação dos DFG;
- Levantamento geodésico dos pontos de controle ou, monitoramento, em diferentes estações do ano;

Os engenheiros da Copel (Companhia Paranaense de Energia), responsáveis pela segurança da barragem, através de estudos, definiram pontos nas galerias superiores e inferiores passíveis de monitoramento. Utiliza-se extensômetros e pêndulos para o controle interno da barragem. Estes instrumentos fornecem deslocamentos relativos de pontos. Com a integração destes equipamentos à rede de monitoramento, transformam-se os movimentos relativos em absolutos e, desta forma, analisa-se o comportamento da estrutura como um todo.



Figura 5 – Levantamento das galerias internas

Foi realizado um levantamento topográfico dos detalhes existentes nas galerias internas (Figura 5). Todas as seções transversais e a instrumentação como, dutos de drenagem, medidores de vazão, pêndulos e extensômetros e mais os pontos de infiltração foram levantados com o objetivo de se conhecer a posição de cada um dos detalhes. Utilizou-se uma estação total Trimble 3305, que dispõe de distanciômetro a laser, ideal para levantamentos de minas, pois não é necessário instalar prismas nos pontos de interesse, a própria superfície do objeto reflete o sinal emitido. Estas informações serão utilizadas para o planejamento da locação dos pontos da poligonal de apoio e para a locação dos pontos de controle. Foram executadas duas poligonais para o levantamento, uma com da galeria inferior e outra da galeria superior. A figura 6 ilustra a representação tridimensional de parte da galeria levantada mostrando o dispositivo de centragem forçada instalado.

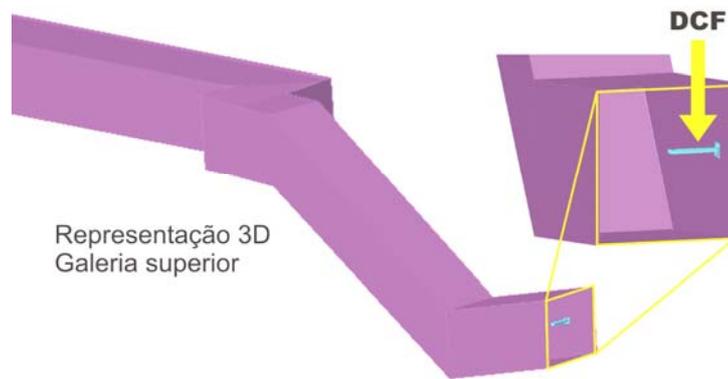


Figura 6 – Representação tridimensional de uma parte da galeria com o Dispositivo de Centragem Forçada (DCF)

A poligonal de apoio será materializada utilizando dispositivos de centragem forçada projetados pela equipe envolvida no projeto (Figura 7), que serão encaixados em placas de aço fixadas na parede. Estas placas de aço e DCF foram confeccionadas de forma que não haja movimentos no instante das medições da poligonal. As bases dos instrumentos ficarão fixas em três DCF do começo ao fim do levantamento. Num momento um será o ponto de ré, com um prisma instalado, outro terá uma estação total e outro será o ponto de vante com outro prisma instalado. Terminadas as medidas neste ponto, a estação total será instalada no ponto seguinte e, o DCF de ré irá para o ponto onde a estação total estava instalada.



Figura 7 – Dispositivo de Centragem Forçada (DCF)

Os pontos de monitoramento serão materializados por prismas encaixados em suportes de alvos, também projetados pela equipe envolvida no projeto, em forma de "L" (Figura 8) chumbados na parede de concreto. Terá dez centímetros fixados dentro do concreto e oito centímetros para fora, de maneira que o prisma apresente movimentos de rotação livre. Estes suportes de alvos serão confeccionados em aço 1045 de doze milímetros de diâmetro para garantir que não haja deformação decorrente do procedimento de medida. As coordenadas destes pontos serão determinadas em épocas do ano diferentes, uma no inverno e outra no verão. Desta forma poderão ser observados os maiores deslocamentos, teoricamente, devido à dilatação e compressão do concreto, influenciados pelas diferentes temperaturas.



Figura 8 – Suportes de alvos, ou prismas.

O estudo agora se concentra na metodologia de integração dos instrumentos de monitoramento, como por exemplo, pêndulos (figura 9) e extensômetros (figura 10). Estão sendo realizadas pesquisas com o intuito de verificar a aplicação de fitas refletoras para este fim. Deseja-se, por exemplo, associar as coordenadas medidas pelo sistema do pêndulo às coordenadas geodésicas. Está sendo estudada a possibilidade de séries históricas de medidas pendulares serem referenciadas ao sistema geodésico de coordenadas.



Figura 9 – Pêndulo e fitas refletoras nos pontos de monitoramento



Figura 10 – Extensômetro e fitas refletoras nos pontos de monitoramento

## 5. CONCLUSÕES

Até o presente momento não foi realizada determinação de coordenadas nos pontos de controle das galerias interna. A metodologia está sendo definida e a confecção dos dispositivos de centragem forçada e suportes de prismas, estão concluídos. Nas próximas campanhas, estes suportes serão instalados nas paredes das galerias e as primeiras medidas serão realizadas. A integração dos instrumentos de monitoramento permite uma avaliação global dos deslocamentos absolutos observados em diferentes épocas do ano, servindo como ferramenta para o controle e segurança de grandes obras de engenharia.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CAMARGO, WANDER MIRANDA. **Instrumentação em Fundações de Barragens, Relatório de Tema III do X Seminário Nacional de Grandes Barragens**. Curitiba. 1973.

COPEL Companhia Paranaense de Energia. Geração – Usinas Hidroelétricas. Disponível em: <<<http://www.copel.com/PagCopel.nsf/13feda93e8fef9203256a77005d0926/be9d34467aaf883403256b760042e91f?OpenDocument>>> Acesso em: 09 fev. 2004.

COPEL. Usina Hidroelétrica de Salto Caxias, Copel Geração - Energia pra o terceiro milênio. s.d. Publicidade.

CHAVES, J. C. **Controle de Deformações em Barragens: Métodos de Monitoramento e Viabilidade de Utilização do GPS**. São Paulo. 1994. 197f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.