

# PROJETO P&D ANEEL – INTEGRAÇÃO DA AUSCULTAÇÃO GEODÉSICA COM A INSTRUMENTAÇÃO DE CONTROLE E SEGURANÇA DA BARRAGEM DE SALTO CAXIAS

M. A. Soares, E. S. F. Ferreira - COPEL, P. L. Faggion, L. A. K. Veiga, C. A. Nadal, S. R. C. de Freitas – UFPR – R. B. Boszczowski - LACTEC.

**Resumo** - Este trabalho apresenta as atividades que estão sendo realizadas no projeto CGER032 – Integração da auscultação geodésica com a instrumentação de controle e segurança da barragem da UHE Salto Caxias. São descritas as redes geodésicas implantadas na região da Barragem para a realização do monitoramento. Atualmente o projeto encontra-se na fase de realização de observações e definição dos modelos matemáticos a serem empregados no ajustamento e análise dos resultados.

**Palavras-chave**—Auscultação Geodésica, Monitoramento de Estruturas, Monitoramento Geodésico.

## I. INTRODUÇÃO

O monitoramento de grandes obras de engenharia, como barragens por exemplo, se reveste de especial importância face que um eventual colapso pode causar perdas materiais e ambientais e principalmente de vidas humanas.

Em face da importância do assunto, diversos trabalhos têm sido publicados sobre a utilização da Geodésia para fins de monitoramento de grandes estruturas. O Departamento de Geomática da UFPR vem realizando há alguns anos trabalhos voltados à auscultação geodésica, com destaque para a auscultação Geodésica voltada para a determinação de variações da crosta terrestre na região da UHE Salto Caxias-PR, com a formação do reservatório da mesma. Para tanto, foram implantadas 84 RRNN na malha viária em torno do reservatório. Utilizou-se o método do nivelamento geométrico de primeira ordem associado a medidas gravimétricas, como resultado obteve-se o desnível entre as RRNN, com precisão de  $1\text{mm}\cdot\text{k}^{1/2}$  ( $\text{k}$ =média da distância nivelada e contra nivelada) e também a variação da gravidade. As duas técnicas foram aplicadas antes e após a formação do reservatório, comparado-se e interpretando-se os resultados.

Dando continuidade a esta pesquisa, este trabalho visa a integração da Auscultação Geodésica com a instrumentação de controle e segurança da Barragem de Salto Caxias, paltado no desenvolvimento de procedimentos, metodologias e redes complementares, objetivando a associação das séries históricas de observações geodésicas, novos dados da instrumentação de monitoramento e controle, atualmente em operação e levantamentos

complementares. Com base nestas informações será possível realizar uma análise global dos deslocamentos observados, tendo em vista a segurança da barragem.

## II. USINA HIDRELÉTRICA DE SALTO CAXIAS

A Usina Hidrelétrica de Salto Caxias, localiza-se no rio Iguaçu, estado do Paraná, na divisa dos municípios de Nova Prata do Iguaçu e Capitão Leônidas Marques, distanciada aproximadamente 560 km de Curitiba. A barragem é do tipo a gravidade em concreto compactado a rolo (CCR). É a maior estrutura do gênero no Brasil, com 1.083 m de comprimento na crista e 67 m de altura máxima em relação ao leito do rio. O volume de concreto compactado a rolo (CCR) foi de 945.600 m<sup>3</sup> na barragem e de concreto convencional (CCV) de 546.000 m<sup>3</sup> em toda a obra, sendo a de escavação em rocha constituída por basalto uma quantidade de 2.650.000 m<sup>3</sup>.

## III. MONITORAMENTO GEODÉSICO DA UHE SALTO CAXIAS

Monitorar um ponto, do ponto de vista do posicionamento geodésico, significa determinar e comparar as coordenadas de um ponto em duas épocas distintas, e verificar se, dentro de um certo nível de confiabilidade (significância), houveram variações significativas nestas coordenadas. Isto pode ser realizado tanto em planimetria como em altimetria. Desta forma o monitoramento geodésico de uma estrutura envolve a realização de campanhas periódicas de observação dos pontos de interesse. A frequência de observação estabelecida neste projeto envolve campanhas no verão e inverno, quando se esperam as maiores variações na estrutura.

A instrumentação de segurança de barragens (como pêndulos e extensômetros) permite a determinação de deslocamentos relativos, enquanto o uso de técnicas geodésicas conduz a determinação de deslocamentos absolutos, permitindo quantificar a magnitude e direção dos mesmos. Com isto pode-se ter uma idéia do comportamento global da estrutura que esta sendo monitorada. Na figura 1A, empregando-se um extensômetro é possível determinar se houve alguma variação entre o bloco A e o bloco B, porém não é possível determinar individualmente qual dos dois

blocos que se moveu. Já se empregando técnicas geodésicas, as coordenadas de pontos localizados em cada um dos blocos pode ser determinada em relação a um referencial fixo e estável (figura 1B), permitindo-se desta forma analisar qual dos dois blocos ou mesmo se os dois blocos se moveram e em que sentido. Cabe salientar que, para que isto seja possível, existe a necessidade de que a rede geodésica de monitoramento esteja referenciada a pontos considerados estáveis, principalmente no que tange às técnicas convencionais de monitoramento.

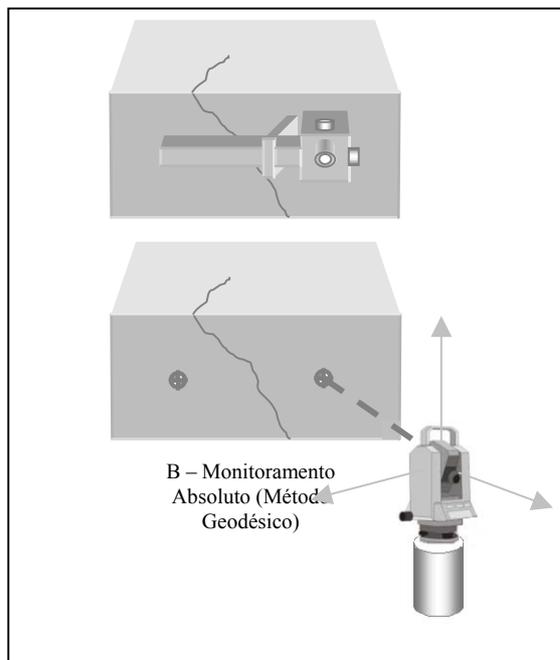


Figura 1 - Monitoramento Relativo e Absoluto.

A determinação de coordenadas de pontos empregando-se técnicas geodésicas convencionais está fundamentada na medição de grandezas como direções (horizontais e verticais), distâncias e desníveis, a partir dos quais, indiretamente é possível computar as coordenadas de um ponto. Para tanto são empregadas técnicas como poligonização, trilateração, triangulação, nivelamento geométrico e irradiação. Dentro deste projeto, os principais instrumentos empregados para a realização das observações são:

- Estação Total TC 2002 (precisão angular de 0,5" e linear de 1mm + 1ppm);
- Estação Total TCRA 1205 (precisão angular de 5" e linear de 2mm+ 2ppm);
- Nível Digital NA 3003;
- Gravímetro

Cabe salientar que a estação total TCRA 1205 foi adquirida com recursos oriundos do projeto. Este é um instrumento denominado de robotizado, pois permite a busca e realização de pontaria em pontos automaticamente. Além destes equipamentos, outros acessórios são necessários para a realização das observações. A figura 2 apresenta parte dos instrumentos empregados durante as campanhas de monitoramento.



Figura 2 – Instrumentos empregados para o monitoramento geodésico.

Também foram projetados e confeccionados instrumentos específicos para o monitoramento realizado na UHE Salto Caxias, como DCFs (dispositivos de centragem forçada para a execução da poligonização), por exemplo e que serão apresentados posteriormente neste artigo.

O projeto de monitoramento elaborado para a barragem pode ser dividido em três componentes principais: a rede de nivelamento geométrico, rede externa e interna de monitoramento.

#### IV. REDE DE NIVELAMENTO

A rede de nivelamento é composta por um conjunto de RRNN implantadas na parte superior da Barragem. Esta rede foi inicialmente nivelada antes mesmo do enchimento do reservatório, dentro de um projeto desenvolvido anteriormente na Universidade em parceria com a COPEL. Os nivelamentos estão sendo executados com o Nível Digital NA 3003. Cabe salientar que é empregada a técnica de nivelamento geométrico pelo método das visadas iguais. Com estes nivelamentos pretende-se observar a existência ou não de variações na estrutura no sentido do eixo Z. A figura a seguir ilustra a execução do nivelamento sobre a barragem.



Figura 3 – Execução do nivelamento geométrico de primeira ordem

#### V. REDE EXTERNA

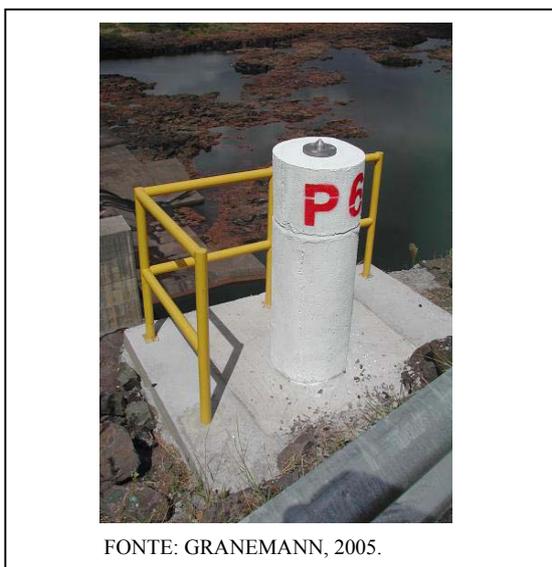
A rede externa de monitoramento é constituída por uma rede de pilares de centragem forçada e dos pontos de monitoramento fixados na face a jusante da barragem. Esta rede serve de apoio para os trabalhos de monitoramento de pontos localizados na face externa da barragem, sendo que dois pilares são empregados também como apoio para a realização das poligonais de monitoramento executadas dentro das galerias de inspeção. Na escolha da localização

dos pontos desta rede buscou-se identificar locais de onde fosse possível realizar as medições e que também fossem estáveis, para garantir a rigidez da rede. A figura 4 apresenta a disposição dos pilares que fazem parte da rede.

Esta rede é composta de seis pilares com dispositivos para centragem forçada, que de acordo com a literatura permitem a centragem com um erro entorno de 0,1mm. Um dos pilares é apresentado na figura 5.



Figura 4 – Disposição dos pontos da rede externa de monitoramento.



FONTE: GRANEMANN, 2005.

Figura 5 – Pilares da rede externa de monitoramento.

A partir desta rede externa são feitas as observações nos pontos posicionados a jusante da barragem. Estes pontos são materializados através de prismas que foram fixados de forma permanente na estrutura, para facilitar os procedimentos de medição e evitar problemas de posicionamento dos mesmos em diferentes campanhas. Foi implantado um sistema para proteção dos prismas, uma vez que estes estão expostos a intempéries e serão empregados nas futuras campanhas de monitoramento (figura 6). Estes pontos são monitorados empregando-se a estação total robotizada (TCRA 1205) que permite a busca e pontaria automática nos prisma, não necessitando desta forma de realizar a pontaria de forma manual. Os pilares da rede externa tiveram as suas altitudes determinadas por nivelamento geométrico.

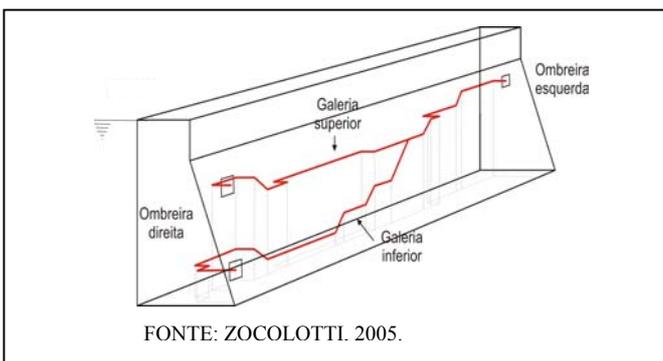


Figura 6 – Proteção para os prismas na face a jusante da barragem.

Cabe salientar que tanto a rede externa como a interna, objetivam determinar as coordenadas planas (X e Y) dos pontos. Possíveis variações em cota na estrutura são determinadas pela técnica de nivelamento.

## VI. REDE DE MONITORAMENTO INTERNO.

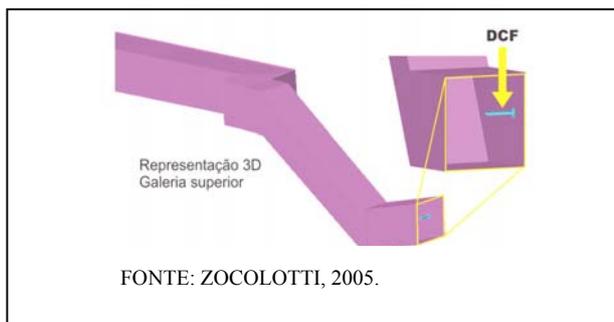
A barragem da Usina Hidrelétrica de Salto Caxias é do tipo a gravidade apresentando duas galerias de drenagem (figura 7). Optou-se realizar o monitoramento de pontos internos a barragem. Para que isto fosse possível, foi necessário planejar e conduzir uma poligonal, apoiada em pontos da rede externa, para a determinação das coordenadas dos pontos.



FONTE: ZOCCOLOTTI, 2005.

Figura 7 – Esquema das galerias de drenagem.

Um trabalho inicial foi o levantamento em 3D das galerias utilizando uma estação total que permite a leitura da distância empregando-se laser, sem a necessidade de utilizar um prisma. Este levantamento foi empregado para realizar o planejamento da poligonal, buscando identificar os locais onde seriam instalados os pontos da poligonal e os locais a serem monitorados. A representação de um trecho de uma das galerias é apresentada na figura 8.



FONTE: ZOCCOLOTTI, 2005.

Figura 8 – Representação em 3D de parte da galeria de drenagem.

Para materialização dos pontos da poligonal optou-se pelo uso de um instrumento denominado DCF (dispositivo de centragem forçada). Este dispositivo é composto de duas partes, uma fixa nas paredes da galeria, composta de uma chapa de aço com parafusos de espera e outra, onde é estacionado o instrumento. Foram confeccionados três protótipos de DCF até conseguir um com a estabilidade necessária para as observações. A figura 9 apresenta o DCF final.

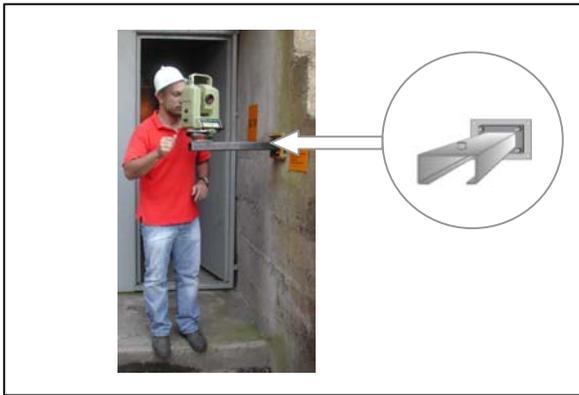


Figura 9 – Dispositivo de centragem forçada.

A idéia de utilizar um sistema de centragem forçada não fixo nas paredes das galerias foi o de reduzir os custos e evitar transtornos na execução de trabalhos rotineiros de inspeção. Os dispositivos permitem a centragem forçada do instrumento e alvos durante as observações dos pontos de monitoramento. As posições dos pontos de monitoramento foram determinadas de acordo com as feições a serem monitoradas, como junção de blocos. Estes pontos foram materializados através de DCFA (dispositivo de centragem para alvos), conforme ilustra a figura 10.



Figura 10 – Dispositivos de centragem para alvos

Uma característica particular decorrente da poligonal ser conduzida nos corredores das galerias de inspeção é a existência de pontarias com valores de ângulo zenital inferiores a 50° e visadas com até 3 metros de comprimento, nos locais onde a galeria muda de direção. Este último fato demandou um estudo para o desenvolvimento de dispositivos especiais para a pontaria angular, uma vez que

os levantamentos efetuados usando prismas para a pontaria não se mostraram eficientes. A figura 11 apresenta os dispositivos construídos. O primeiro permite a realização da pontaria angular, bem como o encaixe do prisma para a medição da distância e o segundo é somente para pontaria angular nos pontos a serem monitorados. Adicionalmente houve a necessidade de empregar um sistema para realizar a iluminação dos alvos e prismas dentro da galeria para que fosse possível realizar as pontarias. Estes sistemas foram elaborados empregando-se baterias e lâmpadas dicróicas.



Dispositivo para leitura angular de poligonal

Dispositivo para leitura angular de alvos

Figura 11 – Dispositivos para a realização de pontaria angular.

O comprimento da poligonal superior e inferior é em torno de 1.000m e o número de pontos monitorados é superior a 100.

## VII. SELEÇÃO DOS PONTOS A SEREM MONITORADOS

O processo de seleção de pontos para monitoramento transcorreu concomitantemente ao planejamento das redes de monitoramento, pois em função da posição dos pontos a serem monitorados as redes deveriam ser planejadas. Dois itens principais nortearam a escolha dos pontos: os elementos a serem monitorados, como juntas de blocos e fissuras, e o número total de pontos. Um grande número de pontos a serem monitorados pode tornar o levantamento oneroso e não produtivo.

Dentro das galerias, a distribuição de pontos nas juntas de blocos e fissuras foi realizada de forma a que estes elementos estivessem distribuídos a montante e jusante (dois pontos a montante e dois pontos a jusante). A figura 12 ilustra esta idéia.

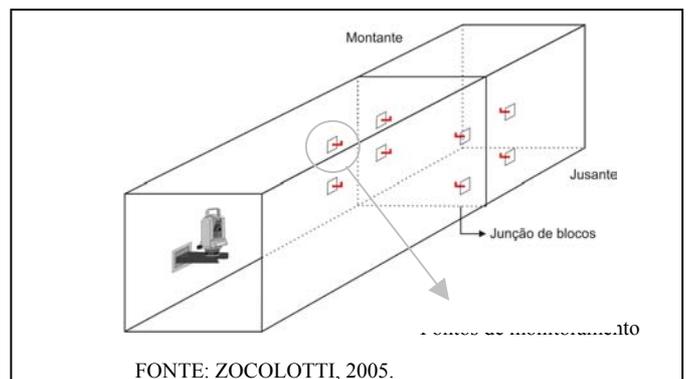


Figura 12 – Distribuição dos pontos de monitoramento na galeria.

## VIII. SITUAÇÃO ATUAL DO PROJETO.

Na face externa, a jusante da barragem, foram distribuídos 35 pontos, sendo 32 localizados nas fissuras e 5 nas comportas e ombreira direita. Em 18 pontos localizados na escadaria a jusante foram fixados prismas, os quais não serão removidos durante todo o período em que será realizado as campanhas de monitoramento. Um ponto interessante é que as fissuras nos blocos B5, B8 e B11, à esquerda das comportas, são monitoradas tanto externamente como internamente, conforme ilustra a figura 13.

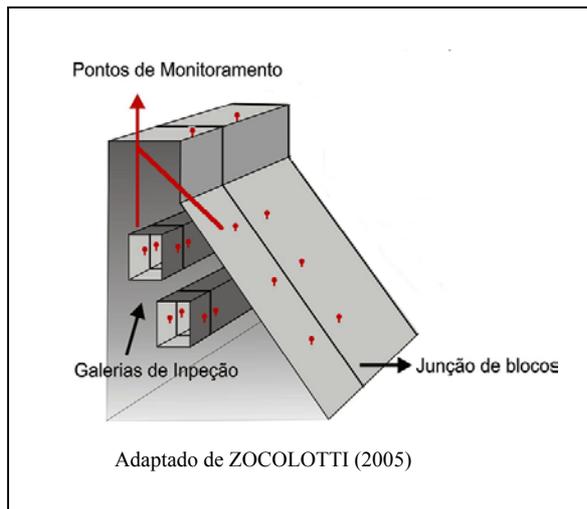


Figura 13 – Monitoramento da junção de blocos externa e internamente.

A figura 14 apresenta um esquema geral dos elementos empregados dentro do monitoramento geodésico da Usina.

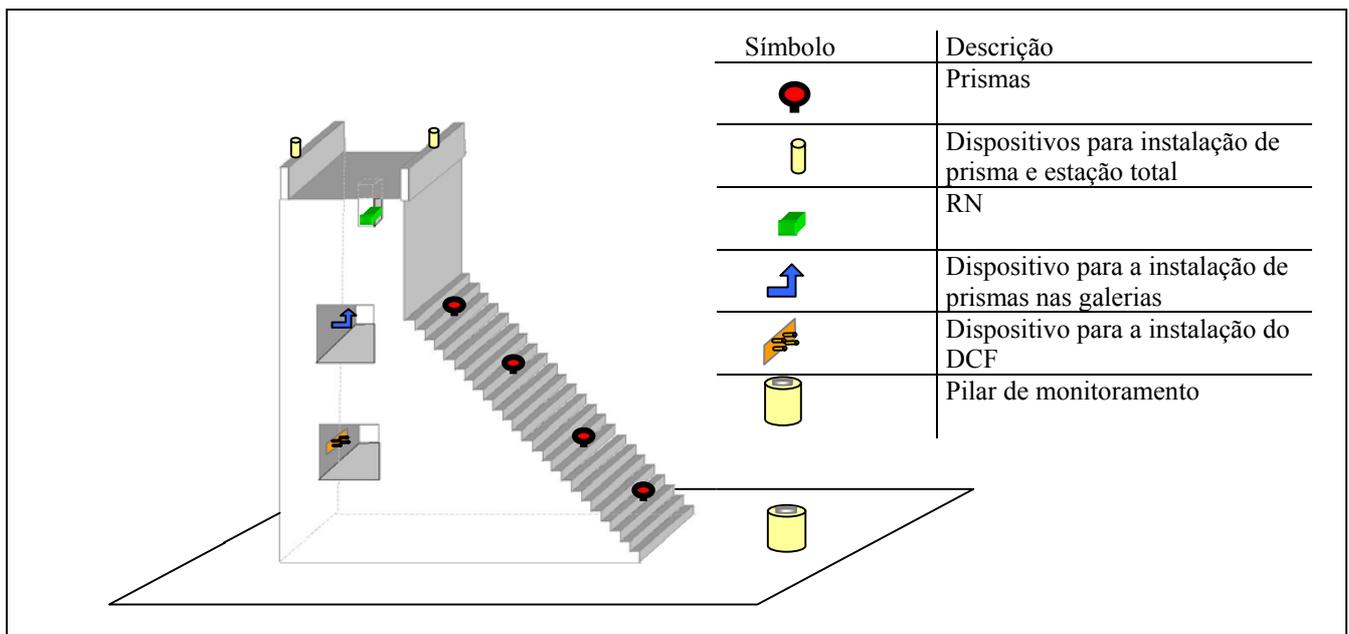


Figura 14 - Esquema do monitoramento Geodésico

Executados os planejamentos iniciais e materializadas as redes foi possível realizar as primeiras campanhas de monitoramento. Uma primeira campanha completa, com observação das redes internas e externas, inclusive dos pontos de monitoramento, foi realizada no mês de julho de 2005. Atualmente estão sendo estudadas as técnicas para ajustamento dos dados e testes estatísticos a serem aplicados na etapa de comparação dos dados entre duas campanhas de monitoramento. Como resultados do projeto até agora, além do monitoramento propriamente dito, já foram elaboradas três dissertações de mestrado no Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas da UFPR, dois projetos finais do Curso de Engenharia Cartográfica da UFPR, sete artigos em congressos e uma reportagem de 15 minutos no canal de televisão da UFPR.

## IX. REFERÊNCIAS

C. A. ZOCCOLOTTI Junior. “Utilização de técnicas de poligonização de precisão para o monitoramento de pontos localizados em galerias de inspeção: estudo de caso da Usina Hidrelétrica de Salto Caxias”. Dissertação de Mestrado. Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2005.

D. GRANEMANN. “Estabelecimento de uma rede geodésica para monitoramento de estruturas: estudo de caso na Usina Hidrelétrica de Salto Caxias”. Dissertação de Mestrado. Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2005.