

INTEGRAÇÃO DE MÉTODOS GEODÉSICOS NO MONITORAMENTO DE BARRAGENS: BARRAGEM DO CHASQUEIRO – ARROIO GRANDE/RS

TASSIUS PEREIRA LIMA¹; CACIO DOS SANTOS ALVES JUNIOR²; FELIPE MARTINS MARQUES DA SILVA³; KARINA RETZLAFF CAMARGO⁴; REGINALDO Galski Bonczynski⁵; ALEXANDRE FELIPE BRUCH⁶

¹Universidade Federal de Pelotas – tassius.lima.tl@gmail.com

²Universidade Federal de Pelotas - cacioalves@hotmail.com

³Universidade Federal de Pelotas – felipemarquesufpel@gmail.com

⁴Universidade Federal do Rio Grande – karinaretzlaff@gmail.com

⁵Universidade Federal de Pelotas – rbonczynski@gmail.com

⁶Universidade Federal de Pelotas – afbruch@gmail.com

1. INTRODUÇÃO

O Brasil possui ampla disponibilidade de recursos hídricos, fundamentais para o desenvolvimento econômico, social e ambiental. Nesse contexto, as barragens desempenham papel estratégico ao possibilitar usos múltiplos da água, como irrigação, geração de energia, abastecimento público, regularização de vazões e controle de cheias.

Apesar de sua importância, a implantação de barragens pode gerar desequilíbrios no meio físico, ocasionando recalques diferenciais ou deslocamentos estruturais que comprometem a estabilidade da obra. A ausência de monitoramento adequado pode resultar em falhas graves, como evidenciado no rompimento da Barragem I em Brumadinho-MG, em 2019, que provocou 272 mortes e severos impactos ambientais.

Para evitar tais ocorrências, aplica-se a auscultação, prática que consiste no acompanhamento do comportamento da barragem e de suas fundações, garantindo a estabilidade da estrutura e a identificação de possíveis necessidades de intervenção (GRAÇA & FAGGION, 2016). Nesse campo, as técnicas geodésicas vêm se destacando, por utilizarem equipamentos como estações totais, níveis ópticos, receptores GPS/GNSS e laser scanner, que permitem mensurar deslocamentos com precisão (SHARON & EBERHARDT, 2024).

Diante disso, o presente trabalho tem como objetivo monitorar a Barragem do Chasqueiro, em Arroio Grande – RS, utilizando estações totais e o método de irradiação tridimensional. A pesquisa será conduzida a partir da instalação de alvos fixos na face jusante da estrutura, possibilitando a análise comparativa de coordenadas tridimensionais em diferentes campanhas e a avaliação da precisão dos modelos de estações totais empregados.

2. METODOLOGIA

O monitoramento por meio da estação total requer marcos fixos, para tal finalidade, foram construídos marcos geodésicos de acordo com o Manual de Padronização de Marcos Geodésicos do IBGE (2008). O marco padrão SAT (Satelital), denominado M048 apresentado na Figura 1A, foi implantado fora da estrutura da barragem, garantindo a realização de um levantamento geodésico absoluto. Os marcos tipo RN (Referência de nível) destinados ao acoplamento dos prismas refletores (Figura 1B) foram construídos em número de quatro, dispostos ao longo do talude de jusante com espaçamento de 200 m entre si,

sendo identificados como RN001 a RN004. O ponto de estacionamento da estação total foi definido em um marco do tipo RN, denominado Ré.

Para a determinação das coordenadas tridimensionais, adotou-se o Plano Topográfico Local (PTL), conforme a NBR 14.166/98, que consiste em uma representação simplificada da superfície terrestre, desconsiderando a curvatura da Terra e o desvio da vertical, sendo estabelecido perpendicularmente à vertical do ponto de origem do levantamento (DAL'FORNO et al., 2010). Nesse sistema, as coordenadas locais são definidas em um plano retangular, com origens em $X = 150.000$ m e $Y = 250.000$ m, orientado no Falso Norte com azimuth 0° . As origens do PTL foram definidas no marco SAT (M048), com orientação azimuthal para o marco Ré (azimute 0°). As altitudes também obedeceram ao PTL, sendo estabelecido um datum vertical arbitrário no topo do Marco M048, com constante de referência de 100 m, de modo que todas as variações altimétricas monitoradas têm como referência o marco M048.

Adotando o PTL, aplicou-se o método de irradiação tridimensional, que determina as coordenadas espaciais de um ponto a partir da medição de ângulos e distâncias em um sistema polar. Essas medições, compostas pela direção horizontal (α), ângulo zenital (Z) e distância inclinada (D_i), são posteriormente convertidas em coordenadas cartesianas tridimensionais (X, Y, Z), permitindo a determinação precisa da posição dos pontos em levantamentos geodésicos (SIGUEL, 2013; PEREIRA, 2008). Os levantamentos foram realizados com as estações totais Geomax Zoom10 e Leica TS07, em conjunto do prisma refletor GPR121, em 4 campanhas: 09/12/2024, 24/02/2025, 15/04/2025 e 03/06/2025

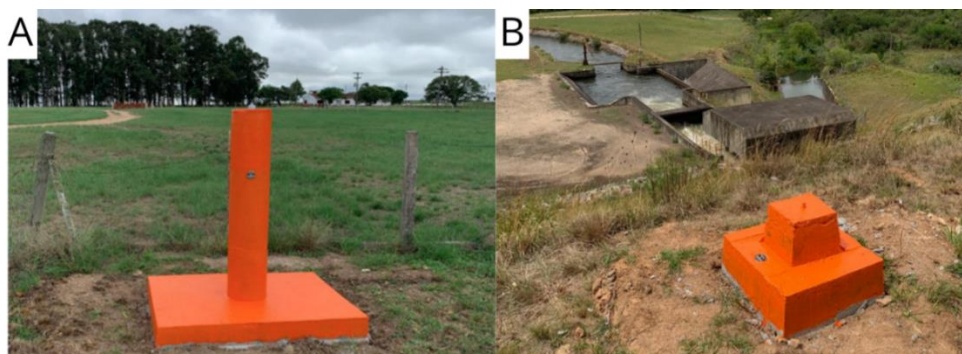


Figura 1: A) Marco Geodésico Padrão SAT M028; B) Marco geodésico para acoplar os prismas refletores.

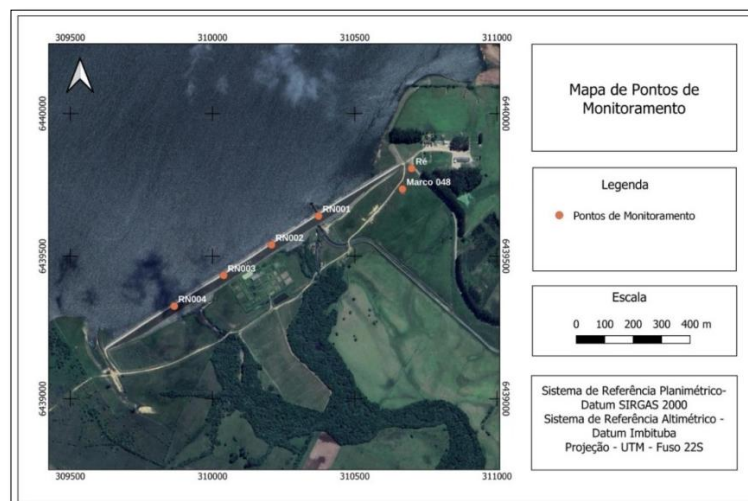


Figura 2: Mapa do posicionamento dos marcos geodésicos.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a análise comparativa dos levantamentos, foram utilizadas como referência as medições realizadas em 09/12/2024 (Tabela 1 e Tabela 2). A partir desse referencial, calcularam-se as diferenças de coordenadas (Δ) em cada levantamento subsequente.

GeomaxZoom10			
Marco	Coordenadas		
	X	Y	Z
RN001	149764,5460	249800,6420	101,3630
RN002	149650,9260	249640,9910	101,4110
RN003	149535,9600	249480,7000	101,5043
RN004	149416,8723	249313,6953	101,2147

Tabela 1: Coordenadas tridimensionais determinadas em 09/12/2024 com a estação total GeomaxZoom10.

Leica TS07			
Marco	Coordenadas		
	X	Y	Z
RN001	149764,5111	249800,6253	101,3579
RN002	149650,8895	249640,9736	101,3704
RN003	149535,9184	249480,6866	101,4536
RN004	149416,8076	249313,7015	101,2052

Tabela 2: Coordenadas tridimensionais determinadas em 09/12/2024 com a estação total Leica TS07.

Os resultados são apresentados na Figura 3 e Figura 4, onde verificou-se a ocorrência de valores negativos, indicando deslocamentos em sentido oposto ao inicial, sendo que valores mais próximos de zero representam maior consistência nas medições. Ambas as estações totais apresentaram variações significativas, com apenas duas leituras inferiores a 1 mm de diferença. Para a Geomax Zoom10, os desvios máximos foram de 44 mm no eixo X, 24,01 mm no eixo Y e 42,34 mm no eixo Z, enquanto na Leica TS07 atingiram 87,47 mm, 32,15 mm e 27,07 mm, respectivamente. Essas discrepâncias, sem tendência definida, foram atribuídas a erros sistemáticos relacionados ao manuseio do equipamento, à calibração inadequada e ao alinhamento incorreto durante as medições.

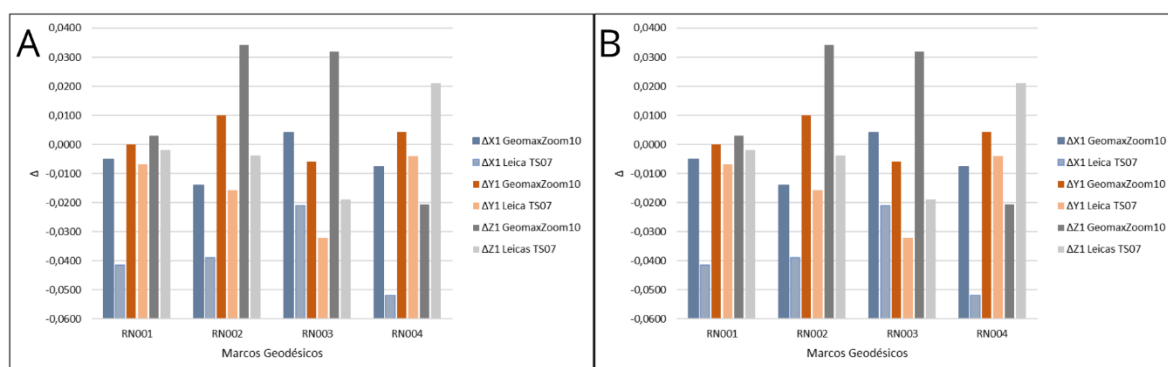


Figura 3: Gráficos representando a diferença entre o levantamento de referência e os subsequentes. A) 24/02/2025; B) 15/04/2025.

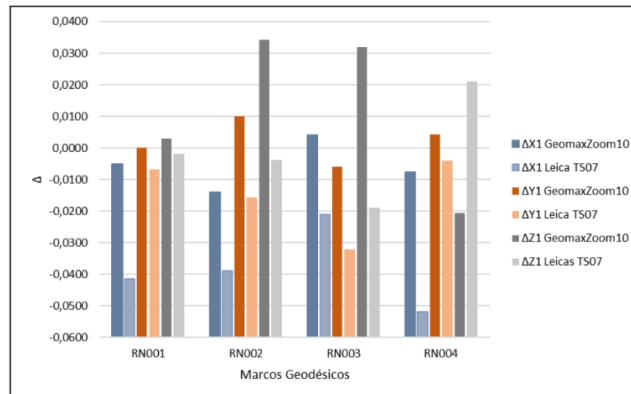


Figura 4: Gráfico representando a diferença entre o levantamento de referência e o realizado dia 03/06/2025.

4. CONCLUSÕES

Em síntese, a análise comparativa dos levantamentos demonstrou variações significativas entre as estações totais, com diferenças expressivas entre campanhas, embora alguns valores tenham apresentado maior consistência. A ausência de uma tendência definida indica que as discrepâncias mais elevadas resultam, em grande parte, de erros sistemáticos, evidenciando a necessidade de procedimentos operacionais mais rigorosos para garantir a confiabilidade dos resultados. Ainda assim, o método mostra-se eficaz e passível de aprimoramentos, de modo a proporcionar medições cada vez mais consistentes e precisas.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- DAL'FORNO, G. L.; AGUIRRE, A. J.; HILLEBRAND, F. L.; GREGÓRIO, F. De V. Transformação de Coordenadas Geodésicas em Coordenadas no Plano Topográfico Local Pelos Métodos da Norma NBR 14166:1998 e o de Rotações e Translações. In: **III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. Anais [...]**, Recife: 2010, p. 01 -07.
- GRAÇA, N. L. S. de S.; FAGGION, P. L. Validação da Determinação de Deslocamentos relativos em Barragens Utilizando Topografia e Medidores Triortogonais de Junta. **Revista Brasileira de Geomática**, Paraná, v.4, n.2, p. 89-98, 2016.
- IBGE. **Padronização de Marcos Geodésicos**. Rio de Janeiro, ago. 2008. Acessado em 04 ago. 2025. Disponível em: https://geofp.ibge.gov.br/metodos_e_outros_documentos_de_referencia/normas/padronizacao_marcos_geodesicos.pdf
- PEREIRA, A. R. A. **Uma Abordagem Metodológica para a Identificação, Representação e Monitoramento Geodésico de uma encosta em Risco Natural**. 2008. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação) – Programa de Pós-graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, Universidade Federal de Pernambuco.
- SIGUEL, A. R. **Monitoramento da Barragem da Usina Hidrelétrica Mauá Utilizando Irradiação Tridimensional**. 2013. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas) – Cursos de Pós-graduação em Ciências Geodésicas, UFPR.
- SHARON, R.; EBERHARDT, E. **Guia para Monitoramento de Taludes**. São Paulo: ABGE, 2024.