



Uso da estação total robótica como geotecnologia aplicada no monitoramento de barragens de rejeito

David Harley de Oliveira Saraiva¹
Anne Karolyne Pereira da Silva¹
Dálete Maria Lima Sousa¹
Rafael Wendell Barros Forte da Silva²

¹ Universidade Federal do Ceará - Campus do Pici
Departamento de Engenharia de Transportes - Centro de Tecnologia
- Bloco 703 - 60440-554 - Fortaleza, CE
Fone/Fax: (85) 3366-9488
{dharley; anne; dalete}@det.ufc.br

² Universidade Federal do Ceará - Campus do Pici
Departamento de Engenharia de Transportes - Centro de Tecnologia
Bloco 703 - 60440-554 - Fortaleza, CE
Fone/Fax: (85) 3366-9488
{rwsilva}@det.ufc.br

Resumo: Atualmente, existem diversas construções de barramentos para contenção de rejeitos da mineração, ou barragens de rejeitos. Essas barragens acumulam os resíduos oriundos da mineração, que por sua vez são altamente tóxicos e prejudiciais ao homem e ao meio ambiente e não têm valores econômico para serem comercializado. Assim, é de suma importância viabilizar métodos de monitoramento destes diques, a fim de evitar seu rompimento. Este artigo tem por objetivo mostrar que o avanço de geotecnologias tem tornado a inspeção de barragens de rejeito mais precisas e eficientes – por meio das estações totais robóticas, de modo prevenir ou tomar medidas emergenciais de contenção do barramento, tendo em vista que este equipamento topográfico amplia e facilita o levantamento de dados geodésicos. Assim, com o desenvolvimento mais aprimorado de geotecnologias, o monitoramento deste tipo de obra pode ser feito por meio de aparelhos, que auxiliam na tomada de decisões e resolução de problemas ou de funcionamento. Para isso foram abordados os parâmetros técnicos da estação total robótica; a viabilidade econômica para este tipo de empreendimento; bem como casos em que esta tecnologia é utilizada para este fim, além de traçar um comparativo entre as estações totais tradicionais das estações totais robóticas. Para compreender melhor a abordagem deste artigo, utilizou-se de ilustrações autoexplicativas, assim como tabelas baseando-se na Norma Brasileira 13133, que padroniza o levantamento topográfico.

Palavras-chave: Robótica, barramentos, geotecnologia, monitoramento.

Abstract. Currently, there are several dam constructions for the containment of mine waste, or tailings dams. These dams accumulate waste from mining, which in turn are highly toxic and harmful to man and the environment, and have no economic value to be marketed. Thus, it is paramount enable monitoring methods for these dykes to prevent its disruption. This article aims to show that the advance of geotechnology has made the inspection of tailings dams more accurate and efficient - through robotic total stations, in order to prevent or take emergency measures dam contention, considering that this equipment topographical broadens and enhances the lifting geodetic data. So with more enhanced development of geotechnology, monitoring of this type of work can be done by means of devices that assist in decision making and problem solving or working. For this, the technical parameters of the robotic total station were addressed; economic viability for this type of project; and where this technology is used for this purpose, in addition to showing a comparison between the traditional total stations and robotic total stations. To better understand the approach of this article, was used self-explanatory illustrations, and tables based on the Brazilian Standard 13133, organizing the topographical lifting.

Keywords: Robotic, dam, geotechnology, monitoring.

Introdução

Existem no Brasil várias construções de diques e barragens com diversas finalidades: geração de energia, contenção de águas, e rejeitos oriundos da mineração. Neste sentido o presente artigo vem tratar deste último caso, já que barragens para a contenção de rejeitos são amplamente utilizadas na mineração para o depósito de resíduos oriundos dessa atividade. Além de apontar como os avanços em geodésia e topografia têm possibilitado mais precisão no monitoramento destas obras; em especial, as estações totais robóticas.

Barragens de rejeitos funcionam como depósitos de armazenamento de minerais, que não tem valor econômico, advindos de atividades mineradoras. Por não ter valor comercial, o resíduo, como também é chamado, se torna inviável de comercializar; a destinação inadequada desse rejeito traz danos à saúde e ao meio ambiente. Assim, o descarte mais viável é deixá-lo retido em barragens de rejeito. O Pantanal matogrossense tem barragens de rejeito e por este motivo se dá a importância desse artigo para o Mato Grosso, estudos anteriores apontam que o Estado tem quarenta e oito barragens, e estuda-se o modo como vistoria-las de maneira preventiva, fato que pode contar com o auxílio de estações totais, tema de estudo do artigo.

Os minerais da barragem podem ser finos, compostos por siltes e argila, depositados sob forma de lama ou formados por materiais não plásticos, como areias que apresentam granulometria mais grossa e são denominados rejeitos granulares (Espósito, 2000). O transporte desses resíduos até a barragem pode ser feito de duas maneiras: por meio de tubulações, com ou sem bombeamento, ou pela gravidade. Muitas vezes em barragens são feitas obras de alteamento, - por ser uma obra de alto custo, que é a elevação de sua parede de contenção para represar maior quantidade de sedimentos. Como mostra a **Figura 1**:

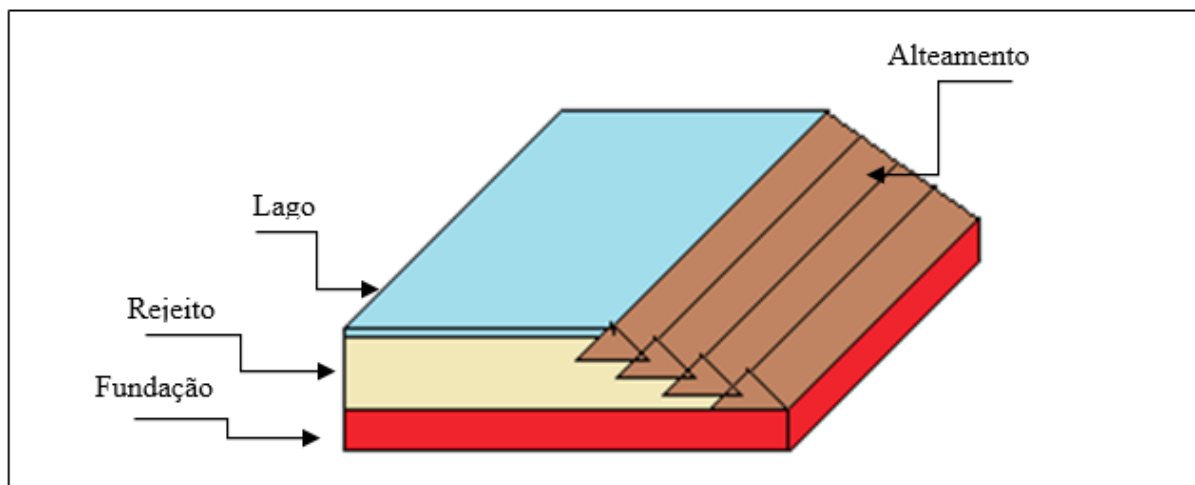


Figura 1. Barragem de rejeito e componentes.

Por ser uma obra de grande porte e servir para armazenamento de rejeitos, os diques de rejeitos devem ser monitorados constantemente, a fim de evitar rompimentos e/ou vazão do material depositado na barragem. Este rompimento é ocasionado por vários fatores, sendo os principais: extremos de precipitação de chuvas em sua estrutura de contenção, baixa resistência do solo e abalos sísmicos na sua estrutura. Em estruturas na qual o próprio rejeito é utilizado para a construção, caso ocorram tremores intensos o resíduo pode se liquefazer, devido a sua baixa resistência.

Contudo, o avanço das geotecnologias e de seus equipamentos tem proporcionado uma diversificação no monitoramento de dados. Um exemplo é a Estação Total Robótica (ETR), que funciona como uma aliada na supervisão das barragens. A ETR permite analisar o deslocamento horizontal da barragem, possibilitando aos supervisores medidas emergenciais ou nas atividades de contenção do despejo.

Pode-se definir a estação total como um equipamento topográfico que tem como finalidade mensurar ângulos verticais e horizontais, além de distâncias lineares; constituída por um teodolito eletrônico, distanciômetro e um processador matemático. Sua precisão angular é de 2 a 5 segundos de arco e de 0,1 mm a cada 100m. Por estes motivos, o instrumento é utilizado em várias áreas, tais como: dimensionamento e estudo de terrenos, coleta de dados para a elaboração de mapas de declividade, perfis longitudinais e curvas de níveis.

Para fazer a leitura com uma Estação Total Tradicional, ajusta-se o foco da luneta e mira-se no prisma, a estação dispara um *laser*, que faz a leitura das distâncias e ângulos necessários. Além disso, os dados são salvos na própria estação, esse processo era realizado através de anotações em cadernetas.

As **Figuras 2 e 3** expõem a estação tradicional e a estação total robótica, visualmente não há nenhum aspecto que as diferencie expressamente. As suas maiores diferenças estão relacionadas à precisão e utilização.

A Estação Total Robótica possui funções para busca automática de prismas, assim os prismas são rastreados pelo próprio equipamento. De modo que apenas uma pessoa realiza todo levantamento dos dados. Diferentemente da Estação Total Tradicional, em que é necessário que outro operador fique responsável pela fixação do prisma. Além disso, a conexão pode ser feita via *bluetooth* entre o operador e a máquina e o seu nivelamento é feito de maneira automática.



Figura 2. Estação total tradicional



Figura 3. Estação total robótica

Metodologia

Dentro deste contexto, o artigo em pauta foi elaborado por meio de revisão bibliográfica, a fim de unir informações persistentes sobre Estações Totais Robóticas, e como este equipamento geotécnico e topográfico pode ser utilizado no monitoramento de barragens de rejeitos de modo que possa traçar um comparativo entre Estações Totais Tradicionais e estações totais robóticas, apresentando vantagens da ETR frente a Estações tradicionais.

É importante lembrar que devido este tipo de barragem ter um alto fator de risco agregado ao mesmo tempo em que é a destinação mais usual dos rejeitos da mineração do País. Além disso, apresentar as vantagens da utilização desta tecnologia para a observação do deslocamento superficial e horizontal de barragens de terra e enrocamento – como é feita a barragem de rejeito. Visto que o rompimento de barragens de rejeitos pode apresentar danos bastante onerosos para a sociedade.

Para garantir o excelente desempenho na inspeção de barragens, e na consequente diminuição dos riscos; dispõem-se de leis e normas regulamentadoras, que também foram importantes na contribuição desta pesquisa, como a Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010, que obriga a implantação de gestão de sistemas de segurança; e a NR22, de Segurança e Saúde Ocupacional na Mineração, que preconiza a supervisão e o monitoramento das barragens.

Ao analisar-se a viabilidade da aplicação desta geotecnologia em projetos de barragens de contenção de rejeitos, também foram consideradas a viabilidade financeira, os parâmetros técnicos para sua utilização e empreendimentos no Brasil em que são utilizadas as Estações Totais Robóticas no acompanhamento de deslocamento horizontal.

Método de Monitoramento

Ter um controle de risco de uma barragem é de suma importância, dentre eles, o de deslocamento superficial que é feito através de medições para a observação dos recalques e deslocamentos horizontais da estrutura (Silveira, 2006).

Para este método são feitas estações topográficas fixas – como mostra a **Figura 4**, formando uma espécie de rede de coordenadas geodésicas, assim os deslocamentos são determinados por triangulação ou alinhamentos geodésicos. De maneira que a estação total seja mantida em um ponto estável e faça visadas nos planos de referência.

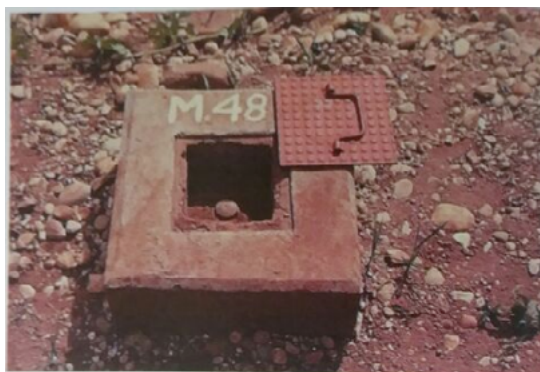


Figura 4. Marco Superficial da Barragem de Marimbondo, de Furnas
Fonte: Silveira

O método de triangulação envolve a medição de ângulos, a partir disso, se calculam as distâncias e os deslocamentos, pois a triangulação é mais apropriada para barragens de pequeno porte. Enquanto nas colimações – alinhamentos geodésicos – o deslocamento é determinado utilizando miras especiais instaladas sobre os planos de referência.

Desse modo, pode-se encontrar qual o distanciamento das estações de referência em relação ao seu ponto original e por consequência o deslocamento da superfície a jusante da barragem. A **Figura 5** ilustra de maneira simples o método:

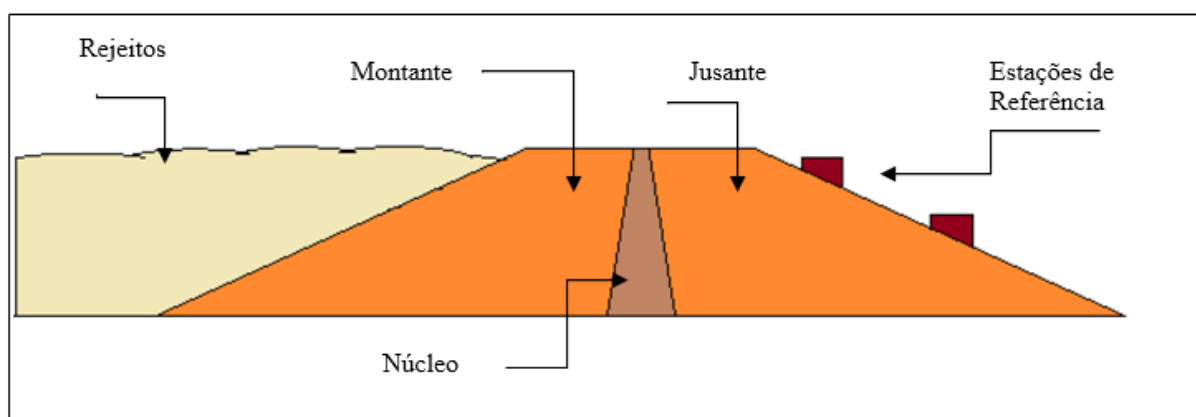


Figura 5. Método de monitoramento de BR por meio de ETR.

Fonte: Próprio autor

Porém, a precisão das medições deve ser consistente com a ordem de grandeza dos deslocamentos previstos; de forma que alguns fatores influenciam na confiabilidade dos dados colhidos, tais como:

- instrumentos empregados (quão maior a precisão dos equipamentos, maior será a confiabilidade no tratamento dos dados);
- estabilidade das estações;
- extensão das distâncias visadas;
- equipe responsável.

Segundo Corrêa, além da estação total robotizada ter configuração para realizar as medições e gravar na memória, ela também pode enviar os dados para uma interface de saída serial ou via rádio, para que as medições feitas sejam gravadas e avaliadas em um terminal remoto. Neste caso, todo o manuseio da estação pode ser realizado por uma unidade remota que apresenta as mesmas funcionalidades nas quais seriam encontradas no local onde está instalado o equipamento.

Esta maneira de monitoramento, porém, não permite a observação do deslocamento a montante (quando o mesmo está em fase de enchimento), somente do talude a jusante.

Viabilidade Econômica

Por se tratar de um equipamento de multifunções e muito preciso no que tange as medidas feitas, o seu valor agregado é bastante alto; uma estação total robótica custa de centenas de milhares de reais – em torno de R\$180.000,00, um valor deveras elevado. Porém, o valor dos danos quando trata-se da ruptura de barragens também é oneroso.

Por estes motivos, alocar recursos no monitoramento de barragens de rejeito, além de medidas de segurança, é fundamental. Observando o caso de Mariana (MG), os gastos com a barragem rompida é da ordem de milhões. Vale ressaltar, que a estação total robótica é um equipamento utilizado para a supervisão somente de uma das áreas da barragem, mas que permite o monitoramento de espaços importantes. Dessa maneira, a viabilidade econômica é clara.

Casos no Brasil

No Brasil essa técnica de monitoramento já é utilizada em algumas barragens para hidrelétricas e para outros fins. O exemplo da utilização deste equipamento é na Usina Hidrelétrica Governador José Richa. Mostrada na **Figura 6**, destacando os marcos de referência:

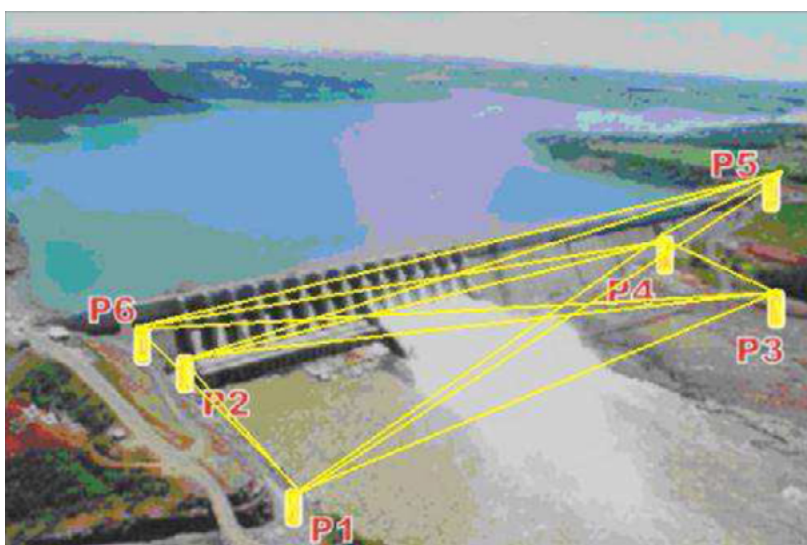


Figura 6. Rede de monitoramento da Usina de Gov. José Richa

Fonte: Granemann

Parâmetros Técnicos

A NBR classifica as estações totais, segundo a sua precisão, conforme a **Tabela 1** a seguir:

Tabela 1. Classes da estação total

Classe de estações totais	Desvio Padrão Precisão angular	Desvio Padrão Precisão linear
Precisão baixa	$\leq \pm 30''$	$\pm (5\text{mm} + 10 \text{ ppm } \times D)$
Precisão média	$\leq \pm 07''$	$\pm (5\text{mm} + 5 \text{ ppm } \times D)$
Precisão alta	$\leq \pm 02''$	$\pm (5\text{mm} + 3 \text{ ppm } \times D)$

A precisão angular da estação total robótica chega a ser de 2" com precisão linear de 1mm + 2 ppm; esta última informação significa que a cada quilômetro de distância a sua precisão é de 3 partes por milhão mais 5 mm; o que a torna um equipamento de alta precisão e confiabilidade no tratamento dos dados.

Pois, a estação total robótica é um equipamento topográfico de alta precisão e funciona de maneira integrada a rádios transmissores de informações, permitindo ao operador responsável à análise simultânea dos dados.

4. Conclusão

O monitoramento de barragens é de extrema importância e segurança para o empreendimento; pois é quando realizado por meio de estação total robotizada permite a avaliação dos dados em tempo real e hábil para tomada de decisões ou alertas de emergência. Entretanto esses dados devem ser analisados previamente, a fim de evitar que o monitoramento se torne ineficaz, além disso conhecimentos geotécnicos e estruturais para compreendê-los é fundamental.

Apesar de seu alto custo, a estação total robótica é uma ferramenta indispensável em todas as funções que apresenta, o que faz de sua utilização uma grande vantagem; principalmente por se tratar de dados que apresentem bastante precisão. Pois, a sua utilização no monitoramento de barragens de contenção de rejeitos já é praticada.

Portanto, esta forma de monitoramento permite gerar alarmes ao sistema em tempo ágil; possibilita a transmissão e consulta dos dados a grandes distâncias de maneira eficiente, por meio de satélites, *bluetooth* e internet, além de reduzir o erro causado pelo manuseio humano. Contudo, a energia para manter essa inspeção deve ser contínua, por isso o monitoramento deve ser ininterrupto.

Referências bibliográficas

Duarte, A. P. - **Classificação das barragens de contenção de rejeitos de mineração e de resíduos industriais no estado de Minas Gerais em relação ao potencial de risco**. 114f. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da UFMG, Minas Gerais, 2008.

Espósito, T. de J. – **Metodologia Probabilística e Observacional Aplicada a Barragens de Rejeito Construídas por Aterro Hidráulico**. Tese de Doutorado em Geotecnia da UNB – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia. pág 263, Distrito Federal, 2000

Silveira, J. F. A. **Instrumentação e segurança de barragens de terra e enrocamento**. Oficina de Textos, São Paulo, 2006.

NBR 13133 – **Execução de Levantamento Topográfico**. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Brasil, 1994.

Corrêa, F. K. **O Uso de Tecnologias Modernas em Levantamentos Topográficos de Obras de Infraestrutura Aeroportuária**. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação) – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, 2013.

Granemann D., **Estabelecimento de uma Rede Geodésica para o Monitoramento de estruturas: estudo de caso na Usina Hidrelétrica Salto Caxias**. Dissertação de Mestrado. Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas. Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2005.

Rodrigues, D. A. **Evolução dos Equipamentos Topográficos aliados à Qualidade na Construção Civil**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Anhembi Morumbi, São Paulo, 2013.

Sítio **Alezi Teodolini**. Disponível em <http://www.aleziteodolini.com/produto_det.cfm?id=292> Acesso em 10.junho.2016

Dalbelo, L., **Monitoramento de estruturas**. Sitio Mundo Geo, março,2011. Disponível em <<http://mundogeo.com/blog/2011/03/10/monitoramento-de-estruturas/>> Acesso: 10.junho.2016

Abrantes, T. **4 hipóteses para o rompimento de barragens como as de Minas**. Brasil, 2015. Disponível em <<http://exame.abril.com.br/brasil/noticias/as-hipoteses-para-o-rompimento-de-barragens-como-as-de-minas>>. Acesso: 05.junho.2016

Enxurrada de lama destruiu distrito de Mariana, região central de MG. Barragem pertencia a mineradora, que será multada em R\$ 250 milhões. Disponível em <<http://www.globos.com.br/lib/site/rompimento-de-barragem-em-mariana-perguntas-e-respostas/>> Acesso: 06.junho.2016

Sítio Casa da Topografia. Disponível em <<http://www.casadatopografia.com.br/vendas/estacoes-totais?no-vo&es>> Acesso em 26.junho.2016