

**YASMIM RAYANE SILVA CAVALCANTE CALHEIROS**

**NOVAS FERRAMENTAS E TECNOLOGIAS PARA  
INSPEÇÃO VISUAL E ACOMPANHAMENTO DE  
BARRAGENS DE TERRA**

Artigo Científico apresentado ao Curso de  
Especialização em Segurança de Barragens;  
Programa de Pós-Graduação em Escola Politécnica;  
Universidade Federal da Bahia, como requisito  
parcial para obtenção do grau de Especialista.

Orientador: Prof. MSc. Ovidio J. Santos Jr.

Maceió  
2024

# **Novas ferramentas e tecnologias para inspeção visual e acompanhamento de barragens de terra.**

**Yasmim Rayane Silva Cavalcante Calheiros<sup>1</sup>**

## **Resumo**

O artigo discute a importância das inspeções visuais para a segurança das barragens de terra, destacando como a tecnologia que pode auxiliar nesse processo. Inicialmente, são apresentadas as diretrizes e procedimentos para inspeções visuais, enfatizando a necessidade de uma abordagem cuidadosa para garantir a integridade das estruturas. Em seguida, são discutidas diversas ferramentas tecnológicas de inspeção, como imagens de satélite, drones, fotogrametria e sistemas de monitoramento preventivo, que oferecem uma visão abrangente e detalhada do comportamento das barragens. A integração dessas tecnologias às inspeções tradicionais é destacada como essencial para uma avaliação precisa da segurança das barragens e a tomada de medidas preventivas ou corretivas quando necessário. Essa abordagem multidisciplinar e tecnologicamente avançada é crucial para garantir a segurança a longo prazo das barragens, protegendo vidas humanas, comunidades e o meio ambiente circundante.

**Palavras-chave:** Barragem. Inspeção visual. Barragem de terra. Avanços tecnológicos. Ferramentas de inspeção.

## **Abstract**

The article discusses the importance of visual inspections for the safety of earth dams, highlighting the challenges involved and the technological advancements that can aid in this process. Initially, guidelines and procedures for visual inspections are presented,

---

<sup>1</sup> Engenheira Civil e Discente do Curso de Especialização em Segurança de Barragens da Universidade Federal da Bahia.

emphasizing the need for a careful approach to ensure the integrity of the structures. Next, various technological inspection tools are discussed, such as satellite imagery, drones, photogrammetry, and preventive monitoring systems, which provide a comprehensive and detailed view of dam behavior. The integration of these technologies into traditional inspections is highlighted as essential for an accurate assessment of dam safety and for taking preventive or corrective measures when necessary. This multidisciplinary and technologically advanced approach is crucial for ensuring the long-term safety of dams, protecting human lives, communities, and the surrounding environment.

**Keywords:** Dam. Visual inspection. Earth dam. Technological advancements. Inspection tools.

## 1 INTRODUÇÃO

Barragens desempenham um papel significativo na humanidade, pois beneficiam amplamente a sociedade, fornecendo água para diversos fins, como geração de energia, controle de cheias e secas, irrigação, e gestão de resíduos industriais. No entanto, sua construção tem consequências sociais e ambientais, além de um risco de falhas que podem causar danos significativos à economia, às comunidades e ao meio ambiente (ANA, 2019).

Em obras de barragens, as de aterro são as mais comuns, pois podem ser erguidas em uma variedade de terrenos, desde rochas compactas até solos não consolidados (MARANGON, 2004). Aproximadamente 67% das barragens registradas na International Commission On Large Dams são barragens de terra (ICOLD, 2023). No Brasil as barragens de aterro possuem uma diversidade de tamanhos e finalidades, mas suas condições de estabilidade também variam. Algumas são cuidadosamente mantidas, em conformidade com normas de segurança rigorosas, enquanto outras apresentam falta de manutenção e sérias anomalias, com a possibilidade de ultrapassar os limites de segurança e resultar no colapso da estrutura (PEREIRA, 2013).

Para assegurar a adequada segurança das barragens durante seu período de operação, é

fundamental aplicar medidas de prevenção e supervisão das condições de integridade da estrutura. As probabilidades de acidentes serão minimizadas ou quase inexistentes se essas medidas forem tomadas de forma eficaz. (ANA, 2016).

A Lei 12.334 de 20 de setembro de 2010, que estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB), foi promulgada para assegurar que as barragens atendam aos requisitos de segurança. O principal propósito dessa política é reduzir ao mínimo a chance de acidentes e seus efeitos, enquanto estabelece regras e critérios de segurança para essas estruturas. (BRASIL, 2010).

Uma medida fundamental para garantir a segurança de uma barragem é identificar e corrigir anomalias a tempo, uma vez que isso pode prevenir potenciais incidentes. A realização de inspeções visuais regulares é essencial nesse processo. As inspeções de segurança de barragens são regulamentadas pelo art. 9º da Lei nº 12.334/2010, que estabelece as condições para as inspeções de segurança regulares e especiais (BRASIL, 2010).

A Segurança de barragens é uma área em evolução e a adoção de inovações tecnológicas aprimoram e auxiliam na busca por melhorias. O desenvolvimento tecnológico continua a crescer de forma constante, desempenhando um papel cada vez mais crucial na redução dos danos causados por falhas estruturais e na prevenção de acidentes (SILVA et al, 2023).

O presente trabalho tem como principal objetivo explicar a importância da inspeção visual na antecipação de informações sobre falhas em barragens de terra e como o avanço tecnológico pode ajudar nesse processo, destacando as vantagens, desafios e oportunidades oferecidas para melhorar a eficiência, segurança e sustentabilidade das operações de inspeção.

## **2 ESTADO DA ARTE**

Em região secas e áridas, o propósito principal das construções de barragens de terra é o armazenamento de água, tanto para uso industrial quanto para atender às necessidades crescentes da população e garantir a segurança hídrica. No entanto, é crucial reconhecer que, juntamente com seu desenvolvimento, surgem riscos potenciais. As barragens de terra ou de rocha, se não forem adequadamente planejadas, podem enfrentar rupturas ou transbordamentos, colocando em risco tanto as comunidades próximas quanto o meio ambiente e a biodiversidade circundante (GOLFETO FILHO, 2023).

Portanto, é de suma importância implementar ações preventivas e de controle para assegurar a segurança das barragens ao longo de sua existência. Quando essas ações são aplicadas de forma eficaz, a chance de acidentes é significativamente reduzida ou mesmo eliminada (ANA, 2016). A análise, regulamentação e fiscalização de sua construção, são essenciais para garantir a conformidade com as disposições estabelecidas na Lei 12.334 de 20 de setembro de 2010, buscando assim o bem-estar das comunidades humanas e a integridade do ecossistema. É importante destacar que a avaliação de uma barragem deve ser conduzida por profissionais qualificados e experientes, seguindo as normas técnicas e padrões de qualidade. A colaboração entre especialistas e entidades reguladoras é fundamental para mitigar os riscos e garantir a segurança de tais estruturas, protegendo vidas e o meio ambiente de possíveis danos (ANA, 2022).

## POLÍTICA NACIONAL DE SEGURANÇA DE BARRAGENS

A Lei 12.334/2010, que trata da Política Nacional de Segurança de Barragens, define padrões de segurança essenciais e orienta os processos de inspeção que devem ser seguidos para reduzir riscos e identificar questões que possam causar incidentes (BRASIL, 2010). As inspeções de segurança são regulamentadas pelo art. 9º da Lei nº 12.334/2010 e têm como objetivo avaliar o estado físico dos componentes essenciais da barragem para identificar e monitorar eventuais anomalias que possam comprometer sua integridade, possibilitando assim uma reabilitação da barragem com antecedência (ANA, 2016). A resolução ANA nº 236 de 30 de janeiro de 2017 também estabelece o conteúdo mínimo e o nível de detalhamento das Inspeções de Segurança Regular e Especial (ANA, 2017).

As orientações e procedimentos de inspeção para a barragem devem incluir itens a serem verificados durante as inspeções, abrangendo todas as estruturas e equipamentos; frequência, responsabilidade e critérios para registro e elaboração de relatórios; descrição de inspeções adicionais, quando necessárias; requisitos e periodicidade para a leitura da instrumentação, incluindo nivelamento topográfico e deslocamentos horizontais (MI, 2002).

A Resolução ANA nº 236, de 30 de janeiro de 2017, no seu artigo 3º, Inciso XII considera;

*“Inspeção de Segurança Especial - ISE: atividade sob a responsabilidade do empreendedor que visa a avaliar as condições de segurança da barragem em situações específicas, devendo ser*

*realizada por equipe multidisciplinar de especialistas nas fases de construção, operação e desativação (ANA, 2017).''*

E no seu inciso XIII considera;

*“Inspeção de Segurança Regular - ISR: atividade sob responsabilidade do empreendedor que visa identificar e avaliar anomalias que afetem potencialmente as condições de segurança e de operação da barragem, bem como seu estado de conservação, devendo ser realizada, regularmente, com a periodicidade estabelecida nesta Resolução (ANA, 2017).”*

## BARRAGENS DE TERRA

As barragens de terra são o tipo mais comum e facilmente encontradas no Brasil, devido a abundância de material terroso. Esse tipo de barragem apresenta uma considerável vantagem sobre as barragens de concreto, pois pode ser construído sobre fundações com resistência mais baixa. As barragens de terra representam as obras mais elementares desse tipo de estrutura e geralmente são adequadas para qualquer tipo de fundação, desde rochas compactas até terrenos compostos por materiais não consolidados. Há uma certa variabilidade nos tipos de barragens de terra, podendo ser homogêneas ou zonadas (HENKE, 2019).

Na barragem de terra do tipo homogêneo, é utilizado um único material, sem considerar a proteção dos taludes. Este material deve ser impermeável o suficiente para estabelecer uma barreira eficaz contra a água. Os taludes, por sua vez, não possuem inclinações acentuadas, garantindo uma estabilidade adequada (SALIBA, 2009).

Na barragem de terra do tipo zonado, há um núcleo central impermeável cercado por materiais mais permeáveis, que servem para proteger e sustentar o núcleo. Essas zonas podem consistir em areia, cascalho, fragmentos de rocha ou uma combinação desses materiais (LINHARES, 2021).

Além disso, o estudo de permeabilidade em barragens é essencial para garantir sua segurança estrutural, especialmente diante de condições adversas do local de instalação. Isso envolve avaliar como a água pode atravessar a estrutura e implementar medidas para preservar sua integridade física ao longo do tempo. (CORDEIRO, 2017). Segundo Gaioto (2003) nos estágios iniciais da construção de barragens, o foco estava na máxima impermeabilização do terreno, visando bloquear completamente a infiltração de água para jusante. Entretanto, ao longo do tempo, constatou-se que era inviável alcançar a completa

impermeabilidade das estruturas de contenção. Diante dessa realidade, tornou-se crucial o controle da vazão de percolação, o que se revela importante e, em muitos casos, imprescindível. Em ambos os tipos de barragens de terra - homogêneas ou zonadas - é crucial considerar a implementação de um sistema de drenagem interna para a segurança da estrutura (LIMA, 1976).

## SEGURANÇA DE BARRAGENS

Ao construir uma barragem, a segurança deve ser o objetivo principal, no projeto, na construção e na operação. A fiscalização constante das barragens se faz necessária, uma vez que a sua ruptura pode ter consequências significativas em termos de impactos socioeconômicos e ambientais (SAMPAIO, 2014).

De acordo com Menescal (2005), a segurança de uma barragem pode ser alcançada por meio de três medidas cruciais: a correção de deficiências previstas ou identificadas; a manutenção de uma operação segura e contínua, incluindo inspeções regulares, e o estabelecimento de planos adequados para lidar com emergências. Estas medidas são fundamentais para assegurar a segurança da barragem ao longo do tempo e para mitigar os possíveis impactos adversos associados ao seu funcionamento.

Dada a existência de uma probabilidade de ruptura de uma barragem e o enorme impacto que tal evento tem à jusante, é crucial assegurar uma execução de projeto e construção de alta qualidade. Segundo Facchinetti (2008), as causas de ruptura em barragens frequentemente resultam de falhas de projeto ou de fiscalização durante a construção. Erros podem ser atribuídos a falta de experiência na elaboração do projeto ou à execução por empresas não qualificadas. Falhas humanas, dados deficientes, fiscalização insuficiente e negligência na operação e manutenção também contribuem para tais incidentes. É necessário um processo contínuo de monitoramento e avaliação do comportamento das estruturas, que emprega ferramentas como inspeção visual e instrumentação (ZUFFO, 2005).

É importante que os profissionais envolvidos na gestão de barragens estejam capacitados e comprometidos com esses processos de monitoramento e manutenção para garantir a segurança a longo prazo dessas estruturas críticas (MACHADO, 2007).

## FERRAMENTAS DE INSPEÇÃO

Para garantir as condições de segurança da barragem tem que haver um monitoramento específico para avaliar e identificar quaisquer mudanças nas condições (MENESCAL, 2005). No Brasil, para reduzir o risco de falhas em barragens, são conduzidas inspeções regulares para detectar anomalias nas estruturas e nos elementos auxiliares. Essas inspeções são fundamentais para avaliar o risco associado à barragem e servem como uma ferramenta essencial na prevenção de acidentes potenciais. (FONTENELLE et al, 2017). As anomalias presentes em uma inspeção de segurança de uma barragem são identificadas e avaliadas através de fichas de inspeções, fornecidas no portal da ANA – adaptada do Manual de Preenchimento da Ficha de Inspeção do Ministério da Integração (2002) e baseado no Manual FEMA 1987 da Federal Emergency Management Agency (FEMA) dos Estados Unidos (BARBOSA, 2020).

Além da ficha de inspeção, existem diferentes métodos e tecnologias disponíveis para coletar informações sobre a barragem e elementos estruturais. A instrumentação é um dos métodos utilizados para acompanhar o comportamento de uma barragem e de suas fundações (CRUZ, 1996). Utiliza-se uma variedade de instrumentos na barragem para obter dados, como os mecânicos, hidráulicos, pneumáticos ou elétricos (MACHADO, 2007).

Na atualidade, como auxílio à inspeção visual e à detecção de anomalias, as tecnologias também se tornam fundamentais, facilitando e promovendo mais eficácia e eficiência na análise estrutural da barragem. As imagens de satélite emergem como uma fonte vital de dados e informações para estudos relacionados ao uso e ocupação do solo. Além disso, o uso de Veículos Aéreos não tripulados (VANT) na geração de imagens de alta resolução surge como uma alternativa complementar às imagens de satélite. Esses equipamentos têm sido cada vez mais incorporados no monitoramento de áreas devido à sua capacidade de executar atividades de avaliação, o que permite uma análise mais detalhada e a tomada de decisões mais eficazes (RODRIGUES, 2023).

## **3 MATERIAIS E MÉTODOS**

As inspeções visuais em barragens são essenciais para identificar precocemente qualquer sinal de deterioração, erosão ou outros danos estruturais que possam comprometer a integridade da estrutura. Nesta seção, será possível observar a abordagem metodológica



utilizada para investigar como a inspeção visual é conduzida em barragens de terra, abordando os procedimentos e técnicas empregados para avaliar a integridade dessas estruturas.

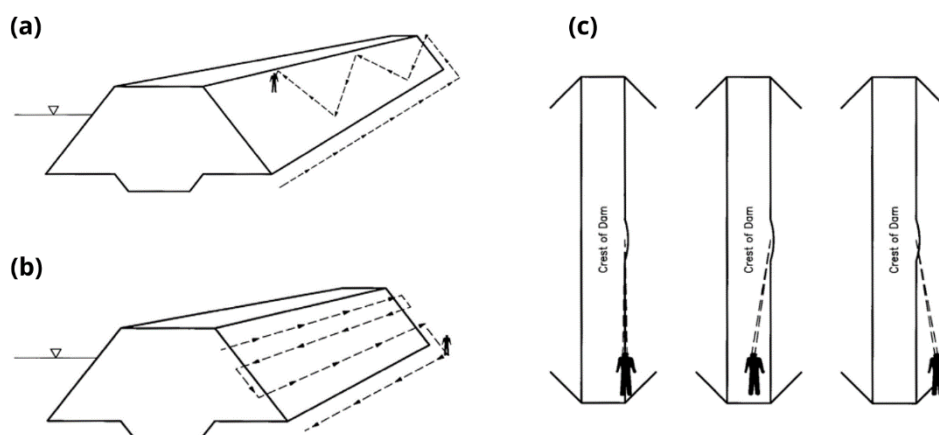
A inspeção visual de uma barragem de terra deve ser realizada de forma cuidadosa, seguindo padrões específicos e levando em consideração as particularidades da estrutura.

### 3.1 DIRETRIZES PARA O PREENCHIMENTO DA FICHA DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA

No contexto brasileiro, é comum realizar a inspeção visual de barragens utilizando Guias de Inspeção e checklists (DIAS, 2011). O modelo de formulário utilizado neste estudo como padrão foi a Ficha de Inspeção de Segurança Regular de Barragem de Terra disponível no *site* da Agência Nacional de Águas – ANA.

Conforme o Manual de Segurança e Inspeção de Barragens, para o preenchimento da Ficha de Inspeção, em campo, o responsável deve caminhar em todas as partes da barragem (Figura 1) incluindo a crista, taludes, talvegues, vertedouros, galerias, drenos, estruturas de controle de água, tomadas d'água, e todas as obras complementares, observando qualquer irregularidade ou anomalia que possa sugerir a necessidade de manutenção ou correção de problemas. Ao final, a ficha deve estar totalmente preenchida e comentada com observações (MI, 2002).

**Figura 1** – (a) Trajetória em zig-zag para inspeção de taludes; (b) Trajetórias paralelas para inspeção de taludes; (c) Observação ao longo da crista

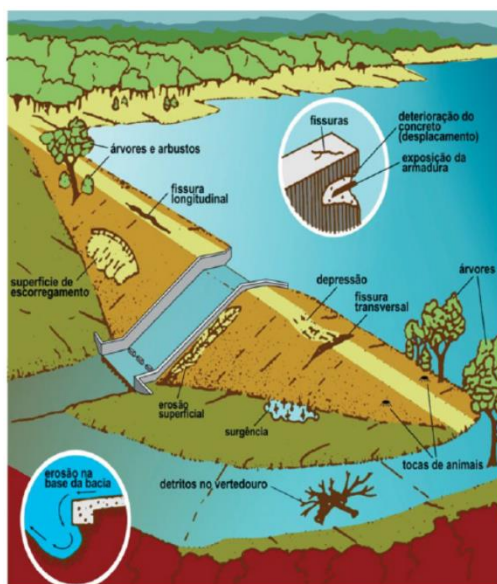


Fonte: Module Inspection Of Embankment Dams

### 3.2 REGISTROS FOTOGRÁFICOS

Durante a visita de inspeção, o profissional deve identificar e registrar as observações na ficha de inspeção e por fotografias (SAHADE, 2017). Deve-se procurar por sinais de anomalias como erosão, trincas, surgências, vegetação invasora, deslizamentos, presença de animais (Figura 2) (MI, 2002).

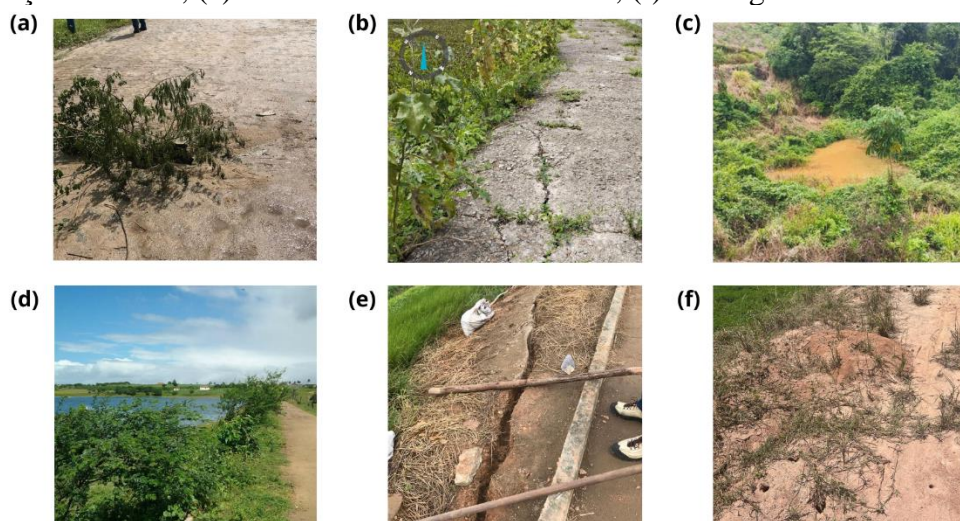
**Figura 2** – Representação esquemática das anomalias mais frequentes



Fonte: Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens, Vol II (2016)

As imagens fotográficas servem como evidência objetiva das condições encontradas durante uma inspeção (Figura 3), fornecem uma documentação visual detalhada do estado atual da barragem. Isso pode ser útil para referência futura, comparação com inspeções anteriores, criando um registro histórico e análise de mudanças ao longo do tempo.

**Figura 3** – (a) Erosão na crista; (b) trincas na crista; (c) Surgência à jusante; (d) Vegetação invasiva; (e) Deslizamento com rachadura; (f) Formigueiro e toca de animais



Fonte: Autor

### 3.3 INSPEÇÕES ESPECIAIS

Diferentemente das inspeções regulares, as inspeções especiais ou de emergência são avaliações detalhadas e específicas realizadas por equipes técnicas especializadas para avaliar aspectos específicos da segurança, estabilidade e condição estrutural das barragens. Devem ser realizadas com base na gravidade dos danos causados por eventos excepcionais, como cheias ou sismos com período de recorrência superior ao previsto ou pela presença de anomalias graves que possam influenciar a segurança da estrutura (MI, 2002). É realizada também em momentos críticos, como antes de iniciar o primeiro enchimento, após a conclusão do enchimento ou durante um esvaziamento rápido (ANA, 2016).

Os resultados dessas inspeções são utilizados para orientar decisões de manutenção, reparo e reforço da barragem, garantindo sua segurança e integridade ao longo do tempo.

## 4 AVANÇOS TECNOLÓGICOS

As inovações tecnológicas na inspeção visual de barragens têm evoluído significativamente e revolucionado a forma como as barragens são inspecionadas e monitoradas, proporcionando métodos mais eficientes e seguros para avaliar a integridade das estruturas. Ao combinar diversas tecnologias e abordagens, os empreendedores e

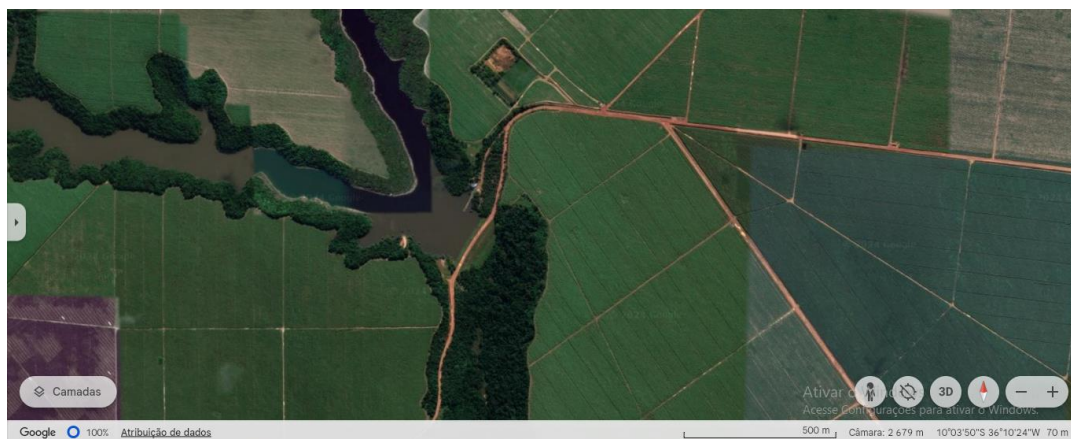
órgãos fiscalizadores podem garantir uma gestão mais eficaz e proativa das barragens. No entanto, vale salientar que a implementação dessas inovações tecnológicas demanda investimentos e capacitação de profissionais qualificados. Além disso, a adaptação dessas tecnologias às características individuais de cada barragem é de suma importância. A colaboração entre especialistas, pesquisadores, órgãos reguladores e empreendedores é essencial para impulsionar a adoção de tecnologias e promover esse sistema de forma responsável para a aprimoração da segurança das barragens (SILVA et al, 2023).

#### 4.1 IMAGENS DE SATÉLITE

Há algum tempo, com o avanço da informática, surgiram novas oportunidades para análises estratégicas que auxiliam na tomada de decisão. A capacidade de visualizar os resultados dessas análises em um mapa torna a compreensão mais fácil e clara para o analista (FELIZARDO, 2016).

O uso de imagens de satélite de alta resolução oferece uma visão ampla e detalhada das barragens e de seus arredores (Figura 4), sendo um recurso auxiliar na inspeção.

**Figura 4** –Imagem de satélite de uma barragem



Fonte: Google Earth

#### 4.2 DRONES (VEÍCULOS AÉREOS NÃO TRIPULADOS)

O uso de drones na inspeção de barragens oferece diversos benefícios, oferecendo acesso a áreas amplas e possibilitando uma cobertura abrangente da estrutura. Eles capturam imagens de alta resolução, facilitando a identificação de danos, anomalias e áreas de

preocupação, agilizando o processo de inspeção e fornecendo dados valiosos para análise e tomada de decisões. Esses dispositivos têm a capacidade de alcançar áreas de difícil acesso sem expor os inspetores a riscos e, em comparação com métodos convencionais, demonstram ter um custo de operação significativamente mais baixo (MIRALDES, 2020).

Além de superar limitações da inspeção visual, o uso dos veículos aéreos não tripulados permite que outros especialistas analisem os dados registrados, contribuindo para uma avaliação mais abrangente e detalhada da segurança e integridade da estrutura (GORKOS, 2022).

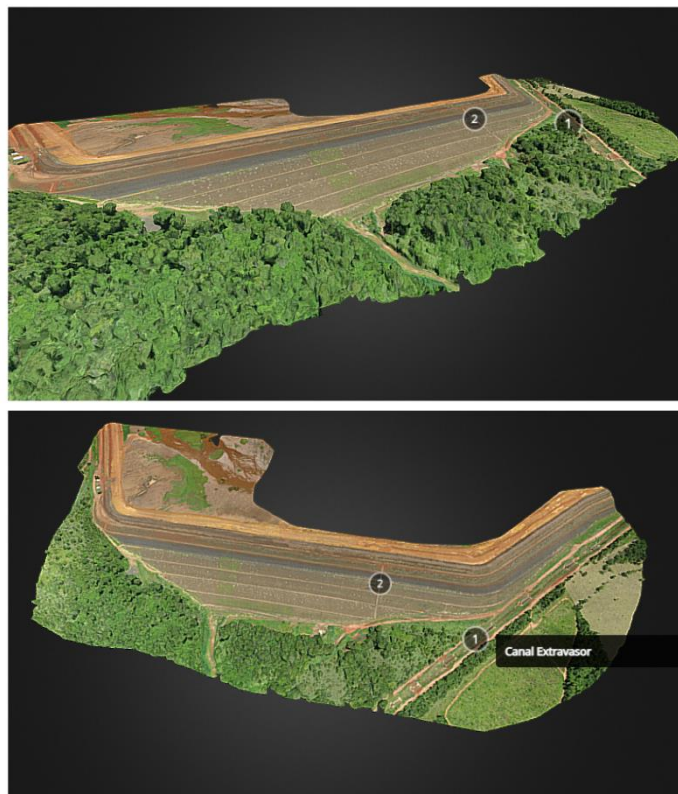
### 4.3 FOTOGRAMETRIA

A técnica de fotogrametria envolve a captura e processamento de imagens para criar modelos tridimensionais e está se destacando como uma ferramenta promissora para a análise e monitoramento das condições de estabilidade de taludes. O método fornece informações da área e dos objetos de interesse e utiliza a intersecção de pontos correspondentes em imagens coletadas de ângulos distintos. Ao identificar aspectos fundamentais em comum entre as imagens, é possível determinar a localização tridimensional de cada ponto no objeto fotografado. Esses dados são então empregados na criação de modelos tridimensionais detalhados, viabilizando uma caracterização precisa da topografia do talude (CGI, 2024).

O mapeamento fotogramétrico permite a análise de grandes áreas (Figura 5), de forma ágil, segura e inteligente. Em consequência, profissionais podem desenvolver planos de manutenção e reparo mais precisos e eficientes. Isso inclui a identificação de áreas que requerem atenção imediata e a priorização de intervenções com base na gravidade dos problemas identificados. A aplicação da fotogrametria pode ser feita por mapeamento aéreo ou com uso de imagens de satélite.



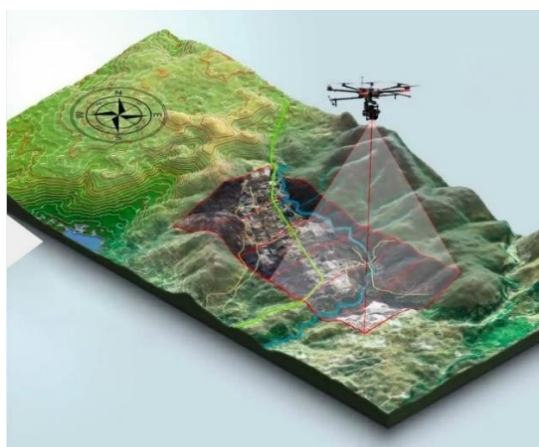
**Figura 5** – Aerofotogrametria do maciço da barragem



Fonte: <https://sketchfab.com/mirante>

O mapeamento aéreo feito com veículos não tripulados é mais utilizado e oferece mais vantagens devido à quantidade de pontos coletados e qualidade das imagens (Figura 6).

**Figura 6** – Cobertura aerofotogramétrica com drone

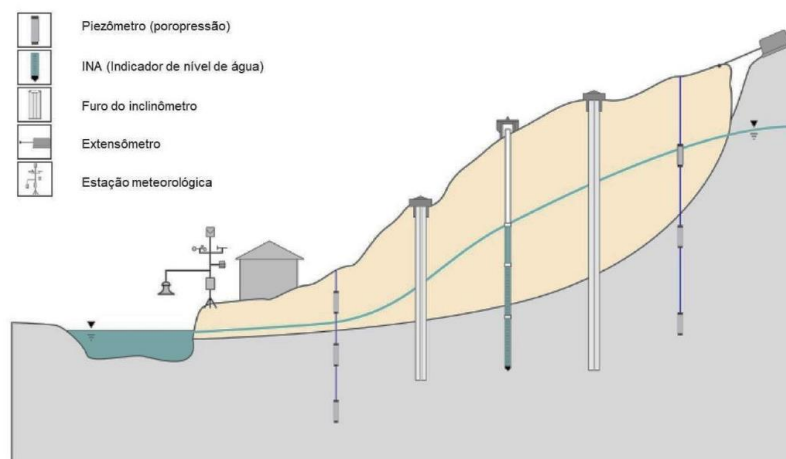


Fonte: <https://www.dronessolution.com.br/post/software-para-processamento-de-dados-de-drones>.

#### 4.4 SISTEMAS DE MONITORAMENTO

Um sistema de monitoramento permite uma resposta rápida a potenciais problemas, contribuindo para a segurança e integridade das barragens (ALVES, 2017). Esse sistema geralmente envolve a instalação de uma variedade de sensores com instrumentos geotécnicos (Figura 7), como inclinômetros, piezômetros, medidores de nível de água, estação meteorológica e dispositivos de monitoramento sísmico, que fornecem dados em tempo real sobre a estabilidade, pressão hidrostática e movimentos da barragem. Esses dados são transmitidos para um centro de controle, onde podem ser analisados por especialistas. Variações anormais podem indicar condições que podem comprometer a estabilidade da estrutura, como a saturação do solo, erosão interna ou deformações excessivas.

**Figura 7 – Instrumentos Geotécnicos**



Fonte: <https://www.gov.br/mme/pt-br/arquivos/document-0-24949631294075958.pdf>

O piezômetro, como exemplo, é um dispositivo que possui medidores de pressão (Figura 8), utilizados para medir a pressão da água no solo onde foi instalado, variações na pressão da água medidas pelos piezômetros podem indicar a presença de vazamentos na barragem ou em suas fundações.

**Figura 8** – Medidores de pressão dos piezômetros



Fonte: Autor

Ao serem integradas à inspeção visual, essas tecnologias fornecem uma visão abrangente do comportamento da barragem, possibilitando uma avaliação precisa de sua segurança e a tomada de medidas preventivas ou corretivas quando necessário.

A abordagem metodológica adotada permitiu uma investigação detalhada sobre como a inspeção visual é conduzida em barragens de terra, abordando os procedimentos e técnicas empregados para avaliar a integridade dessas estruturas e como os avanços tecnológicos podem contribuir como uma camada adicional de segurança, reduzindo os riscos e garantindo uma gestão mais eficiente e responsiva das barragens.

## **5 RESULTADOS E DISCUSSÕES**

Os resultados e discussões apresentados neste capítulo enfatizam a importância das inspeções visuais na detecção precoce de falhas em barragens de terra e o papel dos avanços tecnológicos nesse processo. A combinação de inspeções regulares e especiais, juntamente com o uso de tecnologias inovadoras, é essencial para manter a sustentabilidade das operações de inspeção, como também a segurança e integridade



dessas estruturas críticas. O compromisso contínuo com a implementação de medidas preventivas e de monitoramento é fundamental para mitigar os riscos e proteger vidas e o meio ambiente de potenciais danos causados por falhas em barragens de terra.

## 5.1 METODOLOGIA TRADICIONAL DE INSPEÇÃO VISUAL

A metodologia tradicional de inspeção visual em barragens de terra, baseadas em procedimentos manuais e diretrizes estabelecidas pela Agência Nacional de águas (ANA), desempenham um papel fundamental na identificação precoce de anomalias e na garantia da segurança dessas estruturas ao longo do tempo. A realização de inspeções regulares e especiais, permite uma avaliação abrangente das condições de segurança e estabilidade das barragens.

As inspeções visuais regulares, conduzidas por equipes treinadas, fornecem uma visão detalhada das condições físicas das barragens, identificando sinais de deterioração, erosão, trincas e outras anomalias que poderiam comprometer sua integridade. Além disso, as inspeções especiais permitem uma análise mais aprofundada em momentos críticos, como antes do primeiro enchimento, após a conclusão do enchimento ou durante esvaziamentos rápidos, orientando decisões importantes de manutenção e reparo.

### 5.1.1 GANHOS E PERDAS DA METODOLOGIA TRADICIONAL

A metodologia tradicional de inspeção visual oferece várias vantagens, incluindo a familiaridade e experiência dos profissionais envolvidos, a conformidade com diretrizes estabelecidas e a capacidade de identificar anomalias visíveis a olho nu. Além disso, essas abordagens são geralmente mais acessíveis em termos de custo e podem ser implementadas com recursos disponíveis localmente.

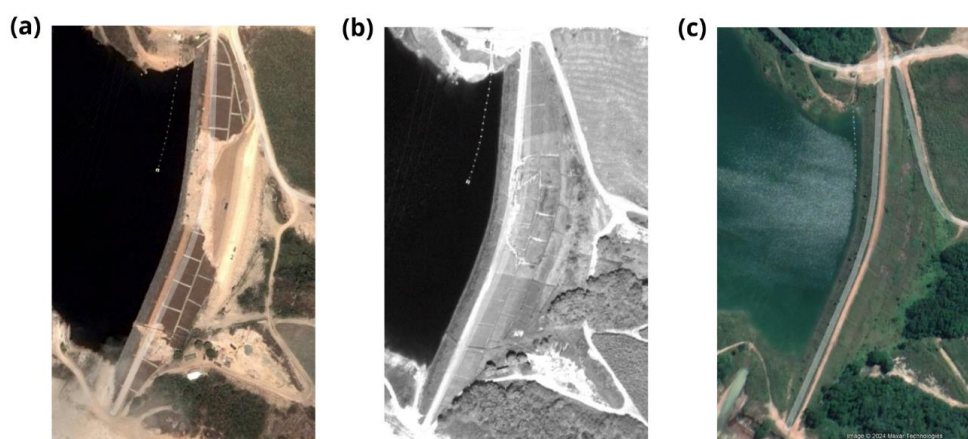
No entanto, as metodologias tradicionais também apresentam algumas limitações. Elas dependem da habilidade e interpretação dos inspetores na identificação de anomalias, o que pode levar a inconsistências nos resultados. Além disso, as inspeções visuais em campo podem ser demoradas e exigir recursos significativos, especialmente em áreas de difícil acesso ou em condições climáticas adversas.

## 5.2 INTEGRAÇÃO DE TECNOLOGIAS AVANÇADAS

Os avanços tecnológicos têm revolucionado a forma como as barragens são inspecionadas e monitoradas. A adoção de novas tecnologias, como imagens de satélite, drones, fotogrametria e sistemas de monitoramento, oferece benefícios complementares à metodologia tradicional de inspeção visual. Essas tecnologias permitem uma cobertura mais abrangente da barragem e seus arredores, facilitando a detecção remota de anomalias e áreas de preocupação.

Por exemplo, o uso de imagens de satélite de alta resolução fornece uma visão global das condições da barragem, com sua utilização é possível monitorar mudanças ao longo do tempo, identificar padrões de movimentação do solo e avaliar o impacto de eventos climáticos nas estruturas. Ao ver a comparação de uma barragem antes e depois de um deslizamento de parte do seu talude (Figura 9), podemos analisar, mesmo que de forma remota o agravamento de uma anomalia, a dimensão da parte estrutural danificada e a tentativa de solução ou medida paliativa do empreendedor.

**Figura 9** – (a) Imagem de anomalia ocorrida no ano de 2005 (b) Estrutura restaurada no ano de 2008 (c) Imagem da estrutura após restauração no ano de 2019



Fonte: Google Earth

Em conjunto, a utilização de Veículos Aéreos Não Tripulados - Drones permite uma inspeção detalhada de áreas específicas de difícil acesso, garantindo a segurança do inspetor (Figura 10).

**Figura 10** – Erosão em margem do canal extravasor (a) Fotografia por celular retirada em ponto de acesso à anomalia. (b) Fotografia retirada através de veículo aéreo não tripulado.

(a)



(b)



Fonte: Autor

Além disso, a fotogrametria oferece a capacidade de criar modelos tridimensionais detalhados da barragem, permitindo uma análise mais precisa da topografia e deformações nos taludes.

Os sistemas de monitoramento, por sua vez, fornecem dados em tempo real sobre a estabilidade, pressão hidrostática e movimentos da barragem, permitindo uma resposta rápida a potenciais problemas. Ao integrar essas tecnologias avançadas com as metodologias tradicionais de inspeção visual, é possível obter uma visão mais abrangente e detalhada das condições da barragem, melhorando a eficiência e eficácia das operações de inspeção.

### 5.2.1 DESAFIOS NA INTEGRAÇÃO DAS INOVAÇÕES

Apesar das vantagens oferecidas pelas novas tecnologias, sua implementação eficaz requer investimentos significativos em equipamentos, treinamento e capacitação de pessoal. No entanto, a integração de tecnologias avançadas também oferece oportunidades para melhorar a segurança, eficiência e sustentabilidade das operações de inspeção. Ao superar as limitações das metodologias tradicionais, as novas tecnologias permitem uma análise mais precisa e abrangente das condições da barragem, reduzindo o risco de falhas e potenciais danos.

Em suma, a integração de metodologias tradicionais de inspeção visual com tecnologias avançadas oferece uma abordagem abrangente e eficaz para avaliar a segurança e integridade das barragens de terra. Ao combinar a experiência e familiaridade das metodologias tradicionais com os benefícios das novas tecnologias, é possível obter uma visão mais detalhada e precisa das condições da barragem, melhorando a capacidade de detectar precocemente anomalias e prevenir potenciais falhas.

## 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A segurança das barragens é uma preocupação global, dada sua importância para a sociedade e o meio ambiente. A lei 12.334 de setembro de 2010 exige que as barragens sejam regularmente inspecionadas e mantenham padrões específicos de segurança. Inspeções visuais aliadas a tecnologias ajudam os empreendedores das barragens a cumprir essas regulamentações de forma mais eficaz, fornecendo dados detalhados sobre o estado da estrutura.

Nesse artigo, foi evidenciado que as inspeções visuais são fundamentais para identificar sinais de deterioração, erosão e outros danos estruturais que possam comprometer a segurança das barragens. Através da aplicação de diretrizes específicas, o preenchimento cuidadoso da Ficha de Inspeção de Segurança, aliado aos registros fotográficos detalhados, foi destacado como fundamental para uma avaliação das condições da barragem. Além disso, o uso de avanços tecnológicos, como imagens de satélite, drones, fotogrametria e sistemas de monitoramento preventivo, oferecem benefícios complementares às metodologias tradicionais.

É evidente que a integração de tecnologias às inspeções visuais tradicionais pode fornecer uma visão abrangente do comportamento da barragem, permitindo uma avaliação precisa de sua segurança e a tomada de medidas preventivas ou corretivas quando necessário. No entanto, a implementação eficaz dessas tecnologias requer investimentos significativos em equipamentos e capacitação de pessoal. Superar esses desafios é essencial para melhorar a segurança, eficiência e sustentabilidade das operações de inspeção. Essa abordagem multidisciplinar e tecnologicamente avançada é essencial para garantir a segurança a longo prazo das barragens e, conseqüentemente, proteger vidas humanas, comunidades e o meio ambiente circundante.

Como sugestões para trabalhos futuros, recomenda-se a realização de estudos mais aprofundados sobre a aplicação específica de cada tecnologia na inspeção de barragens, bem como a avaliação de novas tecnologias emergentes. Além disso, é importante continuar desenvolvendo diretrizes e protocolos atualizados para a realização de inspeções visuais, levando em consideração os avanços tecnológicos e as melhores práticas da indústria. A colaboração entre especialistas, pesquisadores, órgãos reguladores e empreendedores é essencial para impulsionar a adoção de tecnologias e promover uma abordagem integrada e responsável para aprimorar a segurança das barragens.

## REFERÊNCIAS

ALVES, César et al. **Gestão de Barragens**. Samarco. Brasil, 2017. Disponível em: <<https://www.gov.br/mme/pt-br/arquivos/document-0-24949631294075958.pdf>>. Acesso em 02 abr. 2024.

ANA – Agência Nacional de Águas. **Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens Volume II**. Guia de Orientação e Formulários para Inspeções de Segurança de Barragem. 2016. Disponível em: <[https://www.snisd.gov.br/Entenda\\_Mais/volume-ii-guia-de-orientacao-e-formularios-para-inspecoes-de-seguranca-de-barragem](https://www.snisd.gov.br/Entenda_Mais/volume-ii-guia-de-orientacao-e-formularios-para-inspecoes-de-seguranca-de-barragem)>. Acesso em 12 abr. 2024

ANA – Agência Nacional de Águas. **Relatório de Segurança de Barragens 2018** - Brasília, 2019. 54p. Disponível em <<https://www.snisd.gov.br/portal/snisd/relatorio-anual-de-seguranca-de-barragem/2018>>. Acesso em 10 abr. 2024.

ANA - Agência Nacional de Águas. **Resolução ANA nº 236, de 30 de janeiro de 2017**. Brasil, 2017. 13 p. Disponível em: < [https://participacao-social.ana.gov.br/api/files/Resolucao\\_236\\_para\\_consulta\\_publica-1635356466005.pdf](https://participacao-social.ana.gov.br/api/files/Resolucao_236_para_consulta_publica-1635356466005.pdf)>. Acesso em: 16 abr. 2024.

ANA- Agência Nacional de Águas. **Diretrizes para a Elaboração do Plano de Operação, Manutenção e Instrumentação de Barragens.** Brasília, 2016b 135 P. ISBN 978-85-8210-043-1 (V7).

ANA- Agência Nacional de Águas. **Guia de Orientação e Formulários para Inspeções de Segurança de Barragem.** Brasília, 2016c. 218 p. ISBN 978-85-8210-038-7 (v2).

ANA- Agência Nacional de Águas. **Guia de Revisão Periódica de Segurança de Barragem.** Brasília: 2016d. 66 p. ISBN 978-85-8210-039-4 (v3).

ANA- Agência Nacional de Águas. **Guia Prático de Pequenas Barragens.** Brasil, 2016e. 120 P. ISBN 978-85-8210-041-7 (v8).

ANA- Agência Nacional de Águas. **Modelo de Ficha para Inspeção Regular de Barragem de Terra.** Disponível em:

<<http://www3.ana.gov.br/portal/ANA/regulacao/outorga-efiscalizacao/barragens/inspecao-de-barragens-1>>. Acesso em: 05 abr. 2024.

BAPTISTA, Bruno Baeta; **Modelação 3D da Barragem do Cabril por Varrimento LASER Terrestre e Fotogrametria Digital.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Geográfica)- Faculdade de Ciências e Tecnologia, Departamento de Matemática, Universidade de Coimbra. Coimbra. 2017.

BARBOSA, Maysa Lira. **Inspeções rotineiras em barragens, qual é a importância desta medida? Estudo de caso: Manuel Alves no município de Dianópolis.** Centro Universitário Luretano de Palmas. Tocantins, 2020.

BRASIL, **Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010.** Estabelece a política nacional de segurança de barragens. Disponível em:

<[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2007-2010/2010/Lei/L12334.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Lei/L12334.htm)>. Acesso em: 10 abr. de 2024.

BROWN, Thomas A. *et al.* **Module: Preparing To Conduct a Dam Safety Inspection.** Training Aids For Dam Safety. Colorado, 1988.

CGI. Centro Geotécnico Internacional. **Estabilidade de Taludes: Fotogrametria.**

Disponível em <<https://www.linkedin.com/pulse/estabilidade-de-taludes-fotogrametria-vun1e/>>. Acesso em: 20 abr. 2024.

CORDEIRO, Guilherme Eduardo Marcondes. **Estudo de Fluxo em Barragens de Terra.** Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2017.

CRUZ P. T. **100 barragens brasileiras: casos históricos, materiais de construção, projeto.** São Paulo. Oficina de textos, 1996. Disponível em:

<<https://www.ofitexto.com.br/100-barragens-brasileiras/p>> Acesso em 04 abr. 2024

DA COSTA, R.; ALEGRE, S. **Potencial de uso de drones em inspeções de barragens: Estudo de caso da Barragem dos Rios Vacacaí e Vacacaí-Mirim e**

**Barragem Rodolfo da Costa e Silva.** 2022. 212 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2022.

DIAS, Glauco Gonçalves; CEMIG, G. T.; FUSARO, Teresa Cristina. **Inspeção visual por modos de falha: um instrumento eficaz de manutenção de barragens.** FACCHINETTI, Roberto. **Riscos Associados ao Projeto e a Construção de Barragens.** Brasil: 2008.

FELIZARDO, Lucas Menezes; **Aplicação de Sistema de Informações Geográficas (SIG) para modelagem de eventos críticos de vazão em uma microbacia urbana.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)- Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista. São Paulo. 2016.

FONTENELLE, Mariana Campos *et al.* **Avaliações de Riscos em Barragens: Estudo de Caso da Barragem Malcozinhado no Nordeste Brasileiro.** 2017.  
GAIOTO, N. 2003. Introdução ao projeto de barragens de terra e de enrocamento. 126 p. São Carlos: EESC-USP.

GOLFETO FILHO, Alberto Ricardo. **Inspeção e avaliação da segurança de barragens de terra e enrocamento.** Ilha Solteira, 2023.

GORKOS, Paola; **Potencial de Uso de Drones em Inspeções de Barragens: Estudo de caso da barragem dos rios Vacacaí e Vacacaí-Mirim e barragem Rodolfo da Costa e Silva.** Porto Alegre. 2022. Disponível em:  
<<https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/248625/001146742.pdf>> Acesso em 06 abr. 2024

GROETELAARS, N. J.; AMORIM, A. L. **Um panorama sobre o uso de nuvens de pontos para criação de modelos BIM.** In: SEMINÁRIO NACIONAL DE DOCUMENTAÇÃO DO PATRIMÔNIO ARQUITETÔNICO COM O USO DE TECNOLOGIAS DIGITAIS, 2., 2012, Belém. **Anais.** Belém: UFPA, 2012.

HENKE, Priscila Cristina et al. **Análise do Dimensionamento, Estabilidade e Percolação de uma Barragem de Terra com o Software GeoStudio.** Engenharia no Século XXI Volume 8, p. 67. 2019.

ICOLD - INTERNATIONAL COMMISSION ON LARGE DAMS. **Número de Barragens.** 2023. Disponível em: < [https://www.icold-cigb.org/GB/world\\_register/general\\_synthesis.asp](https://www.icold-cigb.org/GB/world_register/general_synthesis.asp)>. Acesso em 20 abr. 2024.

LIMA, M. J. C. P. A. **Introdução ao estudo das barragens de terra.** 1976. Instituto militar de engenharia. Disponível em:  
<<https://www.estantevirtual.com.br/livros/instituto-militar-de-engenharia/introducao-ao-estudo-de-barragens-de-terra>>. Acesso em: 13 abr 2024.

MACHADO, William Gladstone de Freitas. **Monitoramento de barragens de contenção de rejeitos da mineração.** 2007. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

MARANGON, M. **Tópicos em Geotecnia e Obras de Terra**. UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA, Faculdade de Engenharia, Departamento de Transportes e Geotecnia. 2004. Material didático ou instrucional. 27 p.

MENESCAL, R, coordenador. **Manual de Preenchimento da Ficha de Inspeção de Barragem**. 117 p, 2ª edição, Ministério da Integração Nacional, Brasília, DF, 2010.  
MENESCAL, Rogério de Abreu. **A Segurança de Barragens e a Gestão de Recursos Hídricos no Brasil**. Brasília: 2. ed., janeiro de 2005.

MI. Ministério da Integração Nacional. **Manual de Segurança e Inspeção de Barragens**. Brasil, 2002. 148p. Disponível em:  
<[http://www.integracao.gov.br/infrastrukturahidrica/publicacoes/manual\\_barragens.asp](http://www.integracao.gov.br/infrastrukturahidrica/publicacoes/manual_barragens.asp).>. Acesso em: 10 abr. 2024.

MIRALDES, João Pedro Nascimento Dinis. **Inspeção Técnica de Construções com Recurso a Drones: Casos de Estudo**. 2020. Tese de Doutorado. Universidade da Beira Interior (Portugal).

MIRANTE ENGENHARIA. **Aerofotogrametria maciço barragem**. Disponível em:  
<<https://sketchfab.com/mirante>>. Acesso em: 30 abr. 2024.

PEREIRA, Tonismar dos Santos. **Avaliação do Desempenho de Diferentes Métodos de Análise de Estabilidade de Taludes em Barragens de Terra**. 2013. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Maria.

RODRIGUES, Bruno Timóteo et al. **Comparação do NDVI Obtido por Meio de VANT e Satélite em Monitoramento de Barragens de Mineração**. Santa Catarina, 2023.

SAHADE, Wilson; **Minicurso Segurança de barragens – Estruturação do Plano de Segurança de Barragens (PSB)** - Vario ECP. Cuiabá, 2017. Disponível em: <  
[https://www.sindenergia.com.br/arquivos/135\\_9.0-minicurso-\\_seguranCa\\_de\\_barragens\\_02-sahade.pdf](https://www.sindenergia.com.br/arquivos/135_9.0-minicurso-_seguranCa_de_barragens_02-sahade.pdf)> Acesso em 05 abr. 2024.

SALIBA, Aloysio Portugal Maia. **Uma nova abordagem para análise de ruptura por galgamento de barragens homogêneas de solo compactado**. Belo Horizonte, 2009.  
SAMPAIO, Marcos Vinicius Nunes. **Segurança de barragens de terra: um relato da experiência do Piauí**. Fortaleza, 2014.

SILVA, T. E. *et al*; **Perspectivas Futuras para a Política Nacional de Segurança de Barragens: Melhorias e Inovações**. XIV CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL. Natal. 2023. Disponível em: <  
<https://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2023/V-021.pdf>> Acesso em 06 abr. 2024.

SILVEIRA, João Francisco Alves. **Instrumentação e segurança de barragens de terra e enrocamento**. Oficina de Textos, 2006.



SOLUTION, D. **Softwares disponíveis para processamento de dados extraídos de imagens feitas com drones.** Blog Drones Solution. Bahia, 2023. Disponível em: <https://www.dronessolution.com.br/post/softwares-para-processamento-de-dados-de-drones>. Acesso em: 05 abr. 2024.

WIKIPÉDIA. **Barragem.** Disponível em: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Barragem>, acesso em: 05 abr. 2024.

ZUFFO, Monica Soares Resio. **Metodologia para avaliação da segurança de barragens.** Campinas, SP, 2005.