DOI: 10.47094/COBRAMSEG2026.1/63

Uso de Ferramentas Inovativas em Inspeção de Barragens de Rejeito

Pedro Daniel Uchôa Dantas
Coordenador Corporativo, TPF Engenharia, Brasília/DF, Brasil, pedro.dantas@tpfe.com.br

Katrine Soares da Silva Crepaldi
Engenheira Geotécnica, TPF Engenharia, Belo Horizonte/MG, Brasil, katrine.crepaldi@tpfe.com.br

Juliana karoliny de Oliveira Faria
Engenheira Geotécnica, TPF Engenharia, Belo Horizonte/MG, Brasil, juliana.faria@tpfe.com.br

José Vinicius Alves
Geógrafo, TPF Engenharia, Recife/PE, Brasil, jose.vinicius@tpfe.com.br

Allan Jonathan Silva de Lima
Auxiliar Corporativo, TPF Engenharia, Camaragibe/PE, Brasil, allan.lima@tpfe.com.br

RESUMO: Desde 2020 há um movimento no setor minerário por gestão segura das Estruturas de Armazenamento de Rejeitos (EAR), especialmente para barragens. A partir da intensificação das regulações nacionais, como exemplo da Resolução nº 95 (futura nº 220) da Agência Nacional de Mineração (ANM), associado às boas práticas do *Global Industry Standard on Tailings Management* (GISTM), as mineradoras têm procurado alternativas economicamente atrativas e tecnicamente viáveis. Este movimento está direcionado para uma mineração sustentável, de transparência com a sociedade, respeito às comunidades e, sobretudo, grande rigor técnico. Neste contexto de baixa tolerância para fatalidades, a atuação do Engenheiro de Registro (EdR), como figura central da governança técnica da estrutura, é indispensável. À vista disso, este trabalho apresenta um conjunto de ferramentas de inovação para gestão de dados por esses profissionais, a partir de aplicativo de inspeção, camera 360º e drone, integrados à uma Plataforma Única de Gerenciamento (Plug). Em termos de resultados, a plataforma possibilita análises mais completas, por meio de comparativos visuais de diferentes inspeções ao longo dos meses, que viabiliza verificações de intervenções nas estruturas, acompanhamento de anomalias e suas tratativas. Adicionalmente, há beneficios na centralização de dados georreferenciados associados às informações técnicas e no acesso de dados fotográficos completos das estruturas, isto em um ambiente digital único e com atualizações periódicas.

PALAVRAS-CHAVE: Barragens de rejeito; Inspeções de Campo; Câmera 360º; Drone.

ABSTRACT: Since 2020, there has been a movement in the mining sector toward the safe management of Tailings Storage Facilities (TSFs), particularly for dams. Following the strengthening of national regulations, such as Resolution No. 95 (to be replaced by No. 220) issued by the National Mining Agency (Agência Nacional de Mineração - ANM), and the adoption of best practices established by the Global Industry Standard on Tailings Management (GISTM), mining companies have been seeking economically attractive and technically viable alternatives. This movement is aligned with the principles of sustainable mining, transparency with society, respect for communities, and, above all, stringent technical rigor. In this context of low tolerance for fatalities, the role of the Engineer of Record (EoR), as the central figure in the technical governance of the structure, is indispensable. In this regard, this paper presents a set of innovative tools for data management to support these professionals, utilizing an inspection application, a 360º camera, and a drone, all integrated into a Unified Management Platform (Plataforma Única de Gerenciamento - Plug). The results indicate that the platform enables more comprehensive analyses through visual comparisons of different inspections over the months, which facilitates the verification of structural interventions, the monitoring of anomalies, and the tracking of corrective actions. Additionally, benefits include the centralization of georeferenced data linked to technical information and access to complete photographic records of the structures, all within a single digital environment with periodic updates.

KEYWORDS: Tailings Dams; Field inspection; 360º camera; Drone.

1 INTRODUÇÃO

Os acontecimentos recentes envolvendo Estruturas de Armazenamento de Rejeitos (EAR) mostraram de forma clara como a segurança e a governança técnica são cruciais no setor minerário. Internacionalmente, padrões como o *Global Industry Standard on Tailings Management* (GISTM) surgiram para guiar empresas e profissionais na adoção de práticas mais seguras e consistentes. No Brasil, a Agência Nacional de Mineração (ANM) reforçou essa tendência ao elaborar a Resolução n°95/2022 e outras normativas, que vieram a ser consolidadas na Resolução n°220/2025, trazendo critérios mais claros sobre gestão de riscos.

Mesmo com normas robustas, a prática ainda enfrenta desafios: grande volume de informações geradas em inspeções, monitoramento e relatórios. Sem gestão eficaz, pode impactar nas decisões importantes. Nesse contexto, a atuação do Engenheiro de Registro (EdR) é essencial, não apenas para verificar a conformidade às normas e padrões, mas também para garantir que as informações técnicas de sua competência, sejam organizadas, compreendidas e utilizadas para decisões confiáveis ao longo do ciclo de vida das estruturas.

Nesse contexto, este artigo tem por objetivo apresentar ferramentas inovativas, integradas em uma Plataforma Única de Gerenciamento (Plug), como sistema de apoio ao EdR no exercício da função de governança técnica, possibilitando o acesso ágil e transparente a dados e registros históricos das barragens.

2 DESAFIOS DA GESTÃO DE REJEITOS NA MINERAÇÃO

A atividade minerária possui papel estratégico no desenvolvimento econômico global, fornecendo insumos essenciais para infraestrutura, energia, tecnologia e indústria de base. No Brasil, a mineração representa parcela significativa do Produto Interno Bruto industrial, sendo o país um dos principais produtores mundiais, por exemplo, de minério de ferro. Prova disso é que a produção mundial de ferro apresentou descréscimo de 1,2%, em 2024, quando comparada ao ano de 2023, enquanto o Brasil segue na crescente dos seus dados de produção desde 2022. Em 2024, a produção brasileira representou 17,9% da produção mundial de ferro beneficiado, sendo ultrapassado apenas pela Austrália (ANM, 2025, p.29).

Em contrapartida, há uma demanda contínua por outros minerais, o que intensifica a necessidade de estruturas seguras para disposição de rejeitos provenientes desse beneficiamento. Neste contexto, considerando ainda os eventos ocorridos em 2015 e 2019, há uma elevação do nível de exigência regulatória e de compromisso social, traduzido na consolidação de normativas para fins de gestão padronizada, transparente e tecnicamente consistente das EARs.

2.1 Cenário Atual das Barragens de Rejeito no Brasil

Segundo o boletim mensal referente a janeiro de 2026 (ANM, 2026), têm-se 908 barragens cadastradas no Sistema Integrado de Gestão de Segurança de Barragens de Mineração (SIGBM). Destas, 470 estão enquadradas na Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB).

Esses dados são atualizados periodicamente em função de novos cadastros e da descaracterização de barragens, sobretudo das alteadas a montante, cujos alteamentos são apoiados em rejeitos lançados anteriormente devido ao baixo custo deste processo (Sandroni; Guidicini, 2021, p.147). O panorama atual no aspecto de Categoria de Risco (CRI) e classificação de nível[1] dessas estruturas, é apresentado na Figura 1.

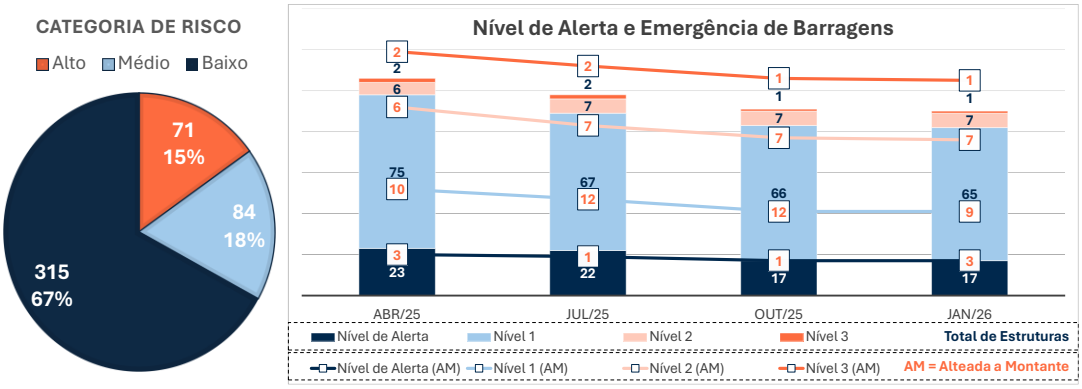


Figura 1. Categoria de Risco e Nível das Barragens de Rejeito (Adaptado da ANM, 2026)

[1] Os documentos avaliados não consideram as novas nomenclaturas da resolução nº 220 (ANM, 2025).

Logo, das 470 estruturas pertencentes ao PNSB, têm-se 33% com CRI médio e alto. Isto é refletido, indiretamente, nas classificações de níveis das estruturas. Considerando os dados de janeiro/26, há 90 estruturas enquadradas entre nível de alerta e nível 3, sendo que 20 destas barragens são alteadas a montante, que é a condição mais crítica atualmente, do ponto de vista de gestão de segurança de barragens de mineração.

2.2 Panorama Regulatório

Embora o tema gestão de segurança não seja algo novo, observa-se, historicamente, o desdobramento de ações a partir de desastres, com o fortalecimento de instituições reguladoras e evolução técnica devido ao estudo de causa. O assunto segurança passou a ser pauta no desenvolvimento de projetos e implantação, desde a ocorrência de rupturas catastróficas nas décadas de 1950 – 1970 (Pereira, 2020, p. 45). Consequentemente, os eventos recentes desencadearam uma resposta da comunidade técnica e da sociedade, em nível global. A Figura 2 apresenta uma linha do tempo da evolução regulatória, como uma das ações de resposta.

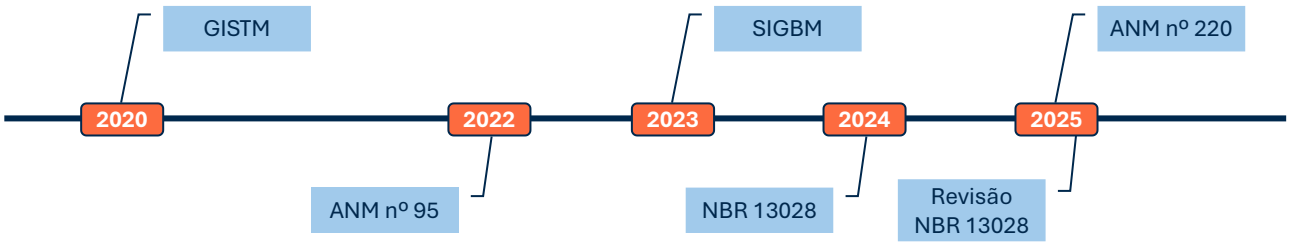


Figura 2. Linha do tempo da evolução normativa e regulatória na Mineração.

Em agosto de 2020, foi lançado o padrão global GISTM com tópicos e princípios detalhados para uma gestão segura de barragens, com o objetivo de zero danos. Este documento tornou-se um marco global, abordando aspectos de governança, projeto, operação, monitoramento, ações de emergências e transparência.

Por conseguinte, em fevereiro de 2022, a ANM publicou a Resolução nº 95, consolidando diretrizes mais completas, no que tange a segurança de barragens no Brasil. Esta resolução definiu diretrizes para o planejamento, construção, operação e desativação, visando a prevenção de acidentes e mitigação de riscos.

Em fevereiro de 2023, implementou-se o cadastramento de informações das barragens no SIGBM. Este movimento permitiu a incorporação de dados técnicos e de monitoramento em um sistema eletrônico público.

No ano seguinte, em agosto de 2024, a norma 13028[2] (Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT) foi revisada, consonante às resoluções da ANM e ao GISTM. Parte do seu escopo foi atualizado, sendo incorporado novos aspectos sobre o gerenciamento de riscos e governança.

Finalmente, em outubro de 2025, a Resolução nº 220[3] (ANM) estabelece um novo marco regulatório nacional. Esta substitui e revoga as resoluções anteriores, enquanto define procedimentos de fiscalização, os critérios técnicos de estabilidade e as obrigações do empreendedor dentro do SIGBM.

A partir da intensificação destas regulações e adesão das grandes mineradoras, há um movimento de transição para uma mineração sustentável, compromissada com o meio ambiente, de respeito às comunidades e, sobretudo, de grande rigor técnico. Este rigor perpassa pelo EdR, figura essencial no âmbito da governança.

2.3 Governança Técnica e o Papel do EdR

A estrutura do GISTM conta com 6 tópicos e 15 princípios. Esses tópicos são organizados em áreas temáticas, dentre as quais têm-se a "Gestão e Governança" (Tópico IV). A estrutura da governança, segundo o GISTM, deve ser fundamentada em seis elementos-chave, sendo o primeiro deles a "Prestação de contas, responsabilidades e competência". Considerando esta abordagem, o Princípio 9 estabelece a habilitação e designação de um profissional responsável (EdR), para atestar a integridade da estrutura conforme normativas.

Em vista disso, o EdR deve atuar como um responsável técnico independente, representando o proprietário perante os órgãos de regulação mineral, respondendo quanto a segurança da instalação de rejeitos. Dentre os papéis do EdR inclui-se verificar a aderência da instalação ao projeto, respeitando as normas e exigências legais. Das atividades do EdR, inclui-se "Inspeções de Segurança de Barragens e relatórios associados. Este também deve participar das avaliações de risco da instalação e estar disponível a revisores

[2] Esta norma passou por uma atualização ao fim de 2025.
[3] Sua aplicação está em periodo de transição, que deve durar até 2027.

independentes e, para instalações com estruturas de retenção, realizar análises de segurança de barragens" (MAC, 2021, p.25).

A Resolução nº 220/2025 (ANM), por sua vez, determina a designação do EdR para "barragens classificadas com DPA2[4] ≥ 4 ou DPA alto". Descreve o profissional ideal como sendo um "profissional externo à empresa, com registro no Conselho Regional de Engenharia e Agronomia (CREA), capaz de apoiar a aplicação dos procedimentos recomendados às boas práticas de segurança, respaldado pelos regulamentos, diretrizes e normas aplicáveis no âmbito nacional e internacional" (ANM, 2025, p.3). Uma síntese de suas atribuições é apresentada na Figura 3.



Figura 3. Atribuições do EdR (Adaptado do GISTM, 2020; MAC, 2021)

Ainda que bem estruturada em normativas e padrões internacionais, a governança precisa ser efetiva em todos os níveis para evitar o descompasso entre o que está formalmente documentado e o que ocorre na prática. É inegável que com o passar do tempo o volume de informações gerenciadas, bem como a forma que o EdR as organiza, interpreta e administra, impacta diretamente a qualidade e a agilidade da tomada de decisão. Considerando ainda que a este cabe "dar soluções rápidas às questões levantadas, alguma das quais podem exigir estudos, investigações e cálculos" (Cruz, 1996, p.102), amplifica a necessidade de ferramentas que possibilitem acesso rápido, rastreável e confiável aos registros técnicos.

3 FERRAMENTAS INOVATIVAS APLICADAS À GESTÃO DE EAR

Nas últimas décadas, há uma valorização crescente em sistemas de inspeção e observação de obras, sobretudo em barragens, visto os elevados custos de implantação, os riscos inerentes, os sensíveis fatores ambientais, os processos degradativos dos materiais e, consequentemente, os impactos disso na segurança da estrutura ao longo do tempo (Cruz, 1996, p. 606). Neste contexto de inspeção, a figura do EdR e a utilização de ferramentas inovativas podem andar lado a lado.

3.1 Inspeções de Campo

Tradicionalmente, as inspeções de campo em barragens são realizadas por meio de vistorias presenciais, com registros fotográficos, anotações em pranchetas ou cadernos de campo e, posteriormente, transcrição dessas para relatórios técnicos. Embora esse método atenda ao objetivo básico, ele apresenta desafios relevantes no que se refere à organização, rastreabilidade e integração dos dados. Destacam-se os principais:

- **Fragmentação das informações**, visto que fotos, relatórios e anotações frequentemente permanecem armazenados em pastas locais, e-mails ou diferentes sistemas, dificultando a consolidação histórica;
- **Ausência de padronização nos registros**, o que pode gerar divergências na descrição de anomalias e dificultar comparações entre inspeções realizadas por profissionais distintos;
- **Dificuldade de análise evolutiva**, pois a comparação entre imagens de diferentes períodos exige busca manual e depende da memória do inspetor;
- **Risco de perda de dados**, especialmente quando armazenados localmente, sem integração a um banco central estruturado ou em função da substituição do inspetor;
- **Tempo elevado de processamento das informações,** considerando registros após o retorno de campo.

[4] DPA2 refere-se a coluna 2 do quadro de citérios de classificação por dano potencial associado (DPA) especificamente ao "Potencial de perda de vidas humanas".

Além disso, essa gestão simplifica limita a visualização integrada da estrutura como um todo. A análise passa a ser predominantemente textual e bidimensional, dificultando a percepção espacial de anomalias, intervenções executadas e evolução de processos, como surgências, erosões ou crescimento de vegetação.

Do ponto de vista técnico, a inspeção de campo deve contemplar, de forma sistemática, aspectos estruturais, geotécnicos, hidráulicos e operacionais, conforme boas práticas consolidadas em diretrizes normativas e guias técnicos nacionais e internacionais para segurança de barragens e estruturas de rejeitos. Entre os principais pontos de atenção que devem ser observados pelo EdR, destacam-se:

- **Condições dos taludes de montante e jusante**, com verificação de trincas, abatimentos, recalques diferenciais, erosões superficiais, escorregamentos localizados ou indícios de instabilidade global;
- **Evidências de surgências**, umidade anômala, áreas encharcadas ou fluxo não previsto em drenos, canaletas, barbacãs e no pé do maciço, avaliando possível alteração no regime de percolação;
- **Integridade e funcionamento de dispositivos de drenagem superficial e interna,** verificando obstruções, carreamento de material fino e assoreamento;
- **Condição das estruturas auxiliares,** como vertedouros, bacias de dissipação, canaletas e acessos;
- **Situação da instrumentação geotécnica,** incluindo leitura, conservação, proteção física e coerência dos dados frente ao comportamento esperado da estrutura;
- **Presença de vegetação com potencial de interferência estrutural,** especialmente em taludes e cristas, considerando o risco associado ao desenvolvimento radicular;
- **Compatibilidade** entre o comportamento observado em campo e os registros históricos de monitoramento, adotando postura crítica frente a quaisquer desvios de tendência.

Essas diretrizes encontram respaldo em publicações técnicas amplamente reconhecidas no âmbito da segurança de barragens e estruturas de rejeitos, como o *Bulletin 177 – Dam Safety Management* da *International Commission on Large Dams* (ICOLD, 2017), as *Guidelines on Tailings Dams* da *Australian National Committee on Large Dams* (ANCOLD, 2019), o *Technical Bulletin – Application of Dam Safety Guidelines to Mining Dams* da *Canadian Dam Association* (CDA, 2019), bem como na série ABNT NBR 13028:2025 e Resolução ANM nº 95/2022, que estabelece requisitos de segurança e atribuições técnicas aplicáveis às estruturas de mineração no Brasil.

3.2 Plataforma de Gerenciamento e Ferramentas Inovativas

Como foi amplamente mencionado, o desafio se apresenta na gestão eficiente da informação, frente os grandes volumes de dados provenientes de múltiplas origens e com diferentes níveis de confiabilidade. Isto torna-se mais crítico em ambientes de alta complexidade, tal qual é o acompanhamento técnico em barragens de mineração, sobretudo as que possuem CRI Alto, estão classificadas em nível ou em descaracterização. Neste cenário, estrutura-se uma plataforma de gerenciamento baseada em metodologias ágeis de gestão de projetos, com função de centralização das informações e de registro dos processos rotineiros do EdR.

Dentro do sistema há possibilidade de customizações e integrações com soluções existentes, como SaaS (*Software as a Service*), *Business Intelligence*, Arcgis, Leapfrog, Civil3D, entre outras. A eficácia da plataforma é substancialmente ampliada pela incorporação dessas geotecnologias, essencias para o EdR. A utilização de dados georreferenciados nesse caso é indispensável, pois garante que cada registro fotográfico, anotação de campo ou anomalia possua uma coordenada espacial exata. A Figura 4 apresenta essa integração.

Para a alimentação desse sistema, incorpora-se o uso de aplicativos *mobile*, como o FieldMaps e o Diário de Obras, que automatizam o registro de dados diretamente em inspeções de campo, associados a uso de drones e câmeras 360º. Conforme Lucieer *et al.* (2014), a integração de Sistemas de Informação Geográfica com essas



Figura 4. Exemplo de aplicações integradas (Arcgis à esq., Fieldmaps centralizado, Leapfrog à dir.)

técnicas de sensoriamento remoto permite a transição de análises bidimensionais estáticas para modelos espaciais dinâmicos e tridimensionais. Assim, as ferramentas de campo deixam de atuar de forma isolada e passam a operar em sinergia em diferentes escalas, mitigando as limitações individuais de cada método isolado.

A tradução dessas informações em dados espaciais integrados permite correlacionar, por exemplo, registros fotográficos com modelos digitais de superfície, identificando variações temporais com alta precisão e rastreabilidade contínua, fatores essenciais na gestão de ativos pelo EdR. Além de garantir tomada de decisão técnica assertiva, estas ferramentas possibilitam inspeção completa e remota da área, que é fator relevante para estruturas com níveis de emergência 2 ou 3 que possuem restrições à Zona de Auto Salvamento (ZAS).

3.3 Implementação nas inspeções

Durante as inspeções regulares, o aplicativo de campo (Field Maps) permite o registro padronizado das observações, fotografias e informações em tempo real, vinculando cada apontamento a coordenadas georreferenciadas (Figura 5 - gerada a partir de algoritmo de inteligência Artificial - IA). A plataforma possibilita a organização espacial das anomalias e elementos da estrutura, facilitando a rastreabilidade e a consolidação histórica desses dados. Integrado ao uso de drone, o aplicativo permite a obtenção de mapeamento de áreas de difícil acesso ou com restrição operacional ou de regiões inseridas na ZAS, ampliando a capacidade de análise com imagens aéreas de alta resolução. Essa integração de registros terrestres e aerofotogramétricos favorece a visualização da EAR, a comparação temporal das condições observadas e a tomada de decisão técnica pelo EdR, com segurança e eficiência.



Figura 5. Integração entre drone e aplicativo Field Maps (Google Gemini, 2026)

A utilização da câmera 360º complementa o processo de inspeção ao possibilitar o registro panorâmico de pontos estratégicos da estrutura, como crista, taludes, ombreiras, sistema extravasor e drenagens. As imagens capturadas são processadas na plataforma DroneDeploy, que permite organizar os levantamentos, realizar navegação imersiva entre os pontos registrados e extrair diferentes visualizações. Embora o levantamento seja realizado em 360º, a plataforma também possibilita a geração de visualizações bidimensionais (2D) a partir dessas capturas panorâmicas.

A ferramenta também possibilita comparação temporal de imagens, a partir de monitoramento da evolução de intervenções através dos registros mensais com coordenadas vinculadas. Essa análise comparativa entre períodos permite visualizar etapas de obras ou modificações na estrutura. A Figura 6 apresenta um exemplo dessa aplicação, com a comparação entre dois registros do mesmo ponto: um anterior à intervenção e outro já com a implantação da melhoria, evidenciando as alterações ocorridas na estrutura.

Adicionalmente, a plataforma possibilita a criação de um link ou QR Code com acesso direto aos dados do levantamento, que também podem ser inseridos nos relatórios mensais de inspeção. Este recurso permite que as partes interessadas acessem rapidamente o conteúdo digital completo, incluindo navegação panorâmica e comparação entre inspeções, ampliando a transparência, a rastreabilidade das informações e a capacidade de análise remota por parte dos responsáveis técnicos.

Do ponto de vista da governança, a centralização dos registros em ambiente digital único proporciona maior transparência interna, facilidade de auditoria e suporte à elaboração de relatórios técnicos e declarações periódicas normativas. A rastreabilidade das informações, associando data, responsável técnico, localização e evidências fotográficas, fortalece o sistema de controle e mitiga a dispersão ou perda dos registros de campo.

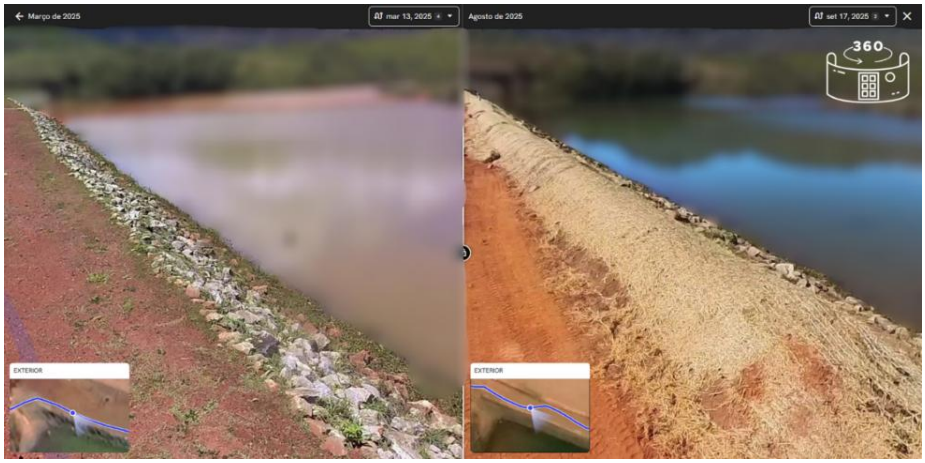


Figura 6. Captura da plataforma DroneDeploy apresentando visualização 2D derivada da câmera 360º.

4 RESULTADOS

No aspecto técnico da plataforma, a efetivação da integração de dados exigiu a superação de dois desafios principais: a centralização de diversas fontes e o grande volume de informações. No que se refere à centralização, foi necessário tratar dados provenientes de diferentes equipes e sistemas, apresentados em formatos estruturados e não estruturados. Isto demandou um processo de tratamento prévio e criação de uma arquitetura robusta, capaz de consolidar e transformar esses dados em valor ao EdR. Ademais, o volume de dados impôs desafios de armazenamento e processamento, sendo crucial a elaboração de uma infraestrutura capaz de garantir a performance das equipes e informações disponibilizadas em tempo hábil. No quesito utilização da plataforma pelo EdR, as ferramentas de drone, câmera 360º, aplicativo de inspeção produziram impactos significativos a nível operacional, nível estratégico e institucional na gestão das EARs.

4.1 Eficiência Operacional e Qualidade Técnica

No âmbito operacional, os resultados observados estão associados à otimização de processos, padronização e qualificação da base de dados. Os registros fotográficos e anotações realizadas, diretamente em campo, eliminam a necessidade de consolidação posterior. Os dados inseridos em base georreferenciada, permite o monirotamento contínuo, de anomalias ou outras ocorrências na estrutura, oferecendo ganhos significativos na tomada de decisão. Agregar dados visuais e georreferenciados embasa esta ação e permite que todas as partes participem ativamente do processo, mesmo que em níveis diferentes de responsabilidade.

Adicionalmente, a criação de paineis de segurança permitem monitorar continuamente as anomalias e atividades, a classificação de criticidade e as recomendações propostas. Considerando ainda que o encerramento de uma anomalia ou atividade deve ser evidenciado com registro fotográfico, no momento do seu encerramento, um simples filtro na Plataforma oferece ao usuário rapidez na busca pela informação.

4.2 Governança, Conformidade e Gestão de Risco

O acompanhamento geotécnico não deve ser previsto apenas para atendimento contratual ou legal, mas sim como provisão de ferramenta útil na avaliação das condições de segurança do empreendimento. Inspeções visuais e outros sistemas de observação devem merecer a devida importância (Cruz, 1996, p. 624). Logo, em nível estratégico, os impactos observados se materializam no fortalecimento do sistema de governança e na maturidade institucional da gestão das EAR. Ou seja, não se trata simplesmente de cumprimento legal.

Entre o diversos ganhos pela integração gerencial, destaca-se a consolidação dos registros em ambiente digital como redutor da fragmentação de dados e potencializador do controle institucional sobre informações críticas da estrutura. Ao mesmo tempo que cumpre exigências normativas relativas à rastreabilidade de inspeções, comprovação de intervenções e manutenção de histórico técnico.

Dessa forma, a manutenção do histórico da estrutura em um portal de acesso disponível a diversos usuários, reduz a dependência ao individuo e garante acesso coletivo ao acervo técnico, mesmo diante de mudanças na equipe. Essa visualização integrada favorece a comunicação entre as equipes multidisciplinares e todas as partes interessadas. Contudo, é válido desctacar que permissões de acessos são versionadas, possibilitando o direcionamento das informações aos respectivos interessados.

4.3 Considerações finais

Os resultados indicam que a adoção das ferramentas tecnológicas ampliam a capacidade de organização e apoiam a análise técnica do EdR. A melhora na qualidade e centralização dos registros, impactam diretamente no fortalecimento da governança, aumento da confiabilidade institucional e maior robustez na gestão. A integração tecnológica, portanto, configura-se como uma ação adicional no que tange a gestão de segurança de barragens, trazendo eficiência operacional. Ainda assim, é importante destacar que essaa inovação não substitui o julgamento técnico do EdR, apenas amplia sua capacidade analítica e agilidade na gestão das EARs.

AGRADECIMENTOS

À TPF Engenharia pelo incentivo à pesquisa e ao desenvolvimento de soluções técnicas que atendam os interesses da coletividade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agência Nacional de Mineração (2026). *Boletim mensal de segurança de barragens de mineração: janeiro 2026*. Brasília, DF.

Agência Nacional de Mineração (2026). *Reporte trimestral: descaracterização de barragens a montante.* Brasília, DF.

Agência Nacional de Mineração (2025). *Sumário mineral 2025: ano-base 2024*. Brasília, DF.

Agência Nacional de Mineração (2022). *Resolução ANM nº 95, de 7 de fevereiro de 2022*. Brasília, DF. Disponível em: < link > . Acesso em: 2 mar. 2026.

Agência Nacional de Mineração (2025). *Resolução ANM nº 220, de 16 de outubro de 2025*. Brasília, DF. Disponível em: < link > . Acesso em: 2 mar. 2026.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2025). NBR 13028. *Mineração – Elaboração e apresentação de projeto de barragens para disposição de rejeitos, contenção de sedimentos e reserva de água – Parte 1: Terminologia; Parte 2: Requisitos; Parte 3: Disposição de rejeitos desaguados em pilhas.* Rio de Janeiro.

Australian National Committee On Large Dams – ANCOLD (2019). *Guidelines on Tailings Dams – Planning, Design, Construction, Operation and Closure.* Sydney.

Canadian Dam Association – CDA (2019). *Technical Bulletin: Application of Dam Safety Guidelines to Mining Dams*. Toronto.

Cruz, P. T. (1996) *100 barragens brasileiras: casos históricos materiais de construção projeto*. São Paulo: Oficina de Textos.

GOOGLE Gemini (2026). Imagem gerada por inteligência artificial.

International Commission On Large Dams – ICOLD (2017). *Bulletin 177: Dam Safety Management – Operational Phase of the Dam Life Cycle.* Paris.

Lucieer, A., Jong, S. M. de, & Turner, D. (2014). *Mapping landslide displacements using Structure from Motion (SfM) and image correlation of multi-temporal UAV photography. Progress in Physical Geography: Earth and Environment*, 38(1), 97-116.

Mining Association of Canada (2021). *Guia para a gestão de instalações de rejeitos. Versão 3.2. Tradução e adaptação: Instituto Brasileiro de Mineração*. Brasília, DF.

Pereira, G. M. (2020). *Acidentes e rupturas de barragens de armazenamentos de água.* São Paulo: ABGE.

Sandroni, S. S.; Guidicini, G. (2021). *Barragens de terra e enrocamento.* São Paulo: Oficina de Textos.

United Nations Environment Programme (UNEP), International Council on Mining and Metals (ICMM) & Principles for Responsible Investment (PRI) (2020). *Global Industry Standard on Tailings Management (Padrão Global para Gestão de Rejeitos)*.