DOI: 10.47094/COBRAMSEG2026.2/15

Gerenciamento Digital de Tailings Storage Facilities

Thiago Franklin Santos de Almeida
Gerente de Produto, TPF Engenharia, Belo Horizonte/MG, Brasil, thiago.almeida@tpfe.com.br

Felipe Leal Barros
Coordenador Corporativo, TPF Engenharia, São Paulo/SP, Brasil, felipe.barros@tpfe.com.br

Julia de Melo Rocha
Diretora de Gestão e Finanças, TPF Engenharia, Recife/PE, Brasil, julia.rocha@tpfe.com.br

Juliana Scanoni Silva
Gerente Corporativa, TPF Engenharia, Recife/PE, Brasil, juliana.scanoni@tpfe.com.br

André Jabir Assumpção
Diretor Executivo, TPF Engenharia, São Paulo/SP, Brasil, andre.jabir@tpf.com.br

RESUMO: A gestão de barragens de rejeitos (Tailings Storage Facilities – TSFs) exige governança, rastreabilidade e confiabilidade de informações em um contexto de elevado volume de dados e múltiplas origens. Este trabalho apresenta e avalia uma abordagem de gerenciamento digital integrado, baseada em plataforma modular em nuvem, para enfrentar quatro desafios recorrentes: (i) volume e diversidade de dados; (ii) padronização; (iii) confiança e rastreabilidade; e (iv) dinamismo de fluxos e processos. A solução organiza as informações em sete eixos temáticos (consolidação de dados, inspeções, segurança geotécnica, hidráulica e operacional, sumário das estruturas e análise de risco) e doze módulos, com governança de acesso, trilhas de auditoria e fluxos de revisão/aprovação. Integra aplicativos móveis para inspeções, consolidação de leituras instrumentais, visualização geoespacial via GeoBIM e painéis analíticos (BI) para suporte ao Engineer of Record (EoR). A eficácia foi verificada pela aplicação em um portfólio de cinco TSFs, em ciclos de feedback com o EoR, com aderência aos requisitos da ANM e aos princípios do Global Industry Standard on Tailings Management (GISTM). Os resultados indicaram ganhos em eficiência, padronização transversal, atualização de dados, redução de esforço manual em relatórios e aumento da rastreabilidade e auditabilidade, fortalecendo a governança e o suporte à decisão.

PALAVRAS-CHAVE: Governança da informação, Rastreabilidade de Dados, Segurança de Barragens, Conformidade Normativa, GISTM.

ABSTRACT: Tailings Storage Facilities (TSFs) management requires strong governance, traceability, and information reliability in a context of large data volumes and multiple sources. This paper presents and evaluates an integrated digital management approach, based on a modular cloud platform, to address four recurring challenges: (i) data volume and source diversity; (ii) standardization; (iii) confidence and traceability; and (iv) dynamic workflows and processes. The solution organizes TSF information into seven thematic axes (data consolidation, field inspections, geotechnical, hydraulic and operational safety, facility summary, and risk analysis) and twelve interconnected modules, supported by access governance, audit trails, and configurable review/approval workflows. It integrates mobile applications for inspections, consolidation of instrumentation readings, geospatial visualization through GeoBIM, and analytical dashboards (BI) to support the Engineer of Record (EoR). Effectiveness was verified through application to a portfolio of five TSFs, using iterative feedback cycles with the EoR, while ensuring adherence to Brazil's National Mining Agency (ANM) requirements and the principles of the Global Industry Standard on Tailings Management (GISTM). Results indicate improvements in operational efficiency, cross-facility standardization, data currency, reduced manual effort for reporting, and increased traceability and auditability, strengthening governance and decision support.

KEYWORDS: Information Governance, Data Traceability, Dam Safety, Regulatory Compliance, GISTM.

1 INTRODUÇÃO

A gestão segura de barragens de rejeitos (Tailings Storage Facilities – TSFs) tem assumido papel central na engenharia geotécnica contemporânea, especialmente após acidentes de grande magnitude que evidenciaram a necessidade de fortalecer os sistemas de governança, monitoramento e tomada de decisão associados a essas estruturas. Estudos internacionais têm destacado que a segurança de TSFs depende não apenas de soluções técnicas adequadas de projeto e operação, mas também da qualidade dos sistemas de gestão da informação utilizados no acompanhamento de seu desempenho ao longo do ciclo de vida (Crous & Marais, 2025; ICMM; UNEP; PRI, 2020; Franks et al., 2021

Nesse contexto, o Global Industry Standard on Tailings Management (GISTM) estabeleceu princípios e requisitos que reforçam a importância da transparência, rastreabilidade e confiabilidade das informações utilizadas no gerenciamento dessas estruturas (ICMM, UNEP & PRI, 2020). De forma complementar, diretrizes internacionais como as propostas pela Mining Association of Canada (2021) destacam que o desempenho esperado na gestão de TSFs depende da combinação entre tecnologias adequadas (Best Available Technology – BAT) e práticas consolidadas de gestão (Best Available/Applicable Practice – BAP). Essa combinação pressupõe a existência de sistemas capazes de integrar informações provenientes de diferentes disciplinas e suportar a tomada de decisão técnica baseada em dados confiáveis e atualizados.

Apesar dos avanços observados nas últimas décadas, o gerenciamento de TSFs ainda enfrenta desafios significativos relacionados à gestão e integração de informações. Diferentes publicações apontam que a intensificação da instrumentação, do monitoramento e da digitalização nas operações de mineração tem ampliado substancialmente o volume de dados disponíveis, provenientes de sistemas diversos, sensores, levantamentos de campo e documentação técnica (UNEP; GRID-Arendal, 2017; Franks et al., 2021). Entretanto, em muitos casos essas informações permanecem fragmentadas em múltiplas bases de dados ou ferramentas isoladas, dificultando a consolidação, interpretação e utilização eficiente desses dados no suporte à gestão das estruturas.

Nesse cenário, quatro desafios principais são frequentemente observados no gerenciamento das informações associadas a TSFs: (i) o grande volume e diversidade das fontes de dados, provenientes de diferentes sistemas e formatos; (ii) a falta de padronização na organização e armazenamento das informações; (iii) a necessidade de garantir confiança e rastreabilidade dos dados, assegurando que as informações utilizadas nas análises correspondam às versões mais atualizadas e devidamente validadas; e (iv) o dinamismo dos fluxos de trabalho, que envolve múltiplas equipes e disciplinas responsáveis pelo monitoramento e gestão das estruturas.

A superação desses desafios tem sido apontada como um dos principais vetores para o avanço da governança de barragens de rejeitos, especialmente no contexto da transformação digital da mineração. Soluções baseadas em integração de dados, geotecnologias, plataformas digitais e ferramentas analíticas têm demonstrado potencial significativo para melhorar a eficiência operacional, a transparência das informações e a capacidade de análise das equipes técnicas responsáveis pela gestão dessas estruturas (Azam & Li, 2010; Bowker & Chambers, 2015; Franks et al., 2021).

Diante desse contexto, este trabalho apresenta o desenvolvimento e a aplicação de uma plataforma digital integrada voltada ao gerenciamento de dados e processos associados às TSFs. A solução foi concebida para consolidar e padronizar informações provenientes de diferentes fontes, garantindo rastreabilidade e confiabilidade dos dados e permitindo sua transformação em indicadores e informações relevantes para o suporte à tomada de decisão.

A abordagem proposta busca contribuir para o fortalecimento da governança das informações associadas às barragens de rejeitos, alinhando-se aos princípios do GISTM e às boas práticas internacionais de gestão de TSFs. A partir da integração de módulos funcionais, ferramentas de análise de dados e geotecnologias, a solução procura responder aos principais desafios relacionados ao volume de dados, padronização das informações, rastreabilidade e dinamismo dos fluxos de trabalho observados no gerenciamento dessas estruturas. A Figura 1 sintetiza a arquitetura conceitual da transformação digital considerada neste trabalho.

Com base nesses desafios, foram definidos os objetivos apresentados a seguir, estruturando a avaliação da abordagem proposta e sua aplicação em um portfólio de TSFs.

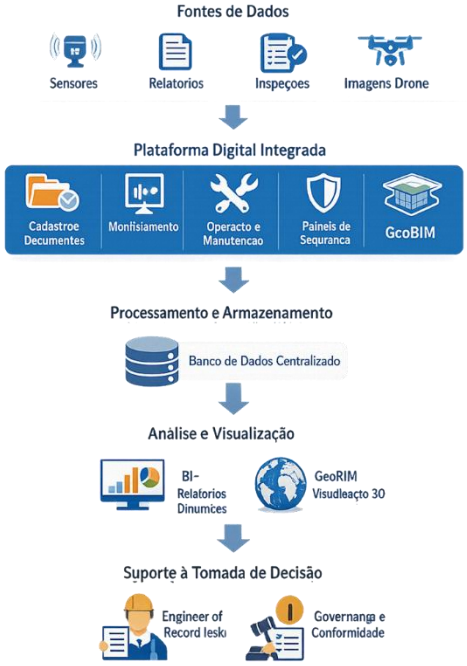


Figura 1. Arquitetura de transformação digital na gestão de TSFs.

2 OBJETIVOS

Esse trabalho teve por finalidade apresentar e avaliar, a partir de aplicação em um portfólio de barragens de rejeitos (Tailings Storage Facilities – TSFs), uma abordagem de gerenciamento digital integrado baseada em plataforma modular em nuvem, orientada à consolidação, padronização, confiabilidade/rastreabilidade e governança de dados e processos, de modo a apoiar o Engineer of Record (EoR) e demais partes interessadas na tomada de decisão técnica e no atendimento aos requisitos regulatórios e aos princípios do Global Industry Standard on Tailings Management (GISTM). De forma específica, teve-se como finalidade:

- Diagnosticar os principais desafios de gestão da informação no gerenciamento de TSFs, com foco em: (i) volume e diversidade de dados; (ii) padronização; (iii) confiança e rastreabilidade; e (iv) dinamismo de fluxos e processos.
- Estruturar um modelo de informação e processos para TSFs organizado em sete eixos temáticos (consolidação de dados, inspeção de campo, segurança geotécnica, segurança hidráulica, segurança operacional, sumário das estruturas e análise de risco), traduzindo necessidades técnicas em requisitos de dados e governança.
- Desenvolver e implementar uma arquitetura digital modular e escalável (plataforma em nuvem), com mecanismos de governança da informação (perfis de acesso, trilhas de auditoria e fluxos de revisão/aprovação), visando garantir integridade, rastreabilidade e atualização contínua dos dados.
- Integrar a captura/validação de dados de campo e monitoramento (aplicativos móveis, inspeções, evidências digitais e consolidação de leituras instrumentais) e habilitar a transformação de dados em informação por meio de relatórios dinâmicos (BI) e visualização geoespacial (GeoBIM), apoiando o EoR e partes interessadas.
- Avaliar os impactos da solução em um portfólio de cinco TSFs, evidenciando ganhos em eficiência operacional, padronização transversal, rastreabilidade/auditabilidade, redução de esforço manual na elaboração de relatórios e aderência ao GISTM e requisitos regulatórios aplicáveis.

3 METODOLOGIA

Segundo o guia da Mining Association of Canada (2021), o alicerce fundamental para atingir a performance e os objetivos esperados na gestão de TSFs consiste na combinação de dois pilares:

1. A utilização de tecnologias e técnicas que sejam economicamente viáveis e reduzam significativamente riscos relacionados à gestão de resíduos (BAT – Best Avaliable Technology).
2. A definição de sistemas de gestão, técnicas e procedimentos que comprovadamente demonstraram por meio da sua aplicação um grau efetivo de confiabilidade no que tange ao gerenciamento de riscos relacionados à gestão de resíduos (BAP – Best Available/Applicable Practice).

Partindo desse pressuposto, a combinação de um sistema robusto, capaz de unir tecnologias variadas capazes de suportar efetivamente a gestão de TSFs, aliado a um corpo técnico experiente, com processos e práticas bem definidas, constituem os vetores fundamentais para uma gestão eficiente e digitalizada.

Antes de adentrar nas nuances específicas da plataforma digital apresentada, vale ressaltar brevemente o contexto inicial da sua concepção. Em suma, ao avaliar criticamente o cenário de apoio ao gerenciamento de barragens de rejeitos em uma grande empresa de engenharia consultiva, o cenário identificado foi o de um time amplamente qualificado, com processos bem definidos, e que já se utilizava de um pequeno conjunto de soluções tecnológicas descentralizadas, focadas majoritariamente em questões pontuais, como, por exemplo, a digitalização do processo de inspeções de campo.

Nesse contexto, o primeiro passo rumo à construção da solução foi o estabelecimento de uma equipe multidisciplinar de consultores, composta por engenheiros especialistas em diferentes áreas, incluindo: Business Intelligence, desenvolvimento de sistemas digitais, geoprocessamento, gerenciamento de barragens de rejeito e inovação, cujo propósito inicial seria avaliar profundamente os processos e atividades das equipes envolvidas diretamente no dia a dia do gerenciamento de TSFs, identificando todas as disciplinas envolvidas no processo, a estrutura de processos consolidados, o fluxo de dados, as tecnologias utilizadas, gargalos existentes e possíveis oportunidades de melhoria.

Como resultado dessa avaliação, foi percebido que embora existisse uma ampla gama de processos envolvidos no gerenciamento de TSFs, os principais desafios poderiam ser resumidos em 4 frentes, conforme descrito a seguir:

1. **Volume e diversificação das fontes de dados:** Grandes volumes de dados recebidos para processamento e análise, oriundos de fontes variadas (softwares, relatórios, documentos, dentre outros), as quais nem sempre eram de fácil acesso e interpretação para as equipes.
2. **Padronização:** Em muitas oportunidades, um mesmo tipo de dado era recebido em formatos diferentes, a depender da sua origem.
3. **Confiança e rastreabilidade:** Apesar do dado estar disponível/acessível, era difícil verificar se aquela era a versão mais atualizada da informação, ou até mesmo se aquele dado foi validado previamente.
4. **Dinamismo de fluxos e processos:** Sem o apoio de soluções tecnológicas centralizadas, o dinamismo dos fluxos constituía um desafio no estabelecimento de rotinas das equipes.

Além dos desafios listados acima, outra importante informação identificada no processo de consultoria foi a natureza dos dados acompanhados no contexto de gestão de barragens de resíduos. De modo geral, apesar da grande variedade de informações necessárias, era possível estruturá-las em uma EAP com sete eixos temáticos, nominalmente: consolidação de dados, inspeção de campo, segurança geotécnica, segurança hidráulica, segurança operacional, sumário das estruturas e análise de risco.

Combinando os desafios encontrados com a identificação e categorização de todos os tipos de informações acompanhadas, o passo final rumo à concepção foi o alinhamento da arquitetura da solução a um conjunto de boas práticas e normativas capazes de sustentar a sua coluna dorsal. Nesse sentido, a avaliação dos princípios citados no GISTM (Global Industry Standard on Tailings Management), um dos guias mais relevantes no que tange ao gerenciamento de barragens de rejeito, constituiu o elemento final para a estruturação da ferramenta.

A solução foi desenvolvida utilizando-se de uma infraestrutura 100% em nuvem, pautada na utilização de tecnologias como: base em plataforma low-code (propiciando agilidade no desenvolvimento), bancos de dados SQL Server (permitindo a consolidação de um grande volume de dados), integração com ferramentas de geoprocessamento (permitindo a incorporação de voos de drone, tour virtual e modelos BIM

georreferenciados), construção de relatórios dinâmicos (integração ao Power BI) e aplicativos mobile (digitalização de inspeções de campo).

A plataforma conta com 12 módulos funcionais, capazes de operar de maneira independente ou integrada, e diretamente alinhados aos princípios do GISTM, conforme apresentado na Figura 2:

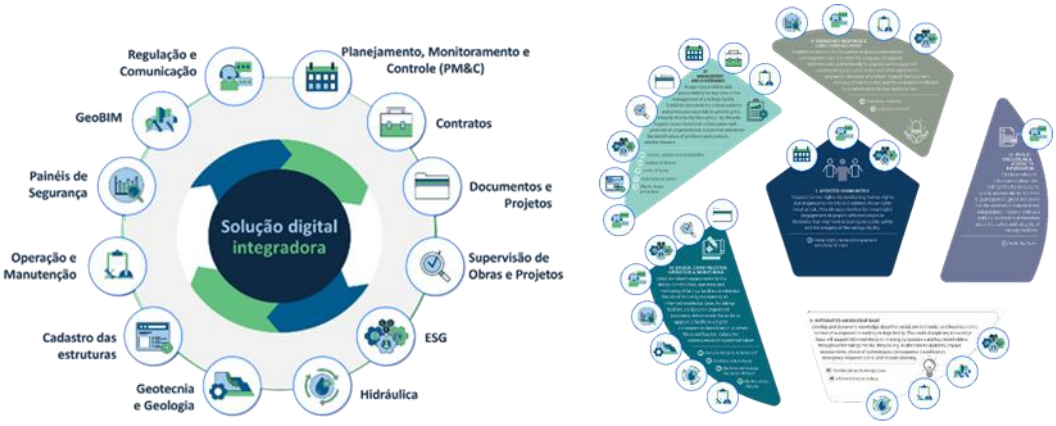


Figura 2. Módulos da Solução x Princípios GISTM

4 RESULTADOS

Ao avaliar a utilização da solução digital no apoio ao gerenciamento de diferentes TSFs, foi possível observar claramente os principais impactos nas rotinas das equipes. O foco da observação foi destinado principalmente aos 4 principais desafios identificados durante a concepção da plataforma, nominalmente: Volume e diversificação das fontes de dados, Padronização, Confiança e Rastreabilidade, Dinamismo de Fluxos e Processos.

De modo a facilitar a observação dos resultados, a avaliação de impactos será feita de maneira correlata a cada um dos desafios, buscando destacar de maneira clara e objetiva como a plataforma contribuiu em cada um deles.

Iniciando pelo desafio enfrentado pelas equipes no acesso estruturado e facilitado a um grande volume de dados, oriundos de várias fontes, é imprescindível destacar a importância da ferramenta. Por contar com uma ampla gama de módulos voltados ao registro e recebimento estruturado de informações das mais diversas naturezas, a plataforma constituiu uma aliada fundamental na consolidação de todos os dados em um único ambiente (banco de dados).

Antes da utilização da plataforma, a maior parte dos dados de entrada eram recebidos e armazenados em planilhas de Excel, com formatos bastante variados, e pouca trabalhabilidade, especialmente em um contexto em que são recebidos centenas de milhares de registros mensalmente, utilizar-se de ferramentas pouco escaláveis começava a se tornar um gargalo relevante na condução das atividades e na elaboração dos entregáveis. Além disso, por se tratar de uma solução digital acessível a partir de qualquer navegador por usuários devidamente habilitados, o processo de consulta da informação bruta tornou-se muito mais célere, uma vez que a necessidade de realizar incessantes buscas pela localização de planilhas foi substituída pelo simples ato de consulta nos diferentes módulos voltados à entrada de dados. A Figura 3 demonstra de modo simplificado um dos fluxos de registro de dados na plataforma:

Sob a ótica do desafio de Padronização, observou-se novamente o papel essencial exercido pela plataforma. Ao criar ambientes padronizados de registros dos dados, via cadastros em tela ou importação em massa a partir de templates bem definidos, foram estabelecidos padrões únicos de organização dos diferentes tipos de dados de entrada no sistema, contribuindo diretamente para o estabelecimento de um padrão transversal à todas as equipes acompanhadas, contribuindo para fatores como: linguagem universal das equipes (dados estruturados de maneira idêntica para todas as estruturas), facilidade de integração de novos membros no ciclo de gerenciamento (padrões conhecidos facilitam a familiarização), visão transversal de várias TSFs (organizadas sob os mesmos padrões e consolidadas em um mesmo banco de dados), homogeneização de entregáveis (relatórios idênticos para todas as equipes).

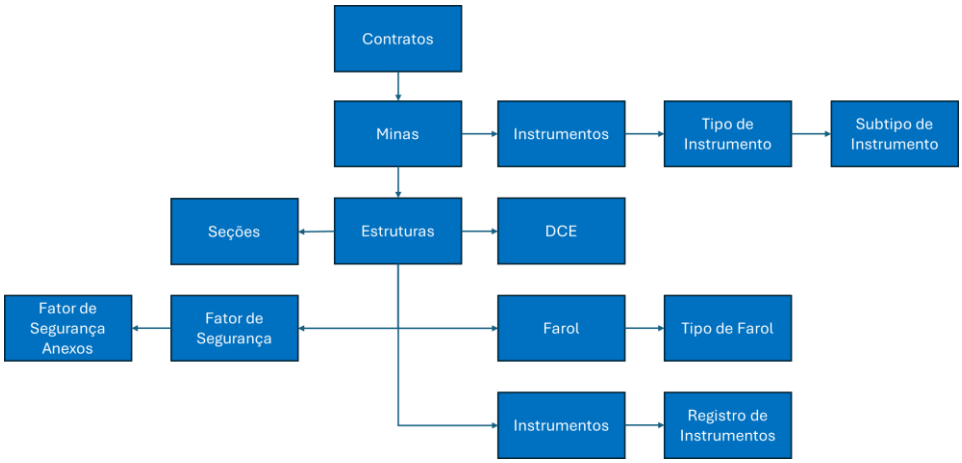


Figura 3. Fluxo de registro de informações na plataforma (Módulo - Cadastro de estruturas)

No que tange à Confiança e Rastreabilidade e ao Dinamismo de Fluxos e Processos das informações, a plataforma proporciona o estabelecimento de fluxos de revisão/aprovação personalizáveis de todos os dados registrados na ferramenta, garantindo, por exemplo, a análise prévia do EoR antes da consolidação definitiva dos dados no banco da plataforma. Ao estabelecer fluxos controlados de entrada, revisão e aprovação de dados brutos de entrada, a plataforma permite às equipes identificarem o status de avaliação de uma determinada informação e a versão mais recente de um documento, garantindo que o dado consolidado no banco de dados seja de fato confiável e atualizado. Além disso, a plataforma conta com um registro histórico de todas as ações realizadas no sistema, permitindo identificar "quando?", "quem?" e "qual foi a ação realizada?", garantindo assim um rastreio completo de todas as atividades realizadas, contribuindo para a realização de auditorias referentes ao fluxo da informação no sistema, e prezando pela integridade de todos os dados armazenados.

A criação de uma plataforma capaz de consolidar um grande volume de dados de diferentes naturezas, de maneira padronizada e bem estruturada, com fluxos controlados de trabalho e módulos integrados à tecnologias como o GeoBIM e o Power BI trouxe consigo outro importante resultado, uma ampla capacidade de transformar dados brutos em indicadores e informações valiosas de forma muito mais eficiente.

A consolidação de um banco de dados único com todas as informações necessárias ao gerenciamento de TSFs, possibilitou a construção de relatórios BI desenvolvidos sob medida de acordo com as necessidades das equipes acompanhadas. Relatórios robustos, dinâmicos e atualizados automaticamente, conforme as informações são alimentadas na plataforma. Através de integração ao Power BI, os relatórios construídos são alocados dentro da própria plataforma, em módulos transversais como Painéis de Segurança e Planejamento, Monitoramento e Controle. O acesso facilitado a estes relatórios provou-se um forte aliado na condução das rotinas das equipes, permitindo que elas dedicassem menos tempo em atividades manuais de consolidação e atualização de relatórios e direcionassem um maior esforço a atividades de interpretação e consolidação técnica das análises realizadas.

Por fim, o módulo GeoBIM trouxe inteligência geográfica como um forte aliado às análise realizados pelas equipes, permitindo a criação de um SIG capaz de consolidar as informações registradas nos demais módulos em uma visão espacial única, permitindo também: a visualização de dados oriundos de levantamentos realizados com o auxílio de aplicativos mobile, câmeras 360º e drones, a visão georreferenciada de modelos BIM tratados em outras ferramentas consolidadas no mercado, como o Leapfrog e a integração direta com camadas de domínio público e/ou privado (Geologia Regional, Manchas de Inundação, Bacias Hidrográficas, dentre outras). Na Figura 4 são apresentados outputs visuais da plataforma.

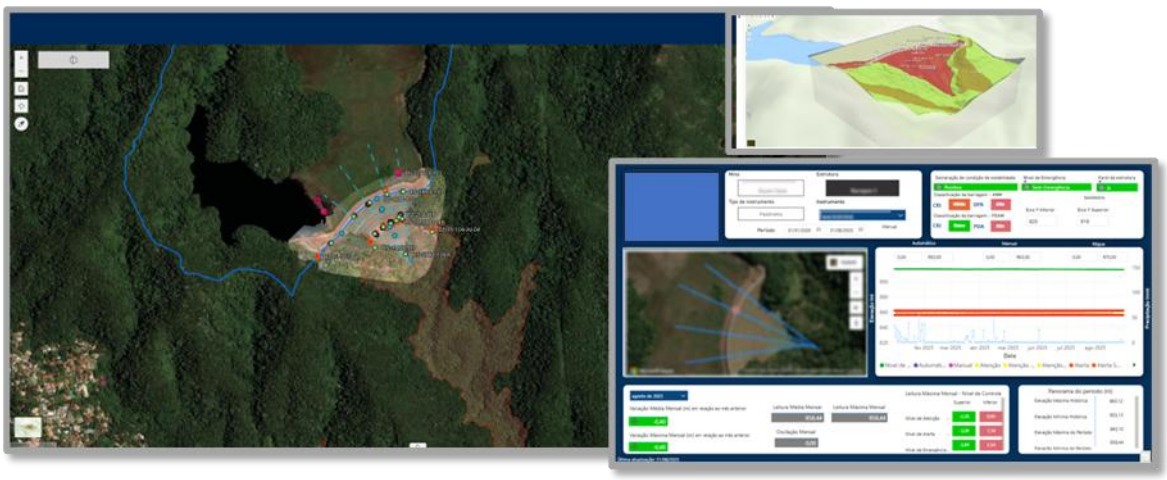


Figura 4. Outputs da plataforma (Módulos – GeoBIM e Painéis de Segurança)

5 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

Este trabalho apresentou e avaliou uma abordagem de gerenciamento digital integrado aplicada à gestão de *Tailings Storage Facilities* (TSFs), estruturada para enfrentar desafios recorrentes de gestão da informação ao longo do ciclo de vida dessas estruturas. A crescente complexidade do gerenciamento de TSFs — marcada por elevado volume de dados, múltiplas fontes e diferentes níveis de confiabilidade — exige soluções que fortaleçam a governança, a rastreabilidade e a disponibilidade de informações para suportar análises técnicas e decisões críticas. Nesse contexto, os resultados obtidos reforçam a relevância da transformação digital como vetor para reduzir fragilidades operacionais e elevar a robustez dos processos de gestão, com suporte ao atendimento a requisitos regulatórios aplicáveis e aos princípios do *Global Industry Standard on Tailings Management* (GISTM).

Em termos de atendimento aos objetivos propostos, observou-se que a abordagem contribuiu para mitigar os principais gargalos associados à gestão da informação em TSFs, por meio da consolidação e padronização de registros, do fortalecimento da confiabilidade e rastreabilidade dos dados e da organização de fluxos de trabalho dinâmicos e auditáveis. A consolidação de informações em um banco de dados único e disciplinar reduziu a dispersão de registros e a dependência de bases heterogêneas, viabilizando maior agilidade e consistência na consulta e utilização dos dados. A padronização de ambientes de registro e importação (via templates e cadastros estruturados) favoreceu linguagem transversal entre equipes e estruturas, contribuindo para a homogeneização de entregáveis e a escalabilidade do processo de gestão em portfólios com múltiplas TSFs.

Adicionalmente, mecanismos de governança incorporados — tais como controle refinado de permissões, trilhas de auditoria e fluxos configuráveis de revisão/aprovação — demonstraram impacto direto na confiabilidade e rastreabilidade das informações, permitindo identificar com clareza a versão vigente de documentos e dados, bem como o histórico de ações (“quem”, “quando” e “o que”). Esses elementos são particularmente relevantes para o suporte ao *Engineer of Record* (EoR), ao reduzir incertezas associadas à atualização e validação dos registros utilizados em análises, recomendações e reportes técnicos.

A integração entre captura de dados de campo e monitoramento (aplicativos móveis, inspeções e consolidação de leituras instrumentais) e recursos analíticos e geoespaciais (BI e GeoBIM) ampliou a capacidade de transformação de dados brutos em informação útil, com ganhos de eficiência operacional e redução de esforço manual para consolidação e atualização de relatórios. Observou-se, assim, que o tempo das equipes pode ser redirecionado de tarefas operacionais repetitivas para atividades de interpretação técnica, verificação crítica e tomada de decisão, reforçando a qualidade do processo de gestão.

Em síntese, as principais contribuições deste trabalho podem ser consolidadas em quatro pontos: (i) demonstrar, por meio de aplicação em portfólio, que uma abordagem digital integrada pode mitigar gargalos típicos de gestão de TSFs associados ao volume e diversidade de dados, ao consolidar informações multidisciplinares em base única e acessível; (ii) evidenciar que a padronização de cadastros, templates e

estruturas de registro favorece consistência transversal entre equipes e estruturas, com impactos diretos na escalabilidade e na homogeneização de entregáveis; (iii) evidenciar que mecanismos de governança, rastreabilidade e auditabilidade, incluindo perfis de acesso, trilhas de auditoria e fluxos de revisão/aprovação, fortalecem a confiabilidade da informação e reduzem incertezas relevantes para o EoR; e (iv) indicar que a integração entre captura digital de campo, consolidação de monitoramento, painéis analíticos (BI) e visualização geoespacial (GeoBIM) amplia a capacidade de transformar dados em informação para suporte à decisão, com ganhos de eficiência e direcionamento do esforço das equipes para análise técnica. Esses achados reforçam o potencial da transformação digital para elevar a governança e a segurança na gestão de TSFs, em alinhamento com os princípios do GISTM e com requisitos regulatórios aplicáveis.

Como recomendação para trabalhos futuros, sugere-se ampliar a quantificação dos ganhos observados por meio de indicadores comparativos (por exemplo, tempo de inspeção e emissão de relatórios, completude de registros e métricas de rastreabilidade), bem como aprofundar a integração com sistemas corporativos e rotinas de auditoria, de modo a fortalecer a avaliação do impacto da digitalização na segurança e na governança de TSFs.

AGRADECIMENTOS

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

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Azam, S.; Li, Q. (2010) Tailings dam failures: a review of the last one hundred years. *Geotechnical News*, v. 28, n. 4, p. 50–54.

Bowker, L. N.; Chambers, D. M. (2015) *The risk, public liability, and economics of tailings storage facility failures*. Earthworks. Disponível em: https://files.dnr.state.mn.us/input/environmentalreview/polymet/request/exhibit3.pdf. Acesso em: 22 nov. 2025.

Crous, C.; Marais, L. (2025) Transparency of reporting on tailings storage facilities by the six largest members of the International Council on Mining and Metals. *Resources Policy*, v. 111, art. 105784. DOI: 10.1016/j.resourpol.2025.105784. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301420725003265. Acesso em: 06 mar. 2026.

Franks, D. M. et al. (2021) Tailings facility disclosures reveal stability risks. *Scientific Reports*, v. 11, 5353. DOI: 10.1038/s41598-021-84897-0.

ICMM; UNEP; PRI (2020) *Global Industry Standard on Tailings Management*. Global Tailings Review. Disponível em: https://globaltailingsreview.org/wp-content/uploads/2020/08/global-industry-standard-on-tailings-management.pdf. Acesso em: 13 jan. 2026.

Mining Association of Canada (2021) *A guide to the management of tailings facilities*. Version 3.2 (March 2021). Mining Association of Canada, Ottawa. Disponível em: https://mining.ca/wp-content/uploads/dlm_uploads/2021/06/MAC-Tailings-Guide-Version-3-2-March-2021.pdf. Acesso em: 06 jan. 2026.

UNEP; GRID-Arendal (2017) *Mine tailings storage: safety is no accident*. United Nations Environment Programme (UNEP) / GRID-Arendal. Disponível em: https://miningwatch.ca/sites/default/files/2017-11-unepgrid-minetailingssafety-finalreport_0.pdf. Acesso em: 06 mar. 2026.