

DOI: 10.47094/COBRAMSEG2024/464

## Geotecnia 4.0: Planejamento, Controle e Inovação

Marieli Biondo

Doutora em Geotecnia, Vale S.A, Belo Horizonte, Brasil, [marieli.lopes@vale.com](mailto:marieli.lopes@vale.com)

Rafael Cristiano Piton

Engenheiro Geotécnico, MCA Consultoria e Auditoria, Belo Horizonte, Brasil, [c0667524@vale.com](mailto:c0667524@vale.com)

Mateus Moller Nogueira

Engenheiro Civil, Vale S.A, Belo Horizonte, Brasil, [mateus.nogueira@vale.com](mailto:mateus.nogueira@vale.com)

Marlusa Cristina Welter Schafer

Engenheira Civil, Vale S.A., Belo Horizonte, Brasil, [marlusa.cristina.welter@vale.com](mailto:marlusa.cristina.welter@vale.com)

Juliana Carneiro Heberle

Engenheira Geóloga, Grupo Marques & Carneiro, Buenos Aires, Argentina, [julianamarquesc@gmail.com](mailto:julianamarquesc@gmail.com)

**RESUMO:** A gestão das investigações geotécnicas na mineração normalmente é realizada por cada área de engenharia que demanda a necessidade com fluxos independentes e descentralizados. Após as revisões normativas e legislativas na mineração, o aumento das sondagens geotécnicas mais que triplicou, atingindo marcos anuais da empresa acima de 90km. Para garantir que todas as campanhas sejam realizadas dentro dos prazos e com qualidade de parâmetros que alavanquem projetos geotécnicos com maturidade técnica, foi estabelecido um fluxo matricial desde o mapeamento das necessidades de cada área até a entrega dos testemunhos e relatórios geotécnicos. A área requisitante cadastra a campanha em aplicativo específico com *gates* de governança que geram, por meio da utilização do GDMS, um chave-primária para cada furo de sondagem e impede a falta de rastreabilidade e desvio de informações. Após a inserção da programação no banco de dados, as sondas são planejadas de acordo com a especificidade da estrutura geotécnica e produtividade mapeada para cada tipo de projeto. Durante a execução da campanha, a área demandante recebe as informações de campo no dia seguinte da execução, diretamente do banco de dados que pode ser visualizada por meio de mapas em GIS e PowerBI com estratigrafia do terreno de acordo com os resultados dos ensaios. A equipe de execução das sondagens recebe as informações no mesmo prazo e acompanha visualmente em Centros de Monitoramento especializados. A criação do fluxo matricial permitiu: gerenciar mais de 100 sondas geotécnicas operando simultaneamente no Brasil; entregar todas as campanhas mapeadas no prazo solicitado; executar mais de 6km além do previsto; entregar todos os resultados geotécnicos por meio de relatórios, mapas e Power BIs *fulltime* com a execução; garantir a rastreabilidade dos furos e reduzir o número de investigação por meio da sustentabilidade e reutilização de dados em projetos.

**PALAVRAS-CHAVE:** Geotecnia 4.0, Investigações Geotécnicas, Banco de Dados, Inovação.

**ABSTRACT:** The management of geotechnical investigations in mining is usually carried out by each engineering area that demands the need with independent and decentralized flows. After the regulatory and legislative revisions in mining, the increase in geotechnical drilling more than tripled, reaching annual milestones above 90km. To ensure that all campaigns are carried out within the deadlines and with quality parameters that leverage geotechnical projects with technical maturity, a matrix flow was established from the mapping of the needs of each area to the delivery of cores and geotechnical reports. The requesting area registers the campaign in a specific application with governance gates that generate, through the use of GDMS, a “primary key” for each borehole and prevents the lack of traceability and diversion of information. After entering the schedule into the database, the drills are planned according to the specificity of the geotechnical structure and mapped productivity for each type of project. During the execution of the campaign, the demanding area receives the field information on the day after the execution, directly from the database that can be visualized through GIS and PowerBI maps with stratigraphy of the terrain according to the results of

the tests. The team that executes the surveys receives the information within the same deadline and visually monitors it in specialized Monitoring Centers. The creation of the matrix flow allowed us to: manage more than 100 geotechnical drills operating simultaneously in Brazil; deliver all mapped campaigns within the requested timeframe; run more than 6km more than planned; deliver all geotechnical results through reports, maps and Power BIs full-time with the execution; Ensure the traceability of boreholes and reduce the number of investigations through sustainability and reuse of data in projects.

**KEYWORDS:** Geotechnics 4.0, Geotechnical Investigations, Database, Innovation.

## 1 INTRODUÇÃO

Após os acidentes com barragens de rejeitos em 2015 e 2019, muitas alterações de leis foram realizadas e aprovadas em diferentes órgãos regulamentadores, principalmente pela ANM (Agência Nacional de Mineração) e por Leis Federais (alteração de Lei nº 14.066:2020).

Segundo a Lei nº 14.066:2020, as investigações geotécnicas devem ser realizadas para conhecimento e reconhecimento de maciços das barragens existentes, assim como a necessidade de novos projetos para reforços estruturais. A obrigatoriedade de descaracterizar todas as barragens de alteamento a montante demandaram novas concessões de projetos para disposições de rejeito, como as opções de rejeitos filtrados em pilhas específicas, o que também aumentou a necessidade de maiores investigações geotécnicas de fundação e jazidas.

Em 2021, a demanda de sondagens geotécnicas na Vale S.A era de mais 70km de perfuração, combinados com instalação de instrumentos, coletas de amostras e ensaios *in situ*. Nesse momento o mercado não estava preparado para o aumento da demanda condicionados aos prazos apertados e incrementos de segurança nos equipamentos. Para que fosse possível realizar a gestão de toda a frota de sondas, com contratos eficientes e qualidade de toda operação, uma nova diretoria foi criada (Diretoria de Serviços de Sondagem).

Nos anos seguintes, 2022 e 2023, foram executados 88km e 97km respectivamente. Já, para o ano de 2024, a demanda de sondagem geotécnica planejada foi de 98km, somando mais de 350km nos últimos quatro anos, com um parque de 100 sondas (sondas mistas, tripés, CPTus e CPTus remotos).

O desafio de gerenciar tantas demandas e equipamentos com segurança, qualidade e no prazo exigiu que um fluxo assertivo fosse implantado, desde o planejamento das campanhas pelas áreas clientes e suas projetistas até a entrega dos relatórios de sondagem aos mesmos *stakeholders*. O maior ganho da implantação desse fluxo além de melhorar a produtividade, permitindo realizar 6km acima do previsto e com o mesmo custo e parque de sondas, foi a criação e manutenção de banco de dados com todas as informações dos furos que atualmente possuem uma chave-primária de identificação e permite à Vale reutilizar os dados, otimizando em mais de 20% os projetos geotécnicos.

## 2 PROGRAMA GEOTECNIA 4.0

O Programa Geotecnia 4.0 é um conjunto de projetos que integra diferentes fases da sondagem geotécnica na Vale S.A utilizando para isso processos de gestão e ferramentas de automatização. Conforme ABGE (2021), as fases das investigações geológico-geotécnicas são divididas em quatro etapas principais: planejamento, execução, apresentação dos dados, análise e integração dos dados, a Figura 1 apresenta o fluxo de todas as etapas da sondagem geotécnica dentro da VALE, cada uma com sua governança e processo de gestão. A Etapa 1 ocorre na fase de engenharia, onde são definidas as necessidades de investigação geotécnica e os prazos de entrega das campanhas para avanço nos projetos (conceitual, básico e/ou detalhado). A Etapa 2 acontece em várias fases do processo e que segue o guia de boas práticas para investigações geológico-geotécnicas da ABGE (2021) onde ocorrem as etapas de pesquisa, compilação e avaliação de informações existentes de interesse ao projeto, onde os dados são espacializados utilizando uma ferramenta de geoprocessamento (GIS, por exemplo). A segunda etapa visa o objetivo da VALE de campanhas mais otimizadas e a sustentabilidade dos dados.

As Etapas 3 e 4 são fases do processo comum de engenharia, que é a elaboração de planos de sondagem ou especificações técnicas que, de acordo com a ABGE (2021), devem ser completas e conter todos os dados necessários para a execução das investigações, sendo uma das fases onde acontecem as falhas mais comuns de

detalhamento no processo de planejamento de campanhas. Todos os documentos de engenharia necessitam de numeração de controle e rastreabilidade utilizando plataformas comerciais ou próprias (GED e SDX). Todos os furos de sondagem indicados nas especificações técnicas recebem uma numeração denominada de “chave-primária” que nunca se repete e são geradas pela equipe de Banco de Dados (Etapa 5).

Após encerrado todos os fluxos de engenharia, a demanda de sondagem é cadastrada na DI de Serviços de Sondagem da Vale S.A em aplicativo que automatiza o *workflow* de aprovação (Etapas 6 e 7). Por fim, a campanha é executada dentro dos prazos acordados (Etapa 8) e ao final, todos os resultados são postados em formato de relatórios finais de campanha (GED e SDX), estes segundo a NBR 6484:2020 devem se assinados por responsável técnico habilitado pelo CREA, nesta etapa, são entregues todos os dados da campanha realizada, nele, são garantidos todos os itens solicitados na norma. Os relatórios também são disponibilizados no Banco de Dados (GDMS) e espacializados em GIS (Etapa 9). Os Itens 3 e 4 irão detalhar cada um dos processos resumidos no *roadmap* da Figura 1.

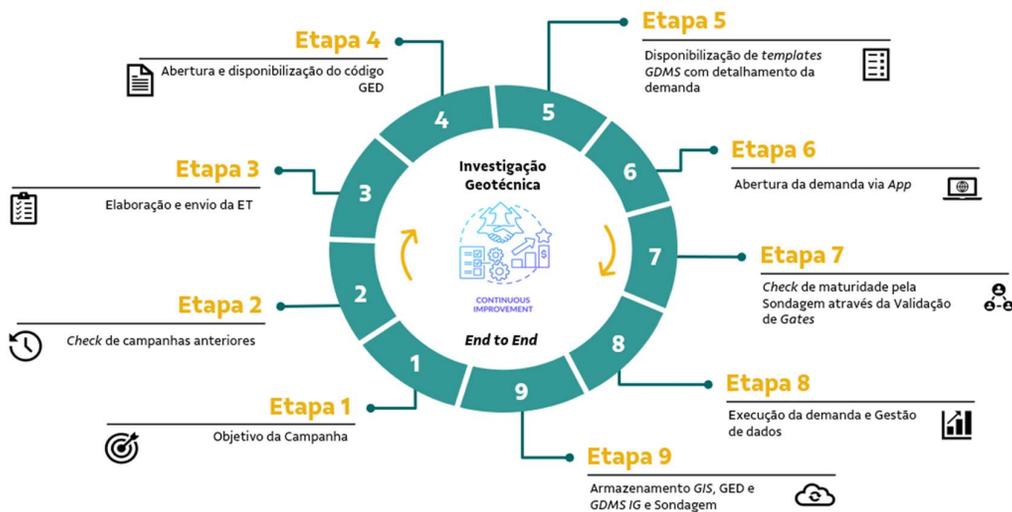


Figura 1. Roadmap – Fluxo de planejamento, controle e qualidade da sondagem geotécnica (arquivo Vale S.A)

Com o intuito de consolidar e integrar o fluxo apresentado na Figura 1, o Programa Geotecnia 4.0 foi dividido nos projetos da Figura 2:

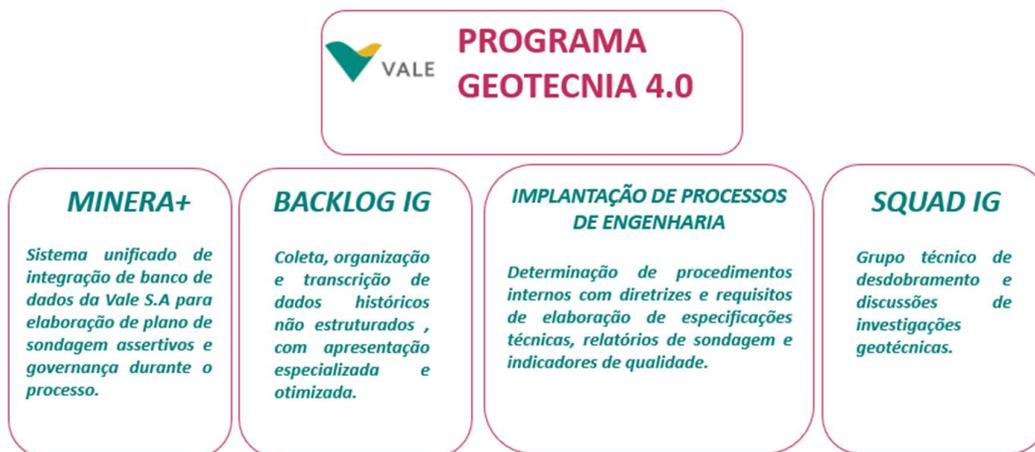


Figura 2. Programa Geotecnia 4.0 e seus projetos (elaborado pelos autores).

O *Minera+* é um projeto de Inovação Aberta que está em andamento com incubadoras da indústria da Mineração com objetivo de unificar diferentes bancos de dados da Vale S.A, de diferentes áreas, com uso de inteligência artificial que cria um *workflow* eficiente no processo de engenharia, com governança de cada uma das fases para elaboração de planos de sondagem assertivos. Com a implantação do *Minera+*, espera-se acelerar projetos da companhia, reduzindo cronograma de execução de sondagem, revisões de documentos de engenharia e retrabalhos pela alteração de metodologias construtivas.

O projeto *Backlog Investigações Geotécnicas* também está em andamento com incubadoras dentro do Ecossistema de Inovação Aberta. O projeto possui duas frentes de trabalho em que a primeira consiste em coletar os dados históricos da Vale S.A que não estão estruturados e armazenados no GDMS, organizar esses dados e transcrever boletins de sondagem manuscritos com uso de inteligência artificial (Inovação Aberta). A segunda frente de trabalho é a espacialização dos dados em GIS para otimização de campanhas geotécnicas. Atualmente, duas estruturas prioritárias da Vale S.A tiveram suas campanhas otimizadas com redução de até 20% em relação à metragem. É importante ressaltar que o projeto *Backlog IG* irá tratar uma parte do projeto *Minera+* (banco de dados de sondagem geotécnica), sendo conectado ao sistema unificado, assim que estiver encerrado.

O projeto de *Implantação de Processos de Engenharia* elabora, padroniza e qualifica a engenharia de sondagem desde a captura da demana (Especificação Técnica) até a saída de dados por meio do Relatório Final de Sondagem Geotécnica. A Especificação Técnica elaborada por Projetistas contratadas ou área cliente, seguem diretrizes mínimas de itemização e organização das informações necessárias para planejamento e execução das sondagens. Da mesma forma, os Relatórios Finais de Sondagem possuem os requisitos mínimos de entrega de informações para os projetos, contemplando o prazo para entrega em todas as plataformas da Vale S.A (GED, SDX, GDMS).

E por fim, o projeto de *Squad de Investigações Geotécnicas* é composto por reuniões de trabalho com equipe multidisciplinar técnica, de diferentes diretorias e gerências da Vale S.A que visa discutir e promover melhorias nas sondagens geotécnicas.

Todos os projetos são estruturados em *MSPProject*, com *site* de organização de evidências para encerramento das tarefas e reuniões semanais de trabalho e atualização. A Figura 3 apresenta a estrutura de cronograma dos projetos de Geotecnia 4.0 com linha de base salva:



Figura 3. Cronograma de projeto no *MSPProject* (elaborado pelos autores).

A Figura 4 apresenta o site do projeto com toda documentação em formato de arquivo e organizado para evidências da finalização das tarefas:



Figura 4. Site do projeto com organização de documentos (elaborado pelos autores).

### 3 PLANEJAMENTO E CONTROLE OPERACIONAL DE SONDAAGEM GEOTÉCNICA

Segundo a NBR 15492:2007, antes da definição do método de sondagem, um profissional habilitado deve realizar um estudo de todos os fatores que podem ser encontrados durante a sondagem, devido este fato o planejamento é realizado em conjunto com as equipes de operações, para definição do melhor equipamento para cada campanha.

A Diretoria de Serviços de Sondagem da Vale S.A. iniciou suas atividades em 2021 com foco em redução de custos de operação, aumento da segurança e qualidade da entrega de investigações geotécnicas, bem como a implementação de banco de dados para projetos futuros. No ano de 2022 foram executados 75 km de sondagens geotécnicas, no início de 2023 foram previstos 88 km de campanhas, sendo que ao final do mesmo ano foram executados 97 km (aumento de 10%). Para 2024, a Vale S.A. está prevendo a execução de 98 km de sondagens, contando com um parque de 122 equipamentos, atendendo 16 clientes internos e de 16 empresas fornecedoras de serviços de sondagem. A Figura 5 apresenta o cronograma de sondagem geotécnica para 2024:

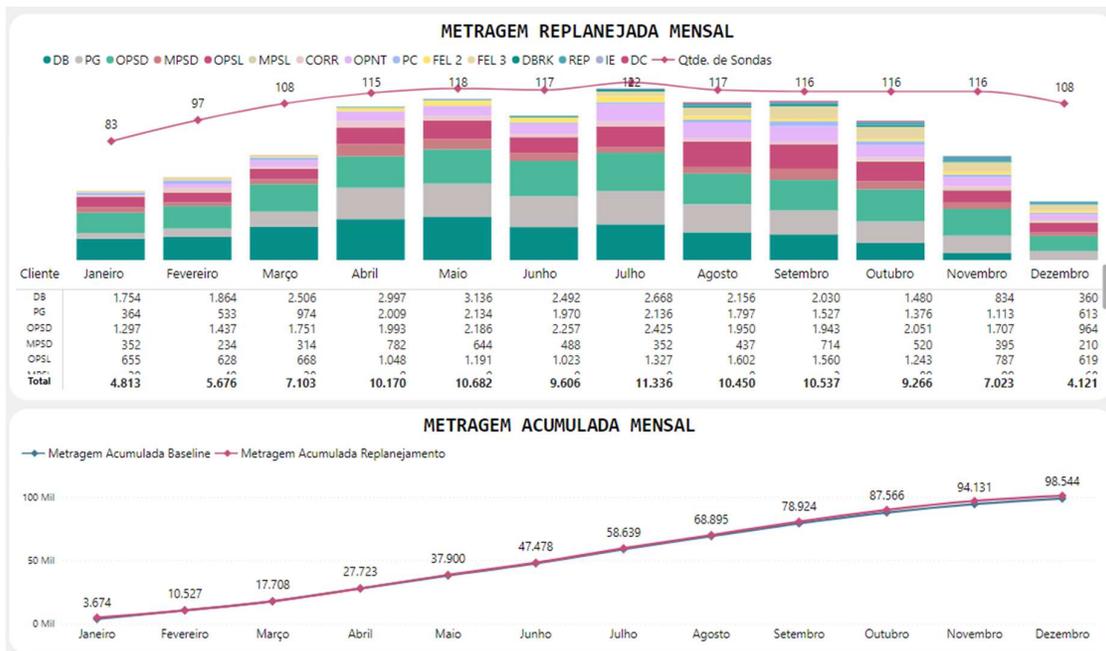


Figura 5. Metragem investigações geotécnicas 2024 (elaborado pelos autores)

O planejamento das demandas inicia após a aprovação do *baseline* ao final de cada ano. Para construção do planejamento foi criado um *App* de Demandas Geotécnicas em que cada ponto focal por parte do cliente interno insere a sua demanda, anexando obrigatoriamente a Especificação Técnica e planilha de GDMS (Plataforma de Gerenciamento Centralizado) e aciona os *gates* de aprovação. Somente após as aprovações de cada *gate* é que a campanha entra no cronograma operacional e a execução passa a ser acompanhada. A Figura 6 apresenta a máscara do *APP* de Demandas internas da Vale S.A:



Figura 6. Aplicativo de abertura de demandas geotécnicas (propriedade da Vale S.A).

A Especificação Técnica precisa ser anexada no aplicativo em revisão 0 ou acima dessa, aprovada internamente pelos responsáveis de Engenharia da Vale S.A. Isso garante que a campanha solicitada pela empresa projetista esteja consolidada e aprovada pelos engenheiros e diminui o retrabalho na execução da sondagem, reduzindo as mobilizações/desmobilizações de equipamentos que possuem custo elevado dentro dos contratos. As Figura 7 apresenta as informações que precisam ser anexadas pelos clientes e também os *gates* de aprovações:

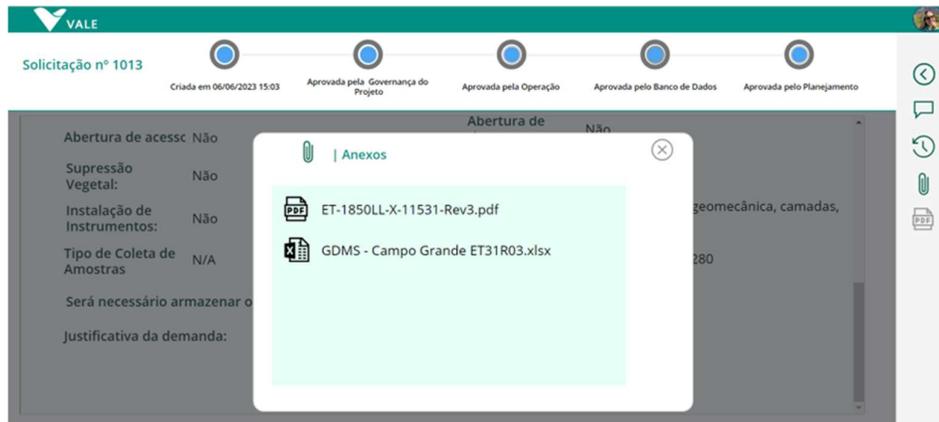


Figura 7. *Gates* de aprovação e anexos no App de demandas (propriedade Vale S.A.)

Cada uma das campanhas gera um *ID* (Identidade da campanha) que posteriormente é vinculado ao cronograma e banco de dados com as informações dos relatórios finais de sondagem. O fluxo de aprovação de demandas tem um período de 5 a 7 dias a depender da complexidade. Inicialmente, após o cadastro do cliente no portal, a equipe de operação da DI de Serviços de Sondagem sinaliza a prioridade da campanha no primeiro *gate*.

A Governança do Projeto é composta por membros de Planejamento e Gestão Econômica, responsáveis pela conferência de códigos de projeto e orçamento. O terceiro *gate* volta para o time de operação que avalia a Especificação Técnica e encaminha para as empresas disponíveis de sondagem. Na sequência são criadas as

chaves primárias e inserção no GDMS (banco de dados) e no último *gate* o Planejamento insere a atividade no cronograma e acompanha a execução até sua devolução ao cliente por meio do relatório.

#### 4 CONTROLES, QUALIDADE E INOVAÇÃO

São estabelecidos controles operacionais e de qualidade durante todo o processo da sondagem. Os controles operacionais são realizados pelo Planejamento, com controle da metragem, produtividade e horas ociosas das sondas, conforme Figura 8:

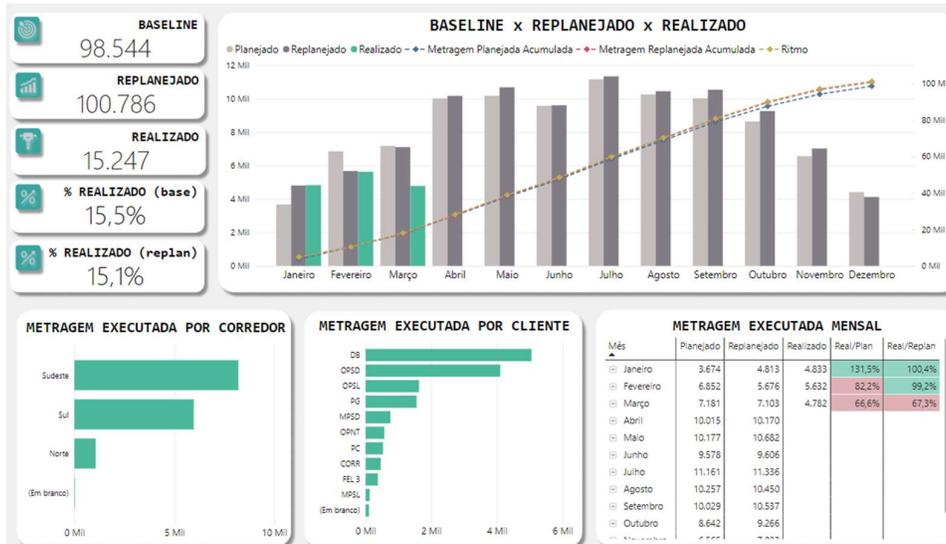


Figura 8. Controle operacional de execução de sondagem geotécnica (propriedade Vale S.A).

Para o acompanhamento e fornecimento de dados de cada furo de sondagem, investigações, coletas e instrumentações, a Vale S.A. utiliza o RDS Digital (Relatório Diário de Sondagem), criado para substituir a geração de cerca de 4.000 planilhas/mês e diminuir o *leadtime* do fornecimento de informações de campo para escritório de 7 dias para 2 dias (Figura 9), tal *leadtime* é menor que o recomendado pela ABGE (2021) onde os resultados digitais devem ser disponibilizados em até 5 dias. Os RDS são elaborados via sistema mobile (*Quicklogger*) que tem vínculo direto com o GDMS para armazenamento e gestão de dados de Sondagem.

Todos os resultados da campanha geotécnica são inseridos no GDMS, com as informações fornecidas pelo RDS, tornando o GDMS o principal centralizador de informações da Vale S.A para todas as sondagens executadas. O objetivo principal em armazenar todas as informações e padronizar a nomenclatura dos furos é garantir que a companhia tenha todas as informações necessárias para projetos futuros e o histórico das estruturas já construídas. Também, com as informações do RDS e GDMS, são elaborados mapas no GISMineral para acompanhamento de programações e execuções, posições de equipamentos e levantamentos de dados históricos (Figura 10).

E ao final do processo, encerra-se o fluxo da sondagem geotécnica com a entrega dos Relatórios Finais de Sondagem ao cliente interno, com prazo máximo de 30 dias por meio de plataforma oficial de tramitação de documentos. Os relatórios finais seguem a itemização mínima recomendada pela ABGE (2021), contemplando título, resumo executivo, introdução, objetivo, executores, métodos, trabalhos realizados, apresentação de resultados, conclusões, considerações finais, referências e anexos. Além dos relatórios, as caixas de testemunhos são armazenadas nos Galpões da Vale S.A, identificados com as coordenadas finais e “chave-primária”.



Figura 9. Antes e Depois do RDS digital.

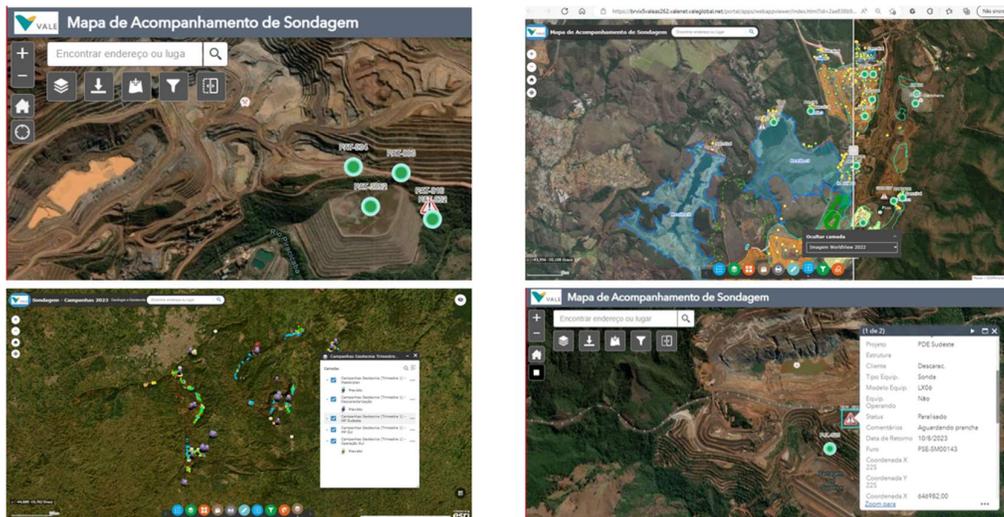


Figura 10. Apresentação de Dados pelo GISMineral (elaborado pelos autores).

## AGRADECIMENTOS

Agradecemos a contribuição de todas as gerências de área da Diretoria de Serviços de Sondagens, aos clientes internos, empresas de sondagem parceiras e gerências de Inovação da Vale S.A.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental (2021). *Investigações geológico-geotécnicas: guia de boas práticas / [editor João Jeronimo Monticelli]*. São Paulo.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2007). NBR 15492: *Sondagem de reconhecimento para fins de qualidade Ambiental - Procedimento*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2020). NBR 6484: *Solo – Sondagem de simples reconhecimento com SPT – Método de Ensaio*. Rio de Janeiro.
- BRASIL. Lei nº14.066, de 30 de setembro de 2020. *Altera a Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010, que estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB) e dá outras providências*. Brasília, DF: Diário Oficial da União, 2020.