XXII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica
XI Simpósio Brasileiro de Engenheiros Geotécnicos Jovens
24 a 28 de agosto de 2026 – Brasília/DF

DOI: 10.47094/COBRAMSEG2026.1/52

Métodos Geoelétricos para Análise de Fluxo em Barragens de Rejeito do Quadrilátero Ferrífero em Processo de Descaracterização

Adriana Gomes Ribeiro
Engenheiro Civil Geotécnico, Mineradora Herculano, Belo Horizonte, Brasil, adriana.ribeiro@grupoherculano.com.br/ agr.solos@gmail.com

Carla Palomino Tinoco
Engenheiro civil, Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil, capalti@gmail.com

Kayque Bergamaschi
Geofísico e Engenheiro Civil, Rural Tech, Brasília, Brasil, kayque@ruraltech.com.br

Fabio de Novaes Filho
Empresário, Rural Tech, Brasília, Brasil, fabiodenovaes@ruraltech.com.br

Aline Jordana
Engenheiro Civil, Vale SA, Nova Lima, Brasil, aline.jordana@vale.com /aline.jordana16@gmail.com

RESUMO: Este trabalho apresenta uma abordagem integrada de métodos geoelétricos para caracterização geotécnica de barragens de rejeito de minério de ferro no Quadrilátero Ferrífero, visando auxiliar processos de descaracterização. Foram aplicados os métodos de eletrorresistividade e potencial espontâneo, integrados com dados de piezometria e monitoramento de nível d'água, para identificar a linha freática e compreender o regime de fluxo de água. O estudo de caso envolveu uma barragem alteada a montante, submetida à Resolução 13 da ANM, onde foram executadas 8 linhas de eletrorresistividade comparando arranjos Schlumberger e dipolo-dipolo. O primeiro apresentou melhor eficiência e resolução. A Tomografia Elétrica 2D mapeou anomalias de baixa resistividade indicativas de zonas saturadas, enquanto o Potencial Espontâneo identificou caminhos de percolação de água. Os resultados demonstraram boa correlação entre anomalias geofísicas e leituras dos instrumentos convencionais (piezômetros de Casagrande e indicadores de nível d'água), validando a metodologia. A análise integrada possibilitou compreender o comportamento hidrogeológico, identificando áreas de recarga e fluxos subterrâneos, permitindo definir estratégias mais seguras de rebaixamento da linha freática durante a descaracterização. Conclui-se que essa abordagem multidisciplinar reduz incertezas, melhora o custo-benefício dos projetos geotécnicos e contribui para a resolução de desafios técnicos contemporâneos na mineração.

PALAVRAS-CHAVE: Métodos geoelétricos; Barragens de rejeito; Linha freática; descaracterização de barragens; piezométrico.

ABSTRACT: This work presents an integrated approach using geoelectrical methods for the geotechnical characterization of iron ore tailings dams in the Quadrilátero Ferrífero, aiming to support decommissioning processes. Electrical resistivity and self-potential methods were applied, integrated with piezometric data and water level monitoring, to identify the water table and understand the water flow regime. The case study involved an upstream-raised dam subject to ANM Resolution 13, where 8 electrical resistivity lines were executed comparing Schlumberger and dipole-dipole arrays. The former showed better efficiency and resolution. 2D Electrical Resistivity Tomography mapped low-resistivity anomalies indicative of saturated zones, while Self-Potential identified water seepage pathways. Results demonstrated good correlation between geophysical anomalies and readings from conventional instruments (Casagrande piezometers and water level indicators), validating the methodology. The integrated analysis enabled understanding of the hydrogeological behavior, identifying recharge areas and subsurface flows, and allowing the definition of safer strategies for

water table drawdown during decommissioning. It is concluded that this multidisciplinary approach reduces uncertainties, improves the cost-effectiveness of geotechnical projects, and contributes to addressing contemporary technical challenges in mining.

KEYWORDS: Geoelectrical methods; Tailings dams; Water table; Dam decommissioning; Piezometric monitoring.

1 INTRODUÇÃO

As barragens de rejeito são estruturas complexas que evoluíram com o tempo e são implacáveis quanto à necessidade de que todos os aspectos técnicos funcionem adequadamente. Sua confiabilidade depende da execução eficiente de diversos itens interligados: planejamento criterioso, investigações geotécnicas abrangentes, projeto detalhado contemplando todos os estudos necessários, rigoroso controle de qualidade, acompanhamento técnico contínuo, monitoramento durante todas as fases de execução e auditorias regulares (GISTM, 2020).

Os rejeitos constituem um subproduto inerente à atividade mineradora e, quando não gerenciados de maneira responsável e segura, podem representar riscos significativos ao meio ambiente e à sociedade. As falhas ocorridas nestas estruturas nos últimos 40 anos ilustram esses riscos potenciais, que na maioria das vezes resultaram em fatalidades, deslocamento de comunidades, danos à infraestrutura e perda irreparável de ecossistemas (GISTM, 2020). Em resposta a esses eventos, o International Council on Mining and Metals publicou o Tailings Management Good Practice Guide (ICMM, 2025), reconhecendo o fechamento e a descaracterização como fases críticas do ciclo de vida das barragens de rejeito e recomendando abordagens integradas e multidisciplinares para reduzir incertezas e riscos durante estas etapas.

A construção das barragens de rejeito é realizada em etapas sucessivas que acompanham o ritmo de lavra, de modo que os alteamentos são executados à medida que os rejeitos são gerados no processo de beneficiamento (Duarte, 2008). Estas estruturas podem ser construídas utilizando material proveniente de áreas de empréstimo externas ou com o próprio material do rejeito, aproveitando-se as partículas de granulometria mais grossa à jusante, que podem ser separadas pelo processo de ciclonagem (Boscov, 2018).

Segundo Boscov (2018), as barragens de rejeito construídas ou alteadas com o próprio material podem ser edificadas por três métodos distintos, que se referem à direção em que os alteamentos são realizados em relação ao dique inicial: o método de montante, o método de linha de centro e o método de jusante. As barragens alteadas pelos métodos de linha de centro e de jusante podem ser construídas com o uso de ciclones, onde o material de maior granulometria, denominado underflow, é utilizado para o alteamento do dique de contenção, enquanto os finos, conhecidos como overflow, são depositados atrás do dique formando a praia da estrutura. As deposições ocorrem através de aterro hidráulico, ou seja, aterros construídos por transporte e deposição de solo em meio aquoso (Boscov, 2018).

A utilização da técnica do aterro hidráulico aplicado ao método de montante proporciona redução significativa de custos de construção pela facilidade na execução das barragens, sendo assim o método mais atrativo economicamente para as mineradoras. Entretanto, problemas construtivos e de segurança podem ocorrer, principalmente devido à falta de controle das características do rejeito e das variáveis de descarga durante o lançamento. Desta forma, aumenta-se a necessidade de estudos mais detalhados das propriedades do rejeito de modo a reduzir as incertezas geradas quanto às características do aterro formado com sua utilização.

Em decorrência dos últimos acidentes envolvendo barragens de rejeitos, os levantamentos geofísicos para barragem se intensificaram, buscando-se compreender as variações do nível freático, surgências e os diferentes materiais utilizados na construção da estrutura. Para uma boa interpretação, os resultados dos levantamentos geofísicos precisam ser avaliados do ponto de vista geotécnico, considerando as informações complementares dos monitoramentos disponíveis na estrutura.

A Agência Nacional de Mineração instituiu a Resolução 13 (ANM, 2019), que estabelece normas regulatórias para assegurar a estabilização de barragens de rejeito alteadas pelo método construtivo à montante, e estabelece prazo para que ocorra a descaracterização destas estruturas.

Conforme os itens expostos acima, será apresentada a análise da aplicação de métodos geoelétricos (eletrorresistividade e potencial espontâneo) como auxílio na determinação das diretrizes da descaracterização de barragens de rejeito de mineração.

O principal objetivo deste trabalho é consolidar a importância da utilização da geofísica na geotecnia, avaliando a utilização dos métodos de eletrorresistividade e potencial espontâneo em barragens de rejeito para determinar o nível da linha freática. No presente relatório serão apresentadas duas barragens como estudo de caso. Com base nas características geotécnicas das estruturas, nos índices pluviométricos e leituras piezométricas, procura-se demonstrar se é possível fazer uma análise da origem do fluxo de água na barragem e o nível da linha freática. Esta identificação pode auxiliar na escolha do método adequado para a descaracterização de barragens de rejeito, pois atualmente esta atividade tem sido um grande desafio para a mineração.

Os objetivos específicos são verificar a situação atual da superfície freática em duas barragens de rejeito por meio do monitoramento da instrumentação geotécnica existente, analisar os resultados da geofísica e elaborar estudo comparativo dos resultados de eletrorresistividade e potencial espontâneo com o monitoramento da instrumentação e investigações geotécnicas, visando definir o método mais eficiente e seguro para a descaracterização de barragens de rejeito

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Caracterização da barragem

A Barragem Alfa foi construída na década de setenta com maciço inicial em solo na elevação 923,0 m, sendo posteriormente alteada pelo método de montante até a cota atual de 942,40 m. A estrutura não possui registros de projeto executivo ou documentação As Built, limitando sua caracterização histórica.

O sistema de extravasão compreende duas estruturas independentes: uma galeria retangular em concreto (0,56 m × 0,45 m, declividade 5%, soleira na cota 939,48 m) na ombreira direita, e uma tubulação em aço corrugado de 2,0 m de diâmetro (soleira na cota 939,23 m) na região oeste do reservatório.

O sistema de drenagem superficial inclui descida de água na ombreira esquerda, canaletas nas bermas, descidas nos taludes e canais periféricos com dissipadores de energia. Atualmente, o reservatório não apresenta lâmina d'água superficial.

2.2 Métodos: Eletrorresistividade e Potencial Espontâneo

Os métodos geofísicos, especialmente os geoelétricos, ainda são pouco explorados na geotecnia de barragens, mas representam abordagens inovadoras de investigação. Estes métodos permitem determinar a distribuição espacial e em profundidade de diversas propriedades físicas dos maciços, tais como velocidade de propagação de ondas acústicas, resistividade elétrica, contrastes de densidade e variações do campo magnético terrestre. Estas propriedades físicas guardam estreitas relações com características geológico-geotécnicas fundamentais do maciço, incluindo o grau de alteração e fraturamento das rochas, além do tipo litológico.

A eletrorresistividade baseia-se na dificuldade encontrada pela corrente elétrica para se propagar nas rochas, podendo ocorrer por mecanismos iônicos ou eletrônicos. Esta propriedade física apresenta o maior intervalo de variações entre todas as características das rochas, variando de 10^{-5} ohm.m para minerais metálicos até 10^{7} ohm.m para sedimentos extremamente secos. A resistividade elétrica depende basicamente da composição, granulometria, porosidade, grau de saturação e salinidade da água que preenche os vazios das rochas. A técnica utiliza um sistema de quatro eletrodos AMNB, onde os eletrodos A e B constituem o circuito de corrente que injeta corrente I no terreno, enquanto os eletrodos M e N compõem o circuito de potencial que mede a diferença de potencial elétrico ΔV.

A Tomografia Elétrica 2D mede tanto a variação lateral quanto em profundidade da resistividade elétrica das rochas em subsuperfície, permitindo obter seções 2D de alta resolução através de grande número de leituras. O arranjo Schlumberger é o que geralmente apresenta melhores resultados devido à boa resolução e sinal forte, garantindo qualidade superior dos dados. Diferentemente do arranjo Dipolo-dipolo, que apresenta

rápido caimento do sinal com o aumento do nível de profundidade, o Schlumberger mantém melhor estabilidade do sinal em profundidade.

A interpretação das anomalias geofísicas em barragens requer compreensão dos diferentes padrões de resistividade. Anomalias de baixa resistividade pode ser causadas tanto pelo aumento de umidade do meio, resultante do aumento na porosidade e permeabilidade com consequente percolação de água, quanto pela mudança no tipo de material, como redução do grau de compactação ou aumento da fração argilosa. No interior de barragens, estas anomalias normalmente indicam zonas com maior porosidade e grau de saturação. Por outro lado, os minerais metálicos do minério de ferro, como hematita ou itabirito friável, geram altos de resistividade, não se confundindo com zonas de maior saturação.

As anomalias de potencial espontâneo indicam os caminhos de percolação das águas no interior da barragem, onde o fluxo ocorre normalmente no sentido dos baixos para os altos potenciais. As anomalias detectadas podem refletir tanto a estrutura construtiva esperada da barragem, como filtros, sistemas de drenagem ou linhas de centro onde a percolação é prevista, quanto podem indicar desvios indesejados, como zonas de infiltração, piping ou surgências. Portanto, uma anomalia geofísica detectada poderá ou não representar um comportamento esperado para a estrutura construtiva da barragem.

Os ensaios geofísicos utilizados com cautela no desenvolvimento de um estudo provavelmente reduzem o número de ensaios diretos requeridos para uma devida caracterização da subsuperfície da área de interesse, reduzindo os custos finais do projeto. Em muitos casos, a execução de ensaios geofísicos apropriados pode se tornar essencial para garantir a análise correta e interpolação de dados geológicos preexistentes.

2.3 Equipamentos Utilizados

Será utilizado o programa Leapfrog Geo 5.0 para a análise dos resultados através da integração dos levantamentos da geofísica com as leituras dos piezômetros, indicadores de nível d'água, medidor de vazão e sondagens.

Os levantamentos utilizados foram a eletrorresistividade e o SP (Potencial Espontâneo) e visaram dar auxílio aos estudos geotécnicos do local e têm a finalidade de mapear anomalias geofísicas.

O equipamento utilizado nos levantamentos com os métodos da Eletrorresistividade e Potencial Espontâneo, é um resistivímetro modelo SuperSting R8IP, fabricado pela AGI Advanced Geosciences Inc., com capacidade de aquisição automática de dados, usando cabos multieletrodos.

A modelagem/inversão dos dados para o método da Eletrorresistividade foi realizada utilizando o software RES2DINV, desenvolvido pela Geotomo Software Inc. Os mapas do método Potencial Espontâneo foram gerados através do Geosoft.

2.4 Instrumentação Geotécnica

Para uma boa interpretação, os resultados dos levantamentos geofísicos precisam ser avaliados conforme o ponto de vista geotécnico considerando as leituras dos instrumentos (piezômetros de Casagrande e os Indicadores de Nível d'água) dispostos na barragem, as informações geológicas, as sondagens existentes e todas as outras informações consideradas relevantes.

Como parte do monitoramento da barragem, ela foi instrumentada atendendo a carta de controle da estrutura. Os instrumentos de auscultação, que são os piezômetros e indicadores de nível d'água, se alinham ao longo de três seções distintas.

No desenvolvimento da dissertação a leitura da instrumentação será comparada com os resultados de eletrorresistividade e potencial espontâneo realizados na estrutura entre os dias 24 de maio e 26 de julho de 2019.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A barragem foi instrumentada conforme a carta de controle da estrutura (Figura 1), como parte do programa de monitoramento. Os instrumentos de auscultação (piezômetros e indicadores de nível d'água) estão distribuídos em três seções transversais distintas.

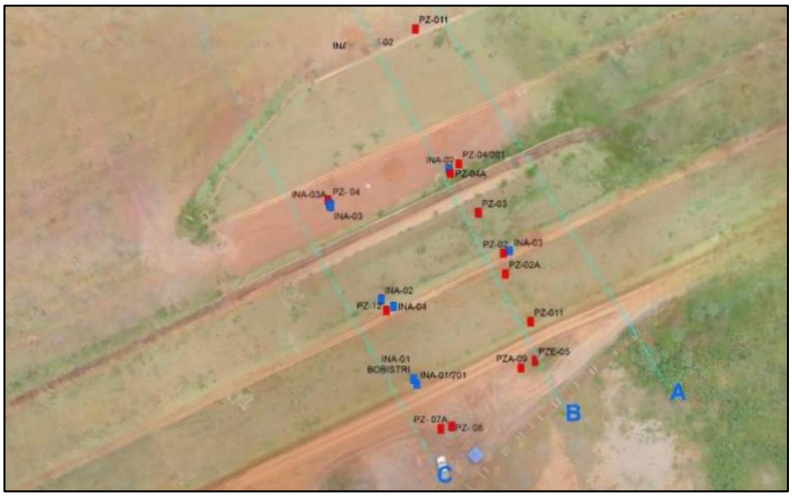


Figura 1 - Planta de localização dos instrumentos ao longo de três seções. (Autor, 2019)

Foram realizadas 8 linhas geofísicas de eletrorresistividade, mapas de resistividade e Potencial Espontâneo na área da Barragem Alfa. Para fins de estudo será apresentado a avaliação da linha 2 que melhor representa a análise da estrutura e o mapa de resistividade à profundidade de 15 metros.

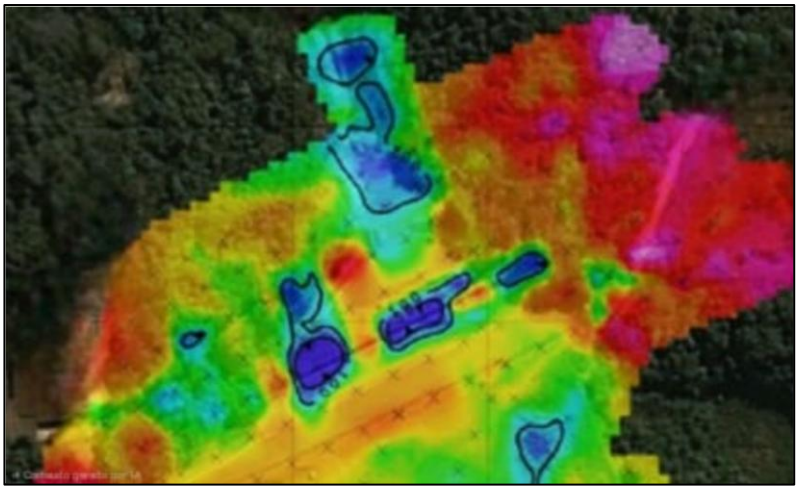


Figura 2 - mapa de resistividade à profundidade de 15 metros.

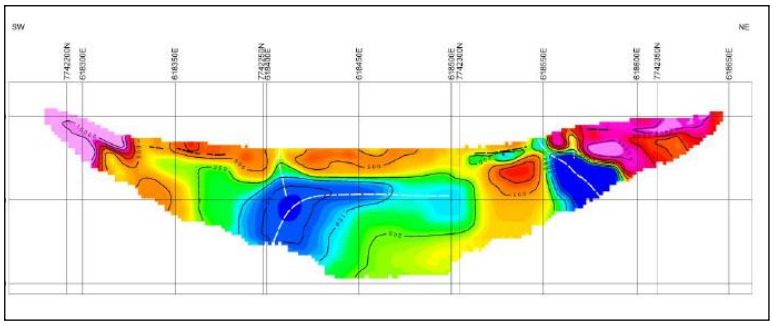


Figura 3 - Linha 2 (Alfa, 2019).

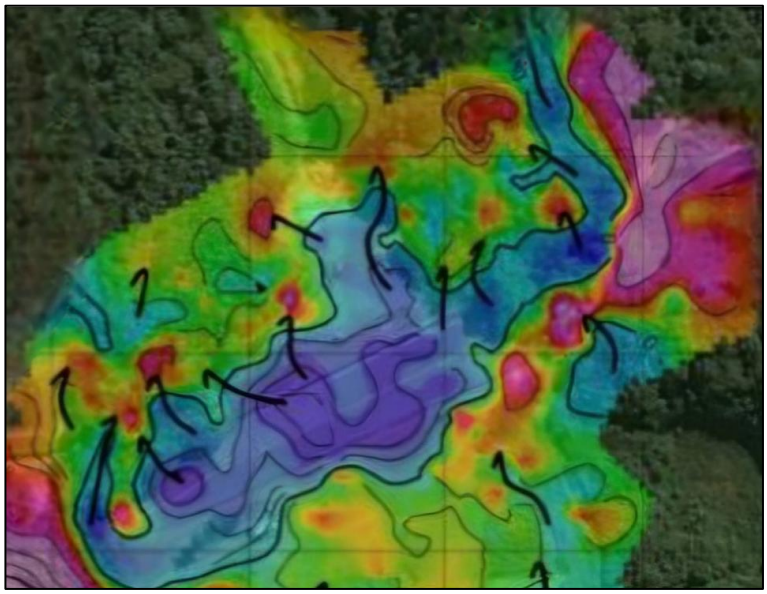


Figura 4 - Mapa do Potencial Espontâneo Barragem Alfa.

Na Linha 2 foram identificadas duas anomalias geofísicas intensas e extensas com resistividades entre 0 e 100 Ohm.m. A primeira anomalia estende-se de 120 a 265 m, apresentando geometria horizontalizada no trecho 195-265 m (cotas 910-995 m) e configuração subvertical no trecho 120-195 m (a partir da cota 915 m), com eixo em torno de 150 m. A segunda anomalia ocorre entre 315 e 355 m, desde a cota 928 m até o limite de investigação, com eixo subvertical em torno de 335 m.

O mapa apresenta baixos de potencial espontâneo (cores azuis) indicando zonas de entrada d'água com fluxo descendente, e altos (vermelho) indicando zonas de saída com fluxo ascendente. As setas sugerem fluxo de montante para jusante, na direção norte/noroeste para sul/sudeste (Figura 4).

A interpretação das seções de eletrorresistividade permitiu estimar o nível freático entre 4 metros e 7 metros de profundidade ao longo das seções investigadas. Esta variação observada reflete a heterogeneidade do maciço de rejeitos e as diferentes condições hidrogeológicas locais, evidenciando a influência de fatores como variações na compactação, porosidade do material e contribuições laterais de água.

Para validar os resultados obtidos pelos métodos geofísicos, foram realizadas leituras dos Indicadores de Nível de Água (INA's) no mesmo período da campanha geofísica de eletrorresistividade e potencial espontâneo, conforme apresentado na Tabela *1*. A coleta simultânea de dados foi essencial para garantir a correlação temporal entre as diferentes fontes de informação e permitir uma análise comparativa consistente.

Tabela 1- Leitura da instrumentação (Autor, 26/07/2019)

Código do Instrumento	Data de Medição	Valor	Condição Adversa
INA-01	26/07/2019	-	Inoperante
INA-02	26/07/2019	916,37m	-
INA-04	26/07/2019	919,43m	-
INA-03B	26/07/2019	905,77m	Seco
INA-01/2017	26/07/2019	-	Inativo
INA-03	26/07/2019	-	Inativo

A análise integrada dos dados geofísicos com as leituras da instrumentação revelou excelente correlação espacial entre as anomalias detectadas e as medições diretas do nível d'água. Especificamente na seção B-B', verificou-se que a zona caracterizada por baixa resistividade elétrica (representada pela área azul na Figura 4) coincide precisamente com o nível de água registrado pelo instrumento INA-02, situado na cota 916,37m.

Considerando que o terreno nesta região está aproximadamente na cota 920m, a anomalia de baixa resistividade identificada pela geofísica ocorre a aproximadamente 4 metros de profundidade, correspondendo exatamente à posição do nível freático medido pelo INA-02 (cota 916,37m). Esta concordância fortalece significativamente a confiabilidade dos resultados geofísicos e demonstra a eficácia do método de

eletrorresistividade na detecção de zonas saturadas em barragens de rejeito.

A metodologia de análise integrada foi estendida sistematicamente para todos os instrumentos de monitoramento disponíveis na estrutura, abrangendo tanto a instrumentação instalada no corpo da barragem quanto as investigações realizadas na área do reservatório. Em cada localização onde havia instrumentação operante, foram identificadas anomalias geofísicas de baixa resistividade nas cotas correspondentes às leituras dos instrumentos, confirmando de forma consistente a presença de água nas profundidades indicadas. Esta convergência de resultados entre métodos diretos (instrumentação) e indiretos (geofísica) proporcionou maior confiabilidade na definição da superfície freática e reduziu significativamente as incertezas inerentes ao processo de caracterização hidrogeológica da estrutura.

Para a região do reservatório, onde a instrumentação era mais limitada, foram utilizadas as sondagens executadas pela equipe de geologia operacional como parâmetros complementares para determinar o nível d'água. A integração destes dados diretos com os resultados geofísicos permitiu uma caracterização tridimensional mais completa da distribuição de água na estrutura, superando as limitações impostas pela distribuição pontual dos instrumentos de monitoramento.

A avaliação geofísica consolidada reforçou substancialmente o traçado da linha freática utilizada nas análises de estabilidade da estrutura. A confiança nos dados de entrada para os modelos geotécnicos foi significativamente elevada, uma vez que a linha freática não se baseou apenas em interpolações entre pontos de monitoramento discretos, mas foi validada por uma investigação contínua ao longo das seções geofísicas. Esta abordagem permitiu identificar variações localizadas do nível freático que poderiam não ser detectadas apenas pela instrumentação pontual, contribuindo para análises de estabilidade mais precisas e representativas das condições reais da estrutura.

Um resultado particularmente relevante obtido através da investigação geofísica foi a identificação de que a barragem recebe uma contribuição significativa de água proveniente da direção da ombreira direita. As seções de eletrorresistividade evidenciaram a presença de zonas de baixa resistividade orientadas desde a ombreira em direção ao corpo da barragem, indicando fluxo preferencial de água subsuperficial nesta direção. Este achado tem implicações práticas importantes para a gestão hídrica da estrutura e para o planejamento das obras de descaracterização da barragem.

Baseando-se nesta constatação hidrogeológica, foram definidas intervenções de engenharia para mitigar os efeitos da contribuição lateral de água. Para as obras de descaracterização da barragem, foram implantadas estacas drenantes estrategicamente posicionadas na região da ombreira direita com dois objetivos principais: reduzir a contribuição de água no reservatório através do rebaixamento do nível freático local e permitir condições adequadas para escavar os rejeitos, que constitui parte fundamental das obras de descaracterização. As estacas drenantes atuam como drenos verticais profundos, interceptando o fluxo de água proveniente da ombreira antes que este atinja o corpo da barragem e o reservatório.

A implantação deste sistema de drenagem foi monitorada através de leituras subsequentes da instrumentação e de novos ensaios geofísicos de acompanhamento, permitindo avaliar a efetividade das intervenções realizadas. Os resultados preliminares indicaram redução nos níveis freáticos nas proximidades das estacas drenantes, confirmando a eficácia da solução adotada e demonstrando como a investigação geofísica contribuiu diretamente para decisões de engenharia fundamentadas em evidências técnicas sólidas.

4 CONCLUSÕES

Com a conclusão deste estudo, pretende-se analisar a eficiência do emprego de métodos geoelétricos aplicados em barragens de rejeito de minério de ferro no Quadrilátero Ferrífero para compreender o comportamento do fluxo d'água no interior destas estruturas. Este entendimento é fundamental para subsidiar tecnicamente os processos de descaracterização de barragens, proporcionando maior segurança e eficiência nas intervenções necessárias.

O principal desafio técnico da descaracterização de barragens de rejeito através de um método seguro reside no prévio rebaixamento do lençol freático, condição essencial para garantir a estabilidade dos taludes durante as etapas de desmonte. Neste contexto, a aplicação de métodos geofísicos combinada com estudos hidrogeológicos detalhados pode identificar a existência de possíveis conexões hidráulicas entre a estrutura e seu entorno, fornecendo informações cruciais sobre o sistema de fluxo subterrâneo.

A partir do conhecimento das áreas de contribuição e recarga do nível d'água na estrutura, torna-se possível viabilizar e dimensionar adequadamente os métodos mais eficientes para o rebaixamento do lençol freático. Entre as alternativas técnicas disponíveis, destacam-se a implantação de poços profundos de bombeamento, a construção de trincheiras drenantes perimetrais ou outras soluções de engenharia que se mostrem eficazes para as condições hidrogeológicas específicas de cada estrutura.

Com a implementação de sistemas de rebaixamento adequados, obtém-se acréscimo significativo nos fatores de segurança dos taludes, permitindo que o processo de descaracterização ocorra de maneira mais segura e controlada. A abordagem multidisciplinar adotada neste estudo — integrando geofísica, instrumentação geotécnica convencional e hidrogeologia — está alinhada às diretrizes do Tailings Management Good Practice Guide (ICMM, 2025), que preconiza investigações integradas e baseadas em evidências para reduzir incertezas nas fases de fechamento e descaracterização de barragens de rejeito.
Recomenda-se que estudos futuros ampliem a aplicação destas metodologias geofísicas em diferentes configurações de barragens, consolidando protocolos técnicos que possam ser replicados em projetos de descaracterização no Quadrilátero Ferrífero e em outras regiões mineradoras do país.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agência Nacional de Mineração. ANM Resolução 13 de 08 de agosto de 2019, Brasília. *Resolução para medidas regulatórias para as barragens de mineração, notadamente aquelas construídas ou alteadas pelo método denominado "a montante" ou por método declarado como desconhecido e dá outras providências.*

Associação Brasileira de Normas Técnicas. Mineração (2025). NBR 13028. *Elaboração e apresentação de projetos de barragens para disposição de rejeitos, contenção de sedimentos e reservação de água – Requisitos.*

Bartels, J. & Angenheister, G. (1970) *Geofísica* - Volume 8 – Editora Meridiano, São Paulo, SP.

Boscov, M. E. G. (2008) *Geotecnia Ambiental* – Oficina de Textos, São Paulo, SP.

Braga, A. C. O. (2016) *Geofísica Aplicada - Métodos Geoelétricos em Hidrogeologia* - Oficina de Textos, São Paulo, SP.

Feitosa, F.A.C. et. al (2008) *Hidrogeologia Conceitos e Aplicações* – CPRM, 3ª edição revisada, Rio de Janeiro, RJ.

International Council on Mining and Metals; United Nations Environment Programme; Principles for Responsible Investment – ICMM; UNEP; PRI (2020). *Global Industry Standard on Tailings Management – GISTM*. London: ICMM. Disponível em: https://www.icmm.com/en-gb/our-principles/tailings/global-industry-standard-on-tailings-management. Acesso em: 05/03/2025.

International Council on Mining and Metals – ICMM (2021). *Tailings Management Good Practice Guide*. 1st edition. London: ICMM. Disponível em: https://www.icmm.com/tailings-management. Acesso em: 05/02/2025.

Kearey, P., Brooks, M. E Hill, I. (2002) *An Introduction to Geophysical Exploration* – Blackwell Science Ltda.

Kearey, P., Brooks, M. E Hill, I. – Tradução: COELHO, M. C. M. (2009) *Geofísica de Exploração* - Oficina de Textos, São Paulo, SP.

Martin, T. E., & McRoberts, E. C. (1999). *Some considerations in the stability analysis of upstream tailings dams. In Proceedings of the Sixth International Conference on Tailings and Mine Waste*, Vol. 99, 287-302.

Oliveira, D. V. (2018) *"Caracterização Geofísica e Estrutural de Área Cárstica na Cidade de Sete Lagoas – MG Como Subsídio para Estudo Geotécnico".* Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geotecnia na UFOP. Ouro Preto, MG.

Oliveira, A.M.S. E Brito, S. N. A. (1998) *Geologia de Engenharia* – ABGE – São Paulo, SP.