

**INSTABILIDADE EM TALUDES DE MINERAÇÃO: COMO ANOMALIAS  
HIDROGEOLÓGICAS LIGADAS A DEPÓSITOS CENOZOICOS  
DEFLAGRAM EROSÃO TIPO VOÇOROCA  
EM ÁREA DE CAVA A CÉU ABERTO**

Wellison Martins Fonseca<sup>1</sup>; Gustavo Catão Silva Nascimento<sup>2</sup>; Daniel Gonçalves Costa Dias<sup>3</sup>;  
Lucas Almeida Campos<sup>4</sup>; Felipe Freitas de Oliveira<sup>5</sup>; Ricardo Cabette Ramos<sup>6</sup>.

**Resumo** – A estabilidade de taludes em cavas de mineração a céu aberto representa uma preocupação recorrente, especialmente no Quadrilátero Ferrífero, onde há uma interação complexa entre fatores geológico-estruturais, geotécnicos e hidrogeológicos. Este trabalho analisa um caso real de ruptura em talude com mais de 110 m de altura localizado na porção nordeste do Quadrilátero Ferrífero e desencadeada por erosão progressiva superficial e subsuperficial. A ruptura está associada à compartimentação hidrogeológica controlada por estruturas neotectônicas e ao contato entre depósitos cenozoicos pouco consolidados e os itabiritos dolomíticos da Formação Cauê. Foram realizadas caracterizações geológico-estruturais, geotécnicas e hidrogeológicas da área, além de levantamento geofísico por eletrorresistividade e potencial espontâneo. Os dados indicam a presença de zonas de fragilidade hidrogeomecânica, com contrastes significativos de resistividade elétrica relacionados à presença de sedimentos saturados e maciços fraturados. Os resultados reforçam a importância do monitoramento contínuo e do planejamento geotécnico integrado na prevenção de movimentos de massa em ambientes de mineração.

**Abstract** – The stability of slopes in open-pit mining is a recurring concern, particularly in the Quadrilátero Ferrífero region, where geological-structural, geotechnical, and hydrogeological factors interact in a complex manner. This study presents a real case of slope failure exceeding 110 meters in height, located in the northeastern portion of the Quadrilátero Ferrífero, triggered by progressive surface and subsurface erosion. The failure is associated with hydrogeological compartmentalization controlled by neotectonic structures and the contact between poorly consolidated Cenozoic deposits and the dolomitic itabirites of the Cauê Formation. Geological-structural, geotechnical, and hydrogeological characterizations were conducted, along with geophysical surveys using electrical resistivity and spontaneous potential methods. The data reveal zones of hydrogeomechanical weakness, with significant electrical resistivity contrasts related to saturated sediments and fractured rock masses. The results highlight the importance of continuous monitoring and integrated geotechnical planning to prevent mass movements in mining environments.

**Palavras-Chave** – Bacias Cenozoicas; Neotectônica; Processos erosivos; Quadrilátero Ferrífero.

---

1 Geol, Especialista em Geotecnia, Walm BH Engenharia, (31) 3234-4003, wellison.fonseca@walmengenharia.com.br  
2 Geol, Msc. em hidrogeologia, Walm BH Engenharia, (31) 3234-4003, gustavo.nascimento@walmengenharia.com.br  
3 Geol, Especialista em Geotecnia, Walm BH Engenharia, (31) 3234-4003, daniel.dias@walmengenharia.com.br  
4 Geol, Dr. Engenharia Geotécnica, Walm BH Engenharia, (31) 3234-4003, lucas.campos@walmengenharia.com.br  
5 Geol, Msc. Engenharia Geotécnica, Walm BH Engenharia, (31) 3234-4003, felipe.oliveira@walmengenharia.com.br  
6 Geol, Msc. Engenharia Geotécnica, Vale S/A, (21) 3485-5000, ricardo.cabette@vale.com

## 1. INTRODUÇÃO

A estabilidade de taludes em cavas de mineração a céu aberto é uma preocupação recorrente, especialmente no Quadrilátero Ferrífero, onde fatores geológico-estruturais, geotécnicos e hidrogeológicos interagem de maneira complexa, resultado direto da ação de eventos tectônicos e do retrabalhamento sucessivo dos litotipos ao longo do tempo geológico. Depósitos sedimentares de idade cenozoica (0 a 66 M.a) ocorrem amplamente em áreas de mineração, preenchendo vertentes, depressões e encaixando-se em estruturas do tipo *horsts and grabens*, que, por vezes, se encontram na interface com estruturas geotécnicas, tais como: cavas, pilhas e barragens.

Os depósitos cenozoicos, geralmente ruditos de matriz argilo arenosa, são resultado do retrabalhamento gravitacional e fluvial de materiais provenientes de unidades arqueanas e paleoproterozoicas do embasamento, como as rochas dos supergrupos Rio das Velhas e Minas (Castro & Varajão, 2020). É na interface entre os depósitos sedimentares cenozoicos (parcialmente consolidados) e as rochas do embasamento (mais resistentes) que podem se desenvolver zonas de contrastes hidrogeológicos e geotécnicos, onde variações de permeabilidade e pressão intersticial resultam na redistribuição dos fluxos subterrâneos promovendo a erosão interna (*piping*) e o colapso progressivo dos taludes.

Neste contexto, analisa-se um caso real de ruptura em talude de mineração com altura superior a 110,0 m deflagrada por erosão progressiva superficial e subsuperficial, resultante da compartimentação hidrogeológica controlada por interações neotectônicas entre o embasamento e os depósitos cenozoicos, além de questões relacionadas ao escoamento superficial das águas provenientes de precipitação e subterrâneas. A seguir, será apresentado uma breve caracterização geológico-estrutural, geotécnica e hidrogeológicas do local, além da análise da assinatura geofísica na região da ruptura, bem como a caracterização dos mecanismos de erosão, reforçando a importância do monitoramento e do planejamento geotécnico na prevenção de deslizamentos de massa em cavas de mineração a céu aberto.

## 2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA ESTUDADA

### 2.1. Localização e características geométricas da área de estudo

O fenômeno em análise refere-se a uma ruptura global deflagrada em um talude de cava a céu aberto localizada em uma mina de minério de ferro na região nordeste do Quadrilátero Ferrífero, em Minas Gerais. Essa instabilidade foi desencadeada pela evolução de processos erosivos superficiais e subsuperficiais, resultando em uma ruptura com 110 m de altura, 90 m de largura e 25 m de profundidade. A Figura 1 apresenta a imagem representativa do talude, com destaque para a área da ruptura, circundada pela linha tracejada em amarelo. A altura dos bancos é de aproximadamente 13,0 m com declividade média de 0,8H:1,0V.

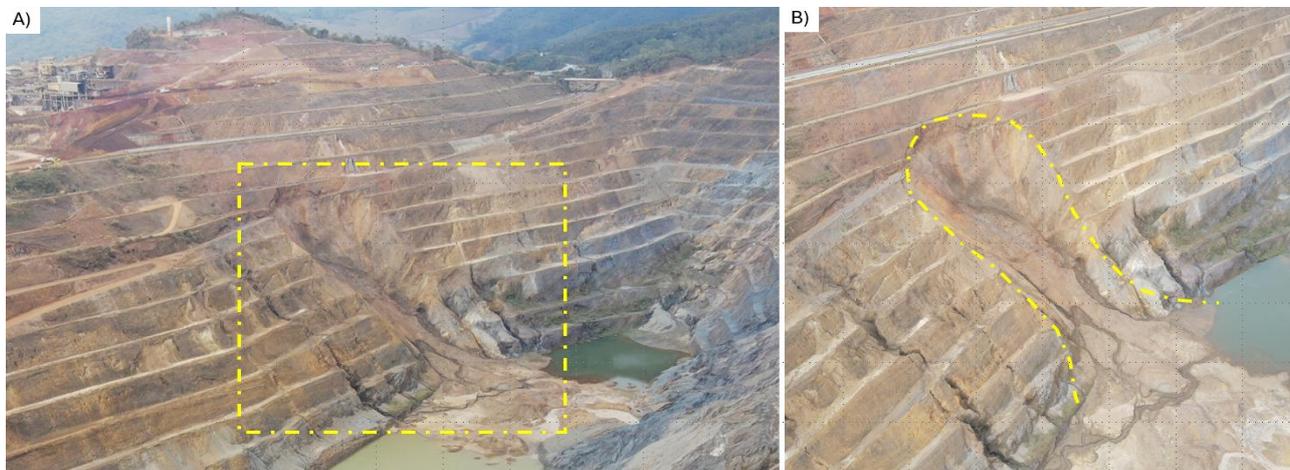


Figura 1: Localização do talude e da ruptura em estudo. A) Visão geral do talude. B) detalhe da geometria da ruptura.

## 2.2. Caracterização Geológico-Estrutural e Geotécnica

O caso analisado está localizado na região central do Sinclinal do Gandarela, na porção nordeste do Quadrilátero Ferrífero, uma das províncias minerais mais estudadas do Brasil. Com cerca de 7.000 km<sup>2</sup> (Dorr, 1969), sua configuração quadrangular resulta do reposicionamento de batólitos arqueanos sob rochas supracrustais arqueanas e paleoproterozoicas dos supergrupos Rio das Velhas e Minas (Alkmim & Marshak, 1998). Embora os estudos se concentrem principalmente nas unidades arqueanas e paleoproterozoicas, formadoras dos depósitos minerais, há um interesse crescente na caracterização das bacias cenozoicas e depósitos terrígenos, com contribuições de pesquisas recentes de Varajão et al. (2020), Castro & Varajão (2020) e Daher et al. (2024).

O movimento de massa se desenvolve no contato litológico entre saprólitos e rochas do Grupo Itabira, principalmente da Formação Cauê e sedimentos cenozoicos terrígenos, denominados por Saadi et al. (1992) como Formação Gongo Soco. A Figura 2 apresenta o mapa geológico simplificado da área em estudo com destaque para as sondagens e instrumentação geotécnica instalada.

A Formação Cauê aflora na porção centro-norte da área e ocorre como uma camada tabular de orientação ENE-WSW e mergulho de 40° para SSE. Esta unidade foi subdividida em duas fácies: itabiritos indivisos (PP1mic), predominantemente silicosos, martíticos e anfibolíticos, de granulometria fina a média, coloração variada e textura de semicompacta a friável; e itabiritos dolomíticos (PP1micd), de textura areno-siltosa a silto areno-argilosa, coloração ocre a cinza escuro e intercalações de bandas ricas em manganês e hematita. O itabirito dolomítico apresenta-se friável com grau de resistência que varia de muito brando inferior (R1-) a medianamente compacto (R3) e transiciona em contato gradacional para a Formação Gandarela. A Figura 3 apresenta exemplos dos itabiritos identificados.

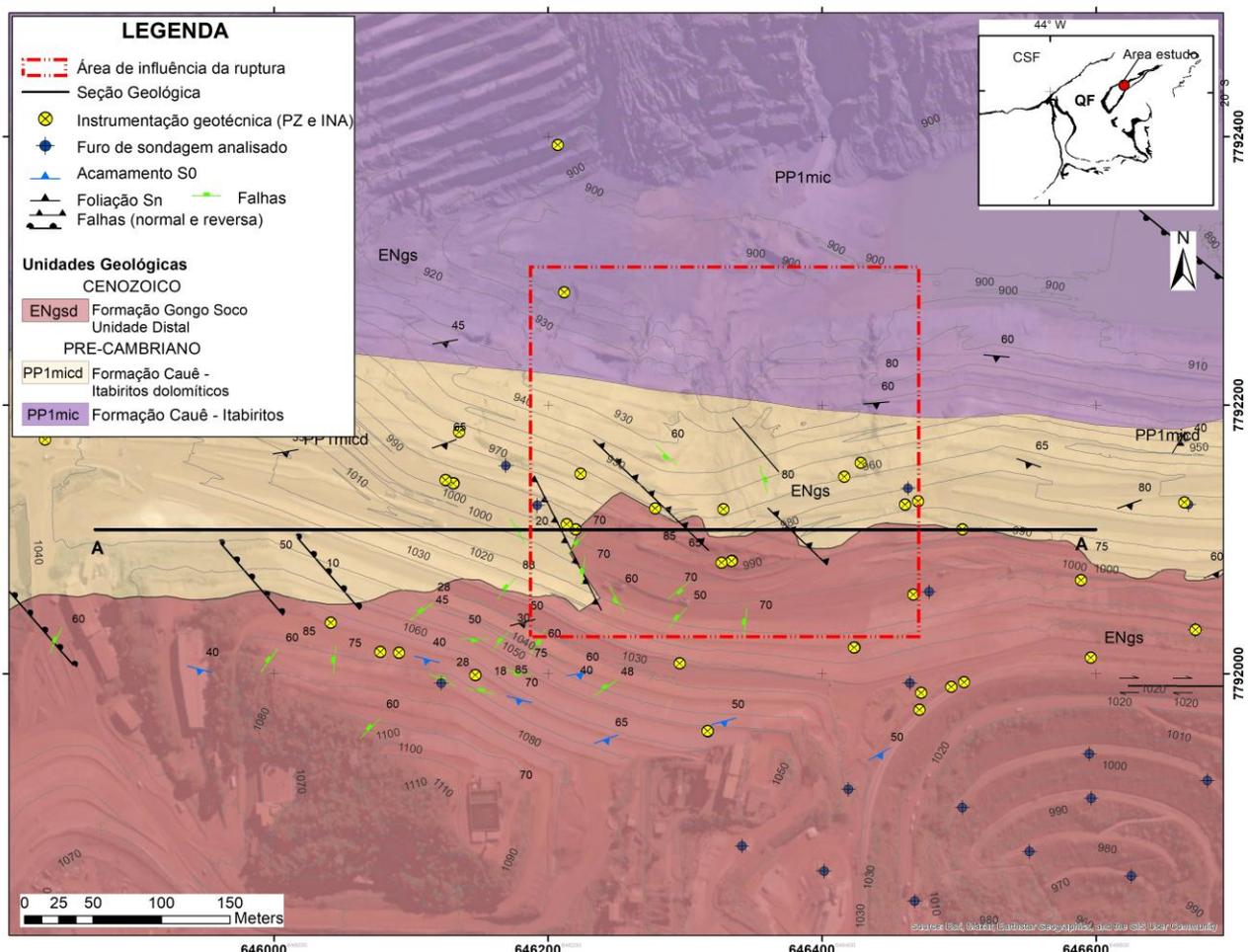


Figura 2: Mapa geológico da área em estudo. Modificado de Martins Fonseca (*in Prelo*).



Figura 3: Tipos de itabiritos. A) Itabirito silicosos com lentes de hematita compacta. B) Afloramento de itabirito semi compacto. C) Itabirito argiloso friável, e D e E) Itabirito goethítico friável, fortemente bandado.

O depósito cenozoico possui forma alongada na direção E-W, cobrindo aproximadamente 2 km<sup>2</sup>, com espessura superior a 130 m, confirmada por sondagens e mapeamento. Os sedimentos ocorrem em contato direto com os itabiritos dolomíticos e são compostos por cascalhos matriz e clasto-suportados com matriz argilo-arenosa vermelha e clastos polimíticos (itabirito, quartzito, filito, dolomito e canga) intercalados com níveis de argilito vermelho, siltitos ocre e arenitos finos de cores claras. Localmente ocorrem lentes de linhito (carvão) e camadas de argilas orgânicas.

Apesar do alto teor de argila, os materiais do depósito apresentam elevada porosidade resultado da forte presença de grãos de areia e clastos diversos. Quando laterizados, por vezes, apresentam vesículas, tipo “*vuggy porosity*”. A Figura 4 representa exemplos dos materiais constituintes do depósito cenozoico.

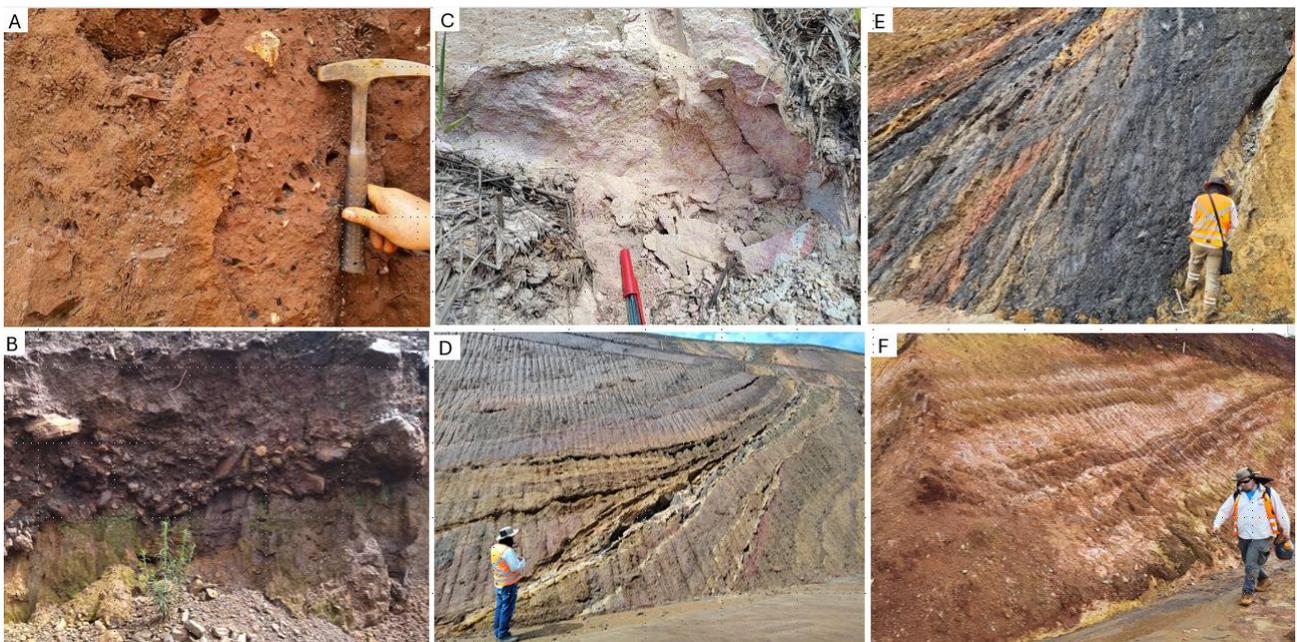


Figura 4: A e B) Cascalho matriz e clasto-suportado com estrutura maciça e clastos de itabirito, quartzito e quartzo. C e D) Arenitos maciços e estratificados intercalados com siltitos e cascalho matriz-suportado. E) Horizonte de linhito (carvão mineral). F) Pacote estratificado argilitos e siltitos intercalados (ritmitos).

A seção geológica A-A', modificada de Martins Fonseca (in prelo) representa o modelo geológico-estrutural 2D interpretado para a área de estudo. As principais feições estruturais identificadas na Formação Cauê incluem diferentes tipos de foliação (xistosidade, bandamento composicional e foliação milonítica) subparalelas com orientação predominante 152/28 (*dip direction* e *dip*). Tanto no embasamento quanto nos sedimentos cenozoicos, ocorre uma extensa rede de fraturas, com direções principais segundo NW-SE, NE-SW, N-S e W-E (28/84, 312/87, 278/88 e 170/50), além de falhas com diferentes cinemáticas (normal, reversa e transcorrente) com atitudes principais segundo 279/70, 234/62, 172/60, 77/78 e 315/57. Nos depósitos cenozoicos o acamamento sedimentar se desenvolve com orientação predominante de 145/55.

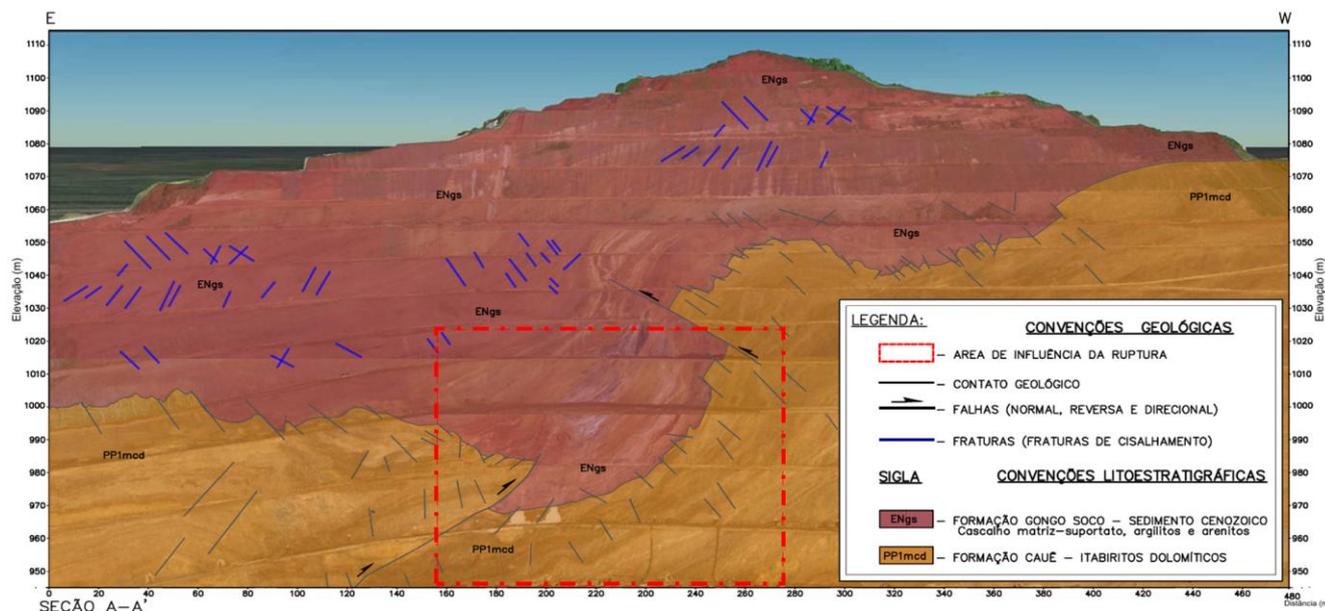


Figura 5: Seção geológico-estrutural AA', corte de direção E-W, visada para sul.

Na porção central da seção AA', limitando as bordas da bacia, foram cartografadas duas falhas com cinemática reversa. A mais a Leste (Flw = 105/43) exibe característica de falha de cavalgamento (baixo ângulo), enquanto a localizada mais a Oeste apresenta geometria de falha reversa (Flw = 275/78). Ambas as estruturas sobrepõem itabiritos dolomíticos da Formação Cauê sobre os sedimentos cenozoicos da Formação Gongo Soco. A falha reversa a oeste exibe rejeito decamétrico, resultante da reativação de uma falha normal anterior à deposição dos sedimentos da fácies proximal. Esta estrutura se caracteriza como uma falha "cega", sem propagação na unidade mais distal, no entanto, provoca o soerguimento dos itabiritos dolomíticos do bloco oeste, gerando o arqueamento da fácies distal e o desenvolvimento de falhas oblíquas reversas (Martins Fonseca, *in prelo*).

### 2.3. Estudos Geofísicos

A fim de reforçar o entendimento das condições geológico-geotécnicas e hidrogeológicas da região em estudo, foi realizado levantamento geofísico pelo método de eletrorresistividade e potencial espontâneo. O levantamento teve como objetivo a análise da influência de estruturas geológicas (falhas e fraturas) sobre o desenvolvimento dos aquíferos das unidades presentes nos taludes analisados. Os perfis foram distribuídos ao longo dos acessos dos taludes da cava. A Figura 6A apresenta o mapa de potencial espontâneo e a Figura 6B o perfil de eletrorresistividade da linha geofísica 04, desenvolvida sobre a área da voçoroca.

No mapa apresentado na Figura 6A é possível observar os baixos de potencial espontâneo (tons azuis) que indicam as possíveis zonas de entrada d'água, com o fluxo, em geral, descendente, e os altos (em vermelho) indicando as possíveis zonas de saída, com fluxo ascendente. As setas sugerem as possíveis direções e os sentidos do fluxo, de montante para jusante, no sentido do *bottom pit*.

No perfil geofísico de eletrorresistividade da linha 04 disposto na Figura 6B, observa-se um elevado contraste entre as resistividades elétricas na região da ruptura (retângulo vermelho), cuja geometria se apresenta verticalizada. Na porção oeste, têm-se anomalias de alta resistividade com valores superiores a 3.000 Ohm. Em contrapartida, na porção leste, têm-se anomalias de resistividade intermediária com valores inferiores a 2.000 Ohm. Ainda, ocorre de forma restrita e superficial anomalias de baixa resistividade cujos valores são inferiores a 700 Ohm (cores frias). Em campo, esta região constitui o contato entre o depósito cenozoico e os itabiritos dolomíticos, nesta região foi mapeado uma falha (falha reversa oeste), conforme indicado no perfil geológico da seção A-A (Figura 5). Assim, o contraste entre as anomalias geofísicas é consistente com as informações de campo, uma vez que ele se dá no contato entre materiais que possuem texturas distintas e, conseqüentemente, apresentam resistência a passagem da corrente elétrica diferente.

Com base na análise dos dados geofísicos é possível inferir que os materiais do depósito cenozoico se apresentam menos resistivos à passagem de corrente elétrica se comparados com o itabirito dolomítico. Essa resposta pode estar associada a quantidade de argila que este material possui (de 30 a 50 %). A porção argilosa adsorve a água (maior condutividade), no entanto, podem não transmitir entre as camadas dos sedimentos (Souza & Gandolfo, 2021). Na área da ruptura, a baixa resistividade é marcante em toda a extensão dos taludes inferiores, enquanto nos taludes superiores essa característica se concentra especificamente na região onde se desenvolveu a voçoroca.

Essa assinatura indica a possível presença de litotipos com maior condutividade hidráulica, associados aos arenitos, cascalhos e materiais alterados e/ou fraturas saturadas por infiltração de água pluvial na região da voçoroca (ruptura), delimitada pelo retângulo vermelho. Na região da ruptura, a baixa resistividade elétrica pode indicar a presença de materiais mais saturados, intemperizados e/ou com alta condutividade hidráulica, como arenitos, cascalhos e zonas fraturadas. Essa anomalia, concentrada nos taludes inferiores e na área da voçoroca nos taludes superiores, sugere infiltração pluvial e possível fluxo subterrâneo. A área de ruptura, destacada pelo retângulo vermelho nos modelos geofísicos, evidencia uma possível zona de fragilidade hidrogeomecânica.

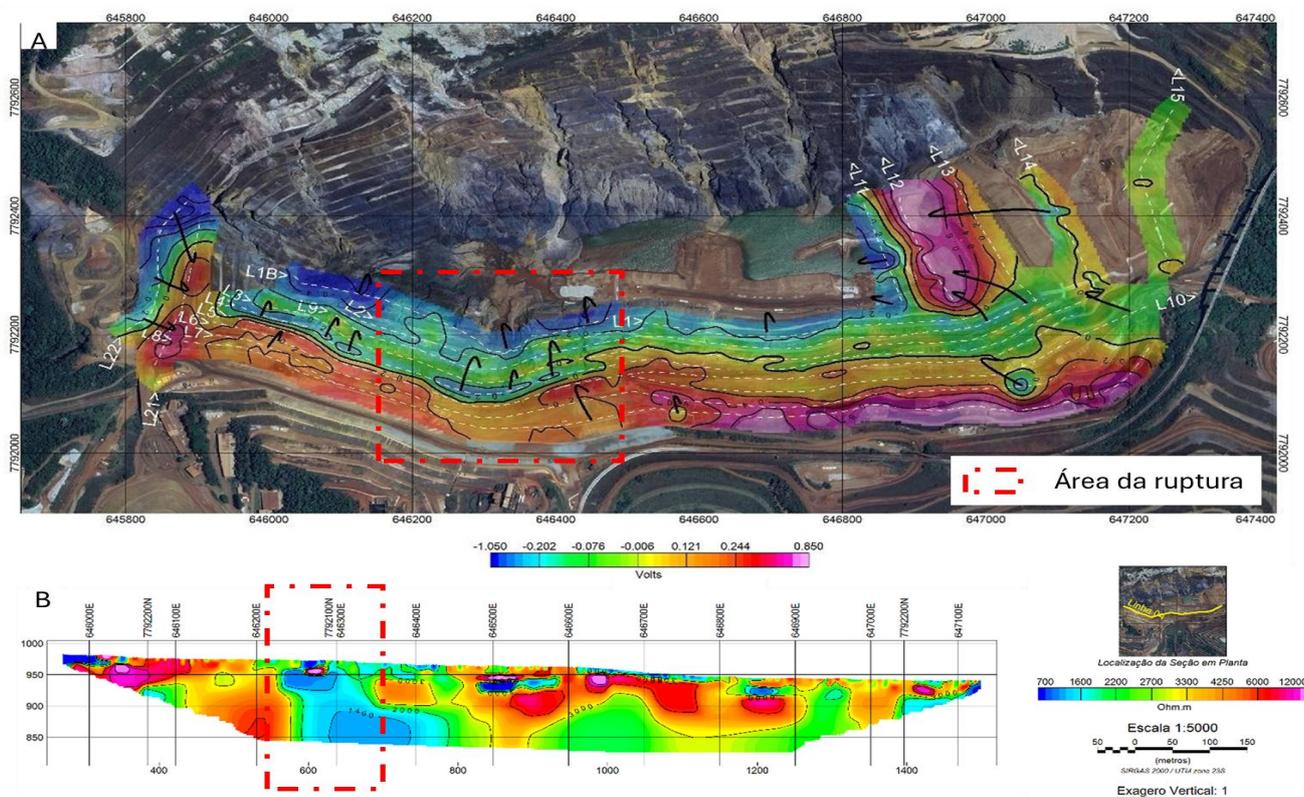


Figura 6: A) Mapa de potencial espontâneo indicando as direções de fluxo d'água subterrâneo para o bottom pit, região da ruptura. B) Perfil de eletrorresistividade, linha geofísica 04, contraste entre cores quentes a oeste e frias a leste na área da ruptura, retângulo vermelho.

## 2.4. Caracterização Hidrogeológica

A superfície freática 3D (Figura 7A) foi definida no *software* PLAXIS Designer a partir de 309 pontos, sendo onze instrumentos especificados em projeto para o monitoramento hidrogeológico/geotécnicos, dentre os quais sete piezômetros (PZ) e quatro medidores de nível d'água (INA), e 298 pontos virtuais, a fim de ajustar a superfície de interpolação às restrições impostas pela compartimentação hidrogeológica.

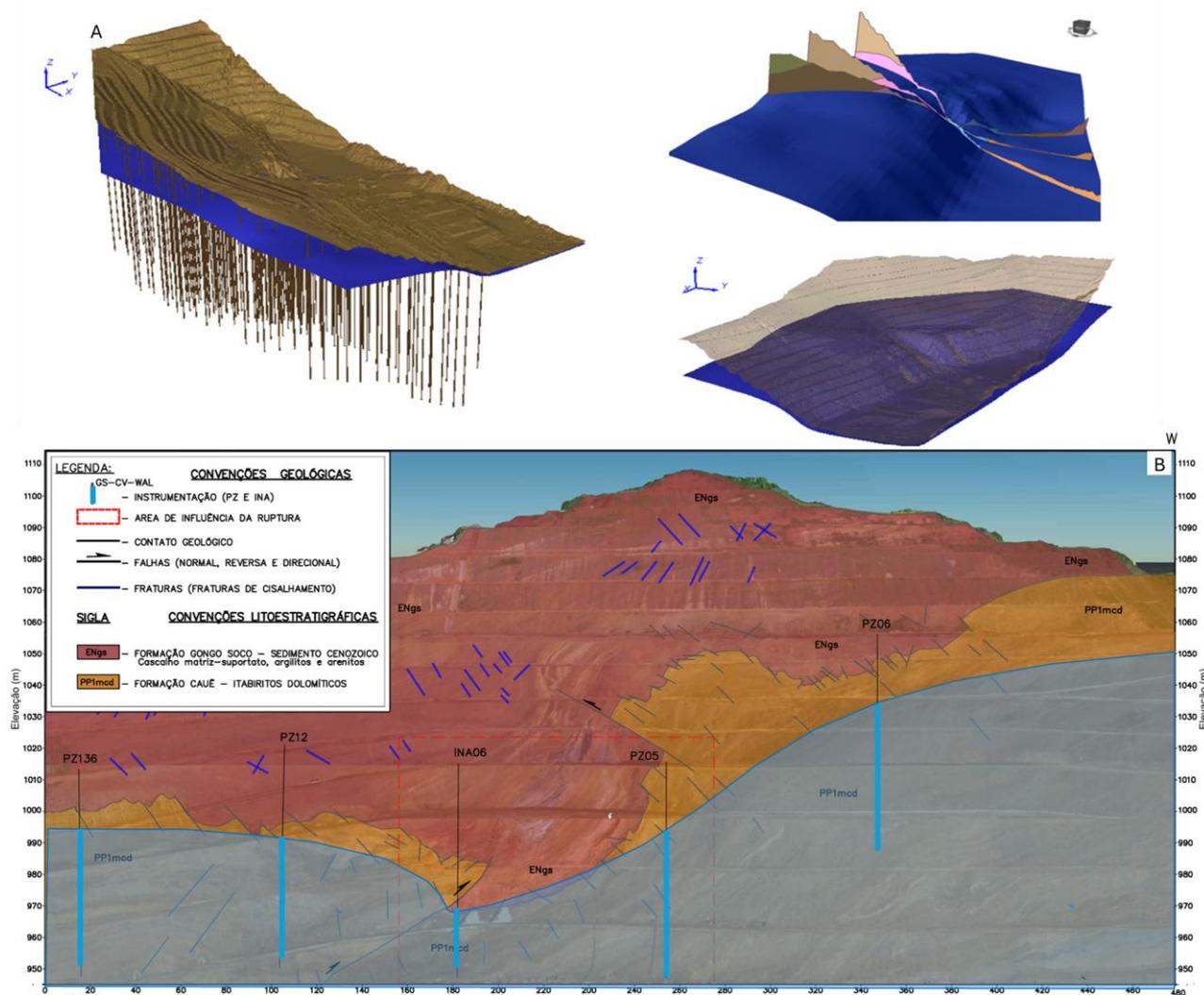


Figura 7: A) Modelagem da superfície freática do Talude Sul realizada no PLAXIS Design. B) Seção geológico-geotécnica A-A' com a projeção da superfície freática identificada.

Estudos hidrogeológicos com modelagem matemática numérica sugeriram permeabilidades do Sistema Aquífero Sedimento Cenozoico (SASC) superiores ao Sistema aquífero Itabirito Dolomítico (SAID). Avaliações preliminares de campo somado aos dados de monitoramento de nível d'água, além do comportamento geotécnico dos materiais geológicos descrito neste trabalho, evidenciam um contraste na capacidade dos maciços transmitirem água, no setor do Talude Sul da cava. As grandezas encontram-se em ordem inversa a apresentadas no modelo matemático, ou seja, a permeabilidade do SASC como um todo, inferior à do SAID. Deve ficar claro, que este comportamento foi verificado no âmbito das estruturas citadas (talude sul da cava), tendo em vista o contexto genético das fácies sedimentares do SASC. As características hidráulicas desta unidade podem possuir variações em toda sua área de abrangência, e devem ser estudada setor a setor.

A heterogeneidade de aquíferos de natureza semelhante à Formação Gongo Soco, foram observadas em outras porções do Quadrilátero Ferrífero como apresentado em CPRM (2005). Neste estudo depósitos semelhantes, chamados de Depósitos Aluviais Antigos, foram descritos

com um caráter descontínuo, anisotrópicos e heterogêneos, com predominância de porosidade e permeabilidade primárias e transmissividades altamente variável, refletindo os fatores genéticos associados ao *modus* de sedimentação.

Ensaio de infiltração executados no SASC podem revelar valores de permeabilidade pontualmente elevados, quando executado nas extensas lentes arenosas, como descrito no item “2.2 Caracterização Geológico-Estrutural e Geotécnica”. No entanto devido a heterogeneidade desta unidade, estas lentes podem ocorrer intercaladas com níveis mais argilosos (argilito vermelho, siltitos ocres e arenitos finos de cores) prejudicando a interconectividade hidráulica destas zonas (mais permeáveis), refletindo em uma Condutividade Hidráulica Equivalente reduzida para o maciço SASC como um todo.

Verifica-se atualmente que, no talude, o nível freático se encontra mais elevado na porção a oeste da região da ruptura, em decorrência da compartimentação provocada pelo contraste de condutividade hidráulica dos maciços (SASC e SAID), conforme ilustrado na Figura 7B. Nesta figura, observam-se um efeito de semiconfinamento exatamente na zona de ruptura devido a ocorrência do SASC, com reduzida permeabilidade local, em maiores profundidades.

Este efeito de semiconfinamento ficou bastante evidente com a exumação do nível piezométrico do SAID, manifestando-se como surgências nos taludes durante o processo evolutivo das erosões tratados aqui neste trabalho, bem como durante as escavações necessárias para correções dos seus efeitos negativos.

### 3. DISCUSSÕES

#### 3.1. Evolução da Ruptura

A evolução dos processos erosivos se intensificou após o encerramento das atividades de lavra na cava, em 2016. As imagens de satélite abaixo (Google Earth), Figura 8, ilustram a evolução da ruptura entre os anos de 2017 até a condição de ruptura final, em junho de 2022.

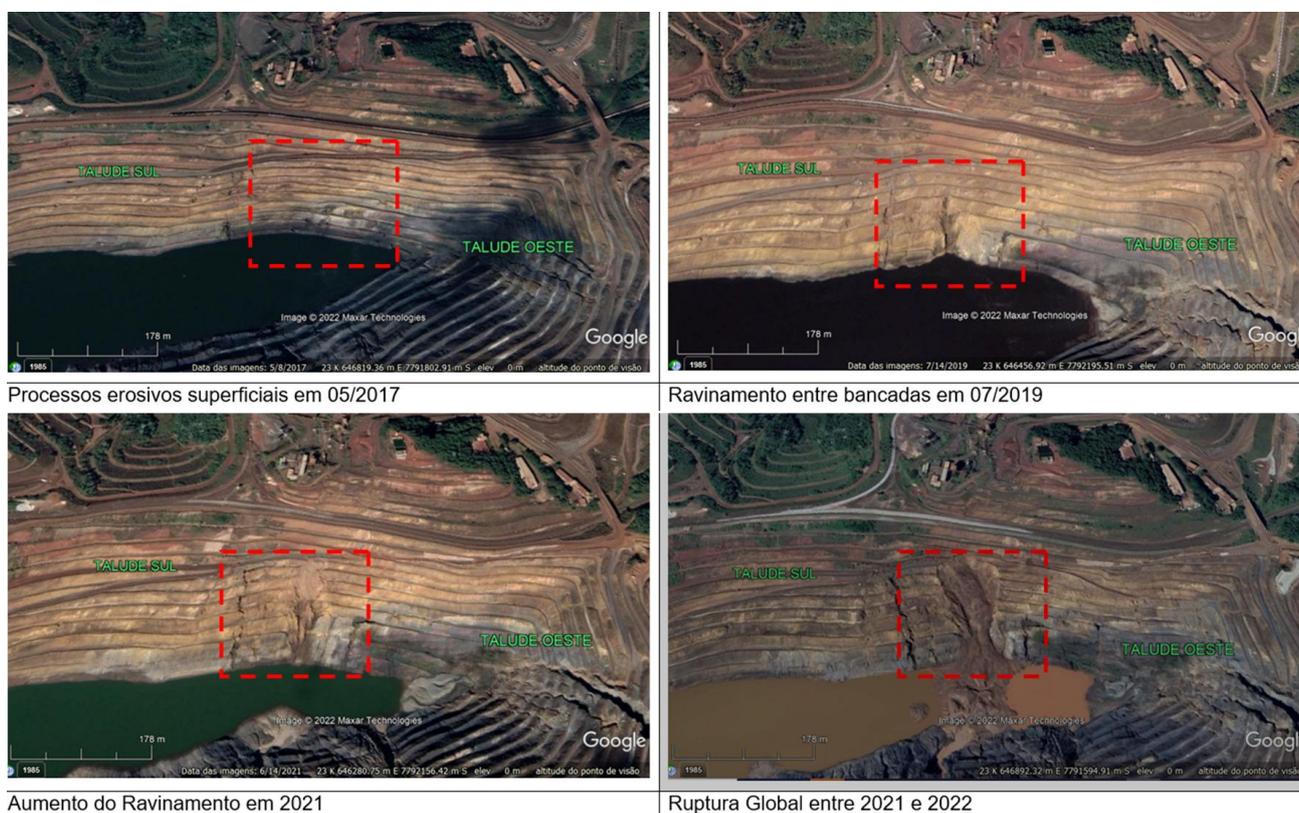


Figura 8: Evolução do processo erosivo entre maio de 2017 a junho de 2022. Área de influência da ruptura delimita pela linha tracejada em vermelha.

Com o fim das atividades de lavra houve um período de defasagem nas atividades de manutenção de drenagem superficial (pluvial) e na interrupção do bombeamento de poços tubulares utilizados para o desaguamento de mina.

A ausência de obras necessárias para disciplinar o escoamento superficial permitiu a ocorrência de afluxos descontrolados de águas pluviais ao longo dos taludes da mina. No caso do Talude Sul, em um primeiro momento, houve a instalação de processos erosivos superficial incipientes (ravinamento). Devido a paralisação dos poços tubulares profundos para desaguamento de mina, o nível freático elevou-se a ponto de aflorar na base das linhas erosivas (ravinas) instaladas. A conexão entre o nível piezométrico subterrâneos do SAID (manifestando-se como descargas de água subterrânea – surgências - na base da erosão) e os processos erosivos em superfície (no SASC) favoreceu uma rápida evolução de uma erosão incipiente para um estágio mais avançado, de voçorocamento. Em um período intermediário, entre o início do processo até a evolução até o voçorocamento, tiveram que ser admitidas restrições de acesso (pessoas e equipamento) a área em questão, o que impossibilitou a aplicação de medidas mitigadoras que pudessem interromper a instalação dos processos erosivos.

### **3.2. A Voçoroca**

O fenômeno (voçoroca) se desenvolve na interface entre sedimentos cenozoicos e itabiritos dolomíticos. As condições geológico-estruturais observadas na seção A-A' evidenciam o papel da tectônica cenozoica, geradora da bacia (falhas normais e reversas) no controle do gradiente hidrogeológico da área. A falha reversa a oeste, ao elevar os itabiritos dolomíticos do bloco ocidental, influencia diretamente a distribuição do nível d'água, resultando na elevação piezométrica nessa porção em comparação à leste. Esta compartimentação hidráulica foi constatada por meio da instrumentação (piezômetros e INAs) da cava e sugere que as falhas cartografadas atuam como barreiras e/ou planos preferenciais do fluxo subterrâneo, condicionando a dinâmica da água subterrânea e, conseqüentemente, favorecendo o desenvolvimento dos processos erosivos (*piping*) e das instabilidades associados à área. Embora a foliação das rochas mergulhe para dentro da face do talude, favorecendo sua estabilidade física, a permeabilidade dos materiais e o alto potencial de erodibilidade do itabirito alterado (baixa resistência, friável), contribui para a evolução do fenômeno.

Os resultados obtidos nas análises hidrogeológicas e nos estudos geofísicos apontam para fluxos subterrâneos com direção NW-SE, paralelo à direção dos contatos geológicos e no sentido do talvegue, em direção à área da ruptura. As anomalias de baixa resistividade elétrica estão claramente associadas às características texturais e composicionais dos materiais presentes, como os depósitos cenozoicos, ricos em argilominerais, e os itabiritos, que apresentam significativa porosidade intergranular devido à sua natureza arenosa. Embora os depósitos cenozoicos sejam, em geral, pouco permeáveis devido à predominância da fração argilosa (de 30 a 50 %), resultados localizados de ensaios de permeabilidade podem indicar condutividade hidráulica elevada, atribuída à presença pontual de cascalhos mal selecionados com matriz argilo arenosa, os quais podem superestimar a permeabilidade média do maciço como um todo.

As particularidades hidrogeológica e a interação neotectônica entre materiais do depósito cenozoico e seu embasamento (itabiritos) condicionou uma compartimentação hidráulica refletida no nível piezométrico da região. Apesar de localmente permeáveis, os sedimentos cenozoicos apresentam camadas de argila inter-estratais reduzindo a condutividade equivalente do maciço gerando elevados gradientes hidráulicos em distâncias relativamente pequenas.

A exumação do nível d'água, intensificada pelo seu reposicionamento em cotas mais elevadas, somado ao rebaixamento da cota topográfica ocasionado por processos erosivos, promoveram a instalação de um processo de voçorocamento, resultando na deflagração progressiva de uma ruptura global.

## **4. CONCLUSÕES**

Ressalta-se assim que os sedimentos cenozoicos, apesar de agrupados sob uma mesma designação, exibem grande heterogeneidade faciológica, o que resulta em ampla variação e

compartimentação interna e conseqüentemente de zoneamento da condutividade hidráulica que deve ser determinada em âmbito local.

Os processos que deflagraram a ruptura por piping dos taludes investigados são complexos e dinâmicos. Para compreendê-lo, fez-se necessário uma abordagem completa envolvendo os aspectos geológico-estruturais, geotécnicos, e hidráulicos dos materiais que constituem os maciços.

O monitoramento inadequado somado a estudos desenvolvidos com base em dados coleta parciais de dados hidrogeológicos e/ou generalizações podem mascarar os processos que efetivamente estão atuando no maciço. Torna-se imprescindível a correta definição e coleta dos parâmetros mínimos necessários para o entendimento da dinâmica de tais processos para, assim, prever ações mitigadoras, em caso de falha, e evitar maiores prejuízos financeiros.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à empresa VALE S/A pela disponibilização dos dados que viabilizaram a realização deste trabalho, e à WALM BH Engenharia pelo apoio e suporte institucional ao desenvolvimento das atividades técnicas e científicas.

## REFERÊNCIAS

- Alkmim F.F., Marshak S. 1998. Transamazonian Orogeny in the Southern São Francisco Craton Region Minas Gerais Brazil: evidence for Paleoproterozoic collision and collapse in the Quadrilátero Ferrífero. *Precambrian Research*, 90:29-58.
- Castro P.T.A., Varajão A.F.D.C. 2020. O Cenozoico no Quadrilátero Ferrífero. In: Castro P.T.A, Endo I., Gandini A.L. (Eds.). *Quadrilátero Ferrífero: avanços do conhecimento nos últimos 50 anos*. Belo Horizonte: 3i, p. 166-193.
- Dorr J. van N. II. 2nd. 1969. Physiographic, stratigraphic and structural development of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. In: *Professional Paper, Washington, USGS/DNPM, 641-A: 110*.
- Daher, A. P. D. C., Uhlein, G. J., & Mattioli, J. (2024). Characterization of Bandeira Sedimentary Basin on Serra do Tamanduá, Northeastern Region of Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. *Brazilian Journal of Geology*, 54(1), e20230009.
- Martins Fonseca, W. (*in prelo*, 2025). *Análise Estrutural e Caracterização Faciológica da Formação Gongo Soco, Porção Central do Sinclinal do Gandarela - Quadrilátero Ferrífero - MG*. Universidade Federal de Minas Gerais. Dissertação de Mestrado. 157p.
- Projeto APA Sul RMBH: hidrogeologia, mapa hidrogeológico, escala 1:50.000 em 3 partes. Décio Antônio C. Beato, André Luiz M. Monsores, Antônio Carlos Bertachinni.- Belo Horizonte: SEMAD/CPRM, 2005.
- SOUZA, L., & GANDOLFO, O. (2021). *Geofísica aplicada à geologia de engenharia e meio ambiente: manual de boas práticas*. São Paulo: ABGE.
- Varajão A.F.D.C., Mateus A.C.C., Santos M.C., Varajão C.A.C., Oliveira F.S., Yvon J. 2020. The Cenozoic deposits of the ancient landscapes of Quadrilátero Ferrífero highlands, Southeastern Brazil: sedimentation, pedogenesis and landscape evolution. *Catena*, 195:104813. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.104813>