

MONITORAMENTO ANÁLISE DA ESTABILIDADE DE DISPOSIÇÃO DE REJEITOS DE MINÉRIO DE FERRO EM UMA CAVA PARALISADA INUNDADA POR ÁGUA

Romildo Gomes dos Santos – Universidade Federal de Minas Gerais
romildog13@vale.com

Leandro Azevedo da Silva - Universidade Federal de Minas Gerais
leandro.geotecnia@gmail.com

Renan Collantes Candia - Universidade Federal de Minas Gerais
rcandia@demin.ufmg.br

RESUMO

Após o rompimento de uma barragem de rejeito de minério de ferro em Brumadinho, uma grande área florestal foi atingida com a lama afetando todo o ecossistema da região. Surgiu então a necessidade de destinar todo esse material para algum lugar e recuperar toda a área degradada. A forma mais rápida e segura para solucionar esse problema, foi a utilização de uma cava paralisaada que apresentava 40 metros de altura de lâmina de água para destinação desse rejeito com um volume de aproximadamente 11Mm³, com baixo dano ambiental e risco de acidentes. Uma das condições para a utilização da cava para disposição do rejeito seria o acompanhamento geotécnico para monitorar a estabilidade da estrutura e salvaguardar os operadores durante o acesso ao interior da cava. Os resultados das análises de estabilidade e do monitoramento até o momento foram satisfatórios.

Palavras-chave: Rejeitos de mineração; Cavas exauridas; Estabilidade de talude; Monitoramento.

ABSTRACT

After the rupture of an iron ore tailings dam in Brumadinho, a large forest area was affected with the mud affecting the entire ecosystem of the region. Then the need arose to allocate all this material to some place and to recover the entire degraded area. The quickest and safest way to solve this problem was the use of a paralyzed pit that had a height of 40 meters of water depth for the disposal of this tailings with a volume of approximately 11Mm³, with low environmental damage and risk of accidents. One of the conditions for using the pit to dispose of the tailings would be geotechnical monitoring to monitor the stability of the structure and safeguard operators during access to the interior of the pit. The results of the stability analyze so far have been satisfactory.

Keywords: Mining tailing; Exhausted pit; Slope stability; Monitoring.

INTRODUÇÃO

Após o rompimento da Barragem B1 na Mina Córrego do Feijão, ocorrido em 25/01/2019 (Figura 1), foram iniciadas ações com caráter emergencial, incluindo a escavação dos rejeitos, coordenada pelo Corpo de Bombeiros Militar de Minas Gerais (CBMMG) para localização de vítimas. Essa atividade de escavação é a fonte geradora de resíduos (vegetação, Metais, etc). Devido a isso, os rejeitos deverão ter um cuidado especial antes de qualquer tipo de movimentação.

Neste trabalho, será abordada a disposição de rejeito da barragem B1 que estava inativa, a qual continha 11 Mm³ de rejeitos e com a sua ruptura, surgiu a necessidade de uma destinação deste material tomando como premissa a minimização de impactos ao meio ambiente assim como a minimização de riscos de acidentes e incidentes.



Figura 1: Imagem após a ruptura da Barragem 1.

A ideia de empilhamento do rejeito foi descartada por não atender as necessidades do manejo do rejeito, que precisaria seguir os critérios de acordo com ensaios prescritos pela ABNT para compactação, geometria e teor de umidade. Desta forma, destacaremos os pontos positivos para a disposição de rejeitos em cava:

- Solução rápida de contenção emergencial do rejeito, considerando que o volume da cava acomodaria toda a deposição necessária de rejeito;
- Ganho na segurança geotécnica da estocagem ao manter o rejeito confinado em uma cava;
- Ter a possibilidade de disposição de rejeito em períodos chuvosos;
- Considerando que a cava é uma área antropizada, o impacto visual é reduzido e facilita a recuperação da área na atividade de descomissionamento.

Para acompanhar o trabalho de disposição de rejeito na cava, os vários trabalhos de monitoramentos, inspeção e as análises de estabilidade são importantes. Os trabalhos de

monitoramento e inspeção geotécnica têm por objetivo analisar o comportamento das estruturas geotécnicas e identificar feições de degradação, instabilidade e situações de risco quanto à perda ou redução do fator de segurança de estruturas, como os taludes de uma cava, por exemplo. Para o monitoramento está sendo utilizado os radares terrestre e orbital, levantamento topográfico (prismas) e batimetria como acompanhamento das deformações dos taludes principalmente a parede norte da Cava.

A disposição de rejeito iniciou-se em março de 2020 utilizando o ponto 2 como mostra a Figura 2. Uso de caminhões fora de estrada conduzindo o rejeito até o ponto específico e uma máquina direcionando o rejeito para o fundo da Cava. O trabalho de disposição paralisou devido ao início da pandemia do Covid 19 e se mantém paralisado.



Figura 2: Início da disposição de rejeito nos pontos 1, 2 e 3.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Geologia Local

Na Mina de Córrego do Feijão, de acordo com o mapeamento, foram identificados 21 litotipos. A principal diferenciação neste modelo ocorre dentro da formação ferrífera Cauê, que possui sublitotipos classificados conforme suas propriedades físicas, enriquecimento do conteúdo de ferro e ocorrência de contaminantes MDGEO (2019). Um ponto a se destacar na Figura 3, é a representação de um dique máfico, conforme o mapeamento realizado por Endo & Oliveira (2005). De acordo com o trabalho da MATRA (2004) na região da cava a foliação/xistosidade tem em média caimento subvertical para SE.

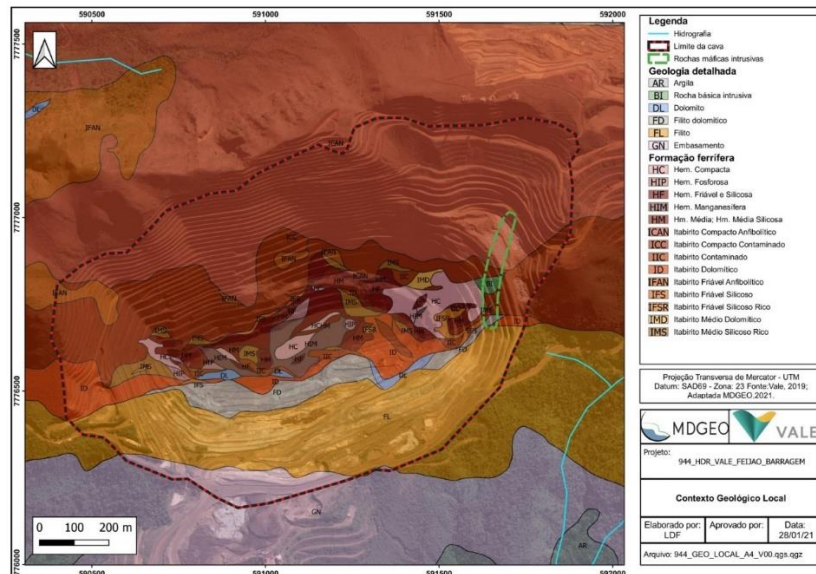


Figura 3: Mapa geológico da Mina Córrego do Feijão (MDGEO, 2019).

Levantamento topográfico

O teodolito eletrônico é muito semelhante ao óptico, na estrutura e nos princípios básicos de medição de ângulos. As diferenças estão no sistema de leitura, registro e manuseio de dados. Neste caso, o processo é feito eletronicamente e controlado por um microprocessador. Com a possibilidade da armazenagem de dados pode-se dispensar o registro dos dados por parte do observador ou anotador em folhas ou cadernetas de papel, garantindo, assim, maior validação dos dados adquiridos no campo (ANTUNES, 1995)

Monitoramento por radar orbital

Segundo Constantini (et al 2013) a interferometria SAR de satélite é uma técnica amplamente utilizada para detectar e monitorar com precisão milimétrica movimentos lentos do terreno, por exemplo, devido a deslizamentos de terra, subsidência, terremoto e fenômenos vulcânicos. Entre as muitas aplicações, o monitoramento de deformações do solo devido às atividades de mineração é de alta relevância, mas particularmente difícil porque a cena muda com o tempo, o que causa perda de coerência interferométrica e também torna normalmente impossível ter modelos de elevação digital (DEMs) atualizados. Os resultados obtidos possibilitaram observar vários fenômenos importantes e ter uma visão global consistente de toda a área de mineração, o que seria impossível pelas medições tradicionais em campo, com medições muito densas caracterizadas por localização métrica e precisões de deslocamento milimétricas.

Monitoramento por radar terrestre

Segundo Nader (2013) as análises dos resultados do radar demonstram o benefício econômico da aplicação da alta tecnologia de monitoramento de taludes por radar, visando a continuidade das operações em áreas sob suspeita de colapso ou deslizamento, com a segurança de não se incorrer em riscos pessoais e patrimoniais nas operações de mineração e também em situações que apresentam possibilidade de aprimoramento dos ângulos de taludes operacionais de minas, através do monitoramento contínuo das faces de lavra.

Topobatimetria

Segundo Pacheco (2010), batimetria é uma técnica utilizada para a obtenção de medidas de profundidades, ou seja, para medir a distância vertical entre a superfície da água e o leito abaixo dela, em corpos d'água. O levantamento batimétrico pode ser definido como o estudo da continuidade da topografia entre duas margens, a fim de se conhecer o terreno submerso na água. Esse conhecimento pode auxiliar diversos estudos, em suas mais variadas áreas, como construção de barragens, estudo de assoreamento para navegação fluvial ou potencial gerador de energia para a instalação de usinas hidrelétricas, entre outros.

Estabilidade de talude em Mineração a céu aberto

Segundo Nader (2013), com o aumento da produção na mineração e que por consequência, altos taludes nas minas, o emprego de atividades seguras e eficientes nas minas tornou-se imprescindível. Neste tipo de empreendimento, uma simples falha pode causar um enorme prejuízo. Diante de tal fato, alguns ramos da indústria vêm estudando categoricamente o uso de técnicas que minimizem os riscos inerentes a uma área de mineração. Uma dessas técnicas baseia-se no controle da segurança existente nos taludes de uma determinada mina através de estudos amparados por dados de radares.

Segundo Huallanca (2004), os principais fatores que controlam a estabilidade de taludes nas minerações a céu aberto são:

- A estrutura do maciço rochoso: Litotipos, rocha intacta, descontinuidades e zonas de cisalhamento;
- Tensões in situ induzidas presentes no maciço, sendo que essas últimas decorrem dos avanços das escavações;
- A resistência do maciço rochoso no que se refere a rocha intacta e descontinuidades presentes;

- As condições hidrogeológicas, ou seja, variação da linha freática, sua transmissividade e armazenamento, bem como o comportamento do aquífero, no que se refere à presença ou não de aquíferos, (tipo de aquífero confinado);
- A geometria da cava, considerando-se a inclinação dos ângulos dos taludes e curvaturas, principalmente as convexidades;
- As condições sísmicas oriundas de desmontes, e/ou eventos sísmicos;
- Os fatores climáticos, ou seja, em que região a respectiva cava se encontra.

Segundo Costa (2009) embora existam inúmeras classificações, as mais utilizadas em minerações a céu aberto são as de Bieniawski (1973, 1976 e 1989), com o índice RMR (Rock Mass Rating), ou índice de qualidade do Maciço Rochoso, e a de Barton et al.(1974), com o índice de Qualidade Q. Mais recentemente, Hoek (1994) propôs o sistema GSI (Geological Strength Index), que, de caráter mais qualitativo, tenta substituir os dois sistemas anteriores para fins de obtenção de parâmetros de deformabilidade e resistência do maciço rochoso.

Segundo Costa (2009) existem vários tipos de classificação de movimentos de massa, essas classificações podem estar focadas na velocidade do movimento, tipo de material, geometria e etc.

As mais utilizadas são aquelas que levam em consideração o tempo de duração do evento e são basicamente divididas em dois grandes tipos de movimentos de massa de terrenos e volumes bem definidos, cujo centro de gravidade se desloca para baixo e para fora do talude.

Um primeiro tipo de movimento é definido como rastejamento, onde ocorrem movimentos lentos e um segundo tipo de movimento é denominado escorregamento ou ruptura são fenômenos de rápida duração e de maneira geral são eventos catastróficos de entendimento, previsão e controle mais difícil que os rastejos.

De maneira geral, para que ocorra movimento de massa é necessário que a resistência média ao cisalhamento do solo ou rocha e as tensões médias de cisalhamento na superfície potencial de escorregamento tenha decrescido; este decréscimo pode ser abrupto ou gradual com deformação progressiva ou escalonada do corpo acima da superfície.

As rupturas progressivas são mecanismos de bastante importância na compreensão da movimentação global da ruptura.

Esse tipo de ruptura se dá em estágios que podem ser progressivos que tendem a ser mais instável com o passar do tempo. Possuem maior potencial de desenvolver movimentos repentinos, pois a resistência decresce com a mobilização enquanto a nova geometria adquirida permanece instável, apresentam ainda resistência de pico maior que a residual. Rojas (1995)

Ocorrem ainda rupturas em cunha, tombamento flexural, queda de blocos e flambagem entre outros SJOBERG (1996). Esses quatro principais mecanismos podem ser observados no diagrama da Figura 4.



Figura 4: Mecanismo de ruptura mais comuns em mineração (SJOBERG,1996)

Crítérios de Ruptura da rocha intacta, das discontinuidades e do maciço rochoso.

Provavelmente uma das questões mais difíceis de serem avaliadas é a estimativa das tensões antes e após a ruptura do maciço rochoso. Atualmente são utilizados vários “Crítérios de resistência” (Tabela 1) para estimar as tensões correspondentes ao pico de resistência.

Tabela 1: A tabela sumariza os principais critérios de resistência, forma de obtenção dos parâmetros e suas aplicações (Assis 2020)

Tipo de Material		Crítério de Resistência	Forma de Obtenção dos Parâmetros
Rocha Intacta		Mohr-Coulomb	Direta (ensaio de cisalhamento direto ou triaxiais)
		Hoek & Brown	
Descontinuidade	Contato parede/parede	Barton & Choubey	Semi-direta (ensaio simples)
	Parcialmente preenchida	Mohr-Coulomb	Indireta (parâmetros Jr e Ja da classificação de Barton et al., 1974)
	Preenchimento dominante	Mohr-Coulomb	Direta (ensaio de cisalhamento no material do preenchimento)
Maciço Rochoso		Mohr-Coulomb	Indireta (parâmetros através de classificações geomecânicas ou com a determinação do GSI)
		Hoek & Brown	

Os métodos podem ser divididos em não rigorosos (NR) que não satisfazem integralmente às condições de equilíbrio estático global ou para as fatias individuais; ou rigorosos (R), que satisfazem integralmente a essas condições de equilíbrio e, teoricamente, fornecem resultados mais confiáveis (ALVARES, 2004). O resumo dos principais métodos é apresentado na Tabela 2.

Tabela 2: Características dos principais métodos de equilíbrio limite (Álvares, 2004).

Método	Tipo	Hipótese	Tipo de superfícies/ Aplicações
Fellenius	NR	Desconsidera forças entre fatias	Circular
Bishop Simplificado	NR	Força entre fatias é horizontal, força cisalhante entre as fatias é nula.	Circular/ Determinado a partir de equilíbrio de momento.
Janbu Simplificado	NR	A resultante das forças entre as fatias é horizontal e um fator empírico. Faz as correções quanto as forças cisalhantes entre as fatias.	Qualquer/ Solos homogêneos, determinado a partir de equilíbrio de momento. Diferencia-se do Bishop pela força entre fatias ser igual a zero.
Janbu Generalizado	NR	Localização da força normal entre fatias é definida considerando uma linha de verdade.	Qualquer/ O equilíbrio de momento e de forças da última fatia não é satisfeito; o FS é determinado por equilíbrio de momentos.
Spencer	R	Resultantes das forças entre fatias são de inclinação constante através da massa potencial de escorregamento.	Qualquer.
Morgenstern Price	R	A direção das resultantes das forças entre fatias é determinada utilizando uma função arbitrária. A porcentagem da função, λ , requerida para satisfazer os equilíbrios de força e momento é calculada através de um sistema rápido de solução.	Qualquer.
GLE	R	A direção das resultantes das forças entre fatias é definida utilizando uma função arbitrária. A porcentagem da função, λ , requerida para satisfazer os equilíbrios de momento e força é calculada encontrando um ponto de interseção no gráfico fator de segurança versus λ .	Qualquer

METODOLOGIA

Desta forma, a disposição de rejeitos em cava é uma solução positiva para a contenção do volume necessário do rejeito, considerando que o volume da cava acomodaria toda a deposição necessária, gerando ganho na segurança geotécnica da estocagem ao manter o rejeito confinado em uma estrutura fechada, ter a possibilidade de disposição de rejeito em períodos chuvosos.

A disposição de rejeitos na Cava de Córrego do Feijão será realizada nesse primeiro momento por caminhões fora de estrada (CAT 777) com capacidade de 110 toneladas carregando o rejeito nas áreas da pontos de disposição e basculando em pontos diferentes da borda da cava. Após encaminhamento prévio à Instalação de tratamento de Minério. Está se estudando outras formas de disposição para diminuir o risco de acidentes dentro da Cava. Foram definidas, alternativas de disposição na cava, considerando quatro pontos de lançamento

conforme Figura 5. Os pontos foram definidos em consideração a litologia do local e tamanho da praça para dar segurança operacional.

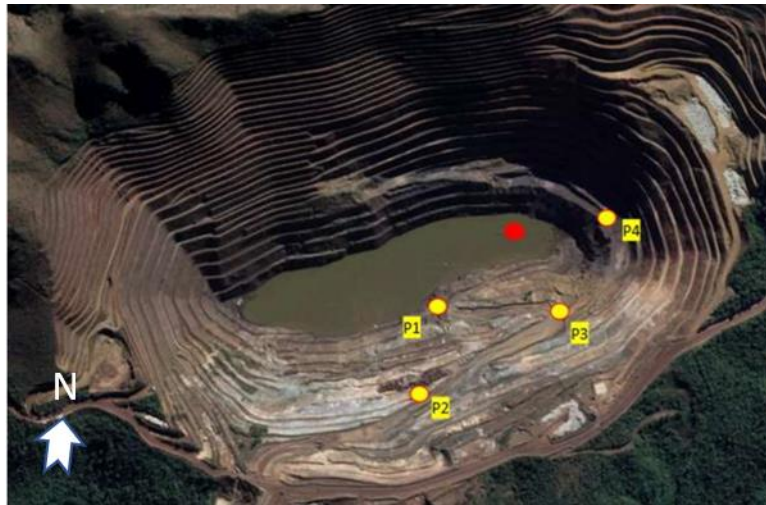


Figura 5: Pontos para lançamento de rejeito na cava. Fonte: Google Adaptada de (Vale, 2020).

Com o acréscimo do rejeito no fundo da cava, acarretará a subida do nível de água e possíveis solapamentos no pé do talude causando erosões. Tudo isso contribui para a alteração com o aumento ou não na deformação em todas as paredes da cava. Diante disso, será realizado o monitoramento por radar orbital, radar terrestre, acompanhamento topográfico e monitoramento topobatimétrico. Os monitoramentos fornecerão o acompanhamento da possível deformação da cava durante o trabalho de disposição causada principalmente pelo efeito de onda no pé do talude. Este monitoramento fornecerá apoio a equipe da operação de mina devido ao tipo de disposição que será empregado, no qual será por caminhão fora de estrada.

Radar Orbital

Prover análise e monitoramento de deslocamento do terreno através de processamento interferométrico de imagens de Radar de Abertura Sintética (SAR) utilizando o método PS (Persistent Scatterers) e suas variações. A utilização de radares (RADAR= RAdioDetectionAndRanging) que operam com micro-ondas permite:

- Nuvem e vapor d'água são praticamente transparentes;
- É sensor ativo e não depende de iluminação solar.

Sensibilidade à distância, rugosidade e umidade.

A frequência na disponibilização dos resultados é semestral e é uma excelente ferramenta para acompanhar a deformação da estrutura como todo. O radar orbital promove uma

varredura geral, dentro e fora da cava, fornecendo um resultado amplo. As inspeções são realizadas usando também o resultado dessa varredura.

Radar Terrestre

Para o monitoramento através do radar terrestre será utilizado o modelo IBIS FM, com precisão linear de 0,1mm e resolução de 0,75x4.4m (1Km) com uma distância de aproximadamente 500 metros da parede a ser monitorada. Tempo de aquisição curto: apenas alguns minutos para uma digitalização de resolução completa a longo alcance (2 minutos a 2 km). O monitoramento é realizado online e os resultados serão analisados de 6 em 6 horas (turno a turno). Medição contínua de movimentos de paredes / declives com precisão submilimétrica a distâncias de até 4 km. Este monitoramento tem como objetivo acompanhar a deformação da parede norte principalmente durante os trabalhos de correção/manutenção dos taludes.

Monitoramento topográfico

O monitoramento topográfico através da estação total S8, abrange somente deformações superficiais e funciona como complemento do monitoramento por radar, e neste âmbito oferece diversas informações: Deformação vetorial, deformação horizontal, deformação vertical, velocidade, direção, inclinação de estruturas, entre outras que podem ser desdobradas a partir destas. O levantamento topográfico será realizado semanalmente dependendo da necessidade.

Levantamento topobatimétrico

Por meio do levantamento topobatimétrico da área de influência de um reservatório de água, independentemente de qual seja o seu uso, é possível determinar o mapeamento do leito e margens, identificar os locais onde ocorrem processos de erosão ou assoreamento dentro do reservatório, estimativa dos volumes erodidos e assoreados, diferenças entre perfis transversais para monitoramento dos processos de erosão e sedimentação. Este levantamento também é importante para as análises de estabilidade, pois, influencia no resultado dos fatores de segurança dependendo do volume disposto no fundo da cava.

Análise de estabilidade

Para a caracterização e classificação geomecânica dos maciços foram utilizados os critérios do sistema de classificação RMR – “Rock Mass Rating”, (Bieniawski, 1989).

Para as análises de estabilidade será usado método de equilíbrio limite e o software slide 2018 da Rocscience. As seções serão analisadas levando em consideração aos taludes mais altos e susceptíveis a rupturas como por exemplo, talude norte.

As análises de estabilidade disporão objetivos de avaliar a condição de estabilidade dos taludes antes e durante a disposição de cerca de 7 Mm3 de rejeitos no fundo da Cava na condição saturada (40 metros de lâmina de água). Os fatores de segurança foram obtidos considerando os diferentes tipos de materiais (litologia/classes de maciço/parâmetros de resistência), condições geométricas, hidrogeológicas e os diferentes níveis de água devido ao preenchimento.

Resultados e discussão

Análise dos monitoramentos

O monitoramento da Cava está sendo realizado 24 horas por dia com relatórios semanais no primeiro momento e atualmente estão sendo gerados relatórios turno a turno (a cada 6 horas). Com o início da disposição de rejeito nos primórdios de março de 2020, o radar identificou uma deformação na parte inferior da parede norte da Cava conforme Figura 6.

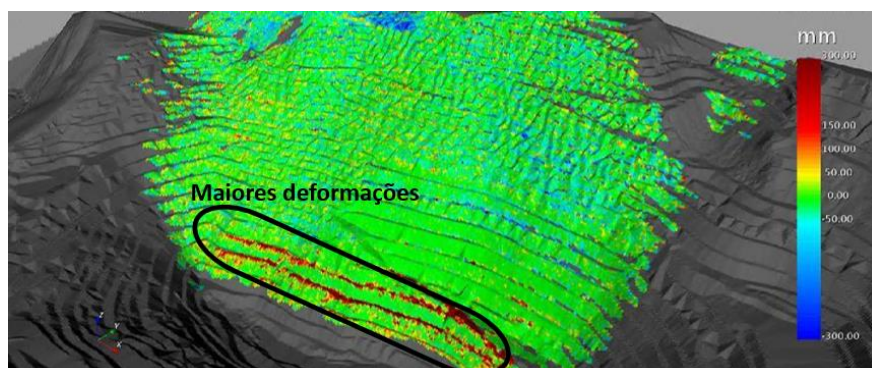


Figura 6: Imagem extraída do monitoramento do radar terrestre.

Esta deformação foi causada pela subida do nível freático e por consequência, evolução das erosões onde podem ter sido motivadas pelo efeito de ondas causando solapamento como pode ser visto na Figura 7.



Figura 7: Solapamento na parte inferior da parede norte em março de 2020.

De acordo com o resultado do monitoramento por satélite, no período de 05/01/2018 a 24/01/2019 foram observadas deformações em torno de 45mm/ano na parede leste. Podemos associar essa deformação com as atividades de retaludamento desenvolvidas na região. As deformações em torno de 9mm/ano, estão associadas as atividades de disposição de rejeito na região sul da cava Figura 8.

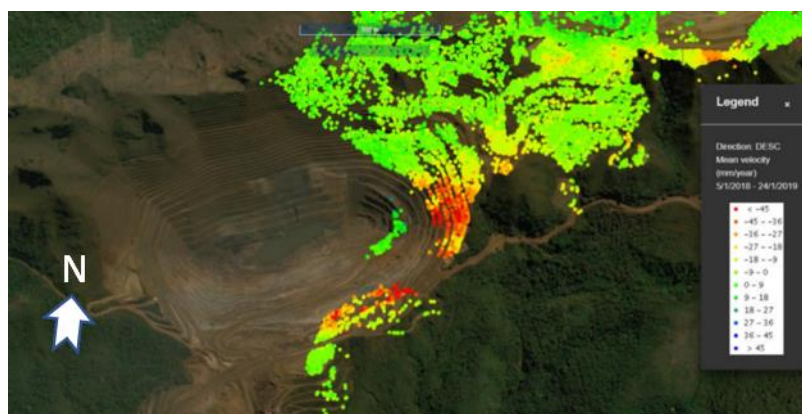


Figura 8: Imagem retirada do radar orbital entre 2018 e 2019.

O levantamento realizado entre 2020 a 2021, apresentou deformação em torno de 18 a 27mm/ano, na região noroeste da cava. Essa deformação está condicionada ao período chuvoso onde tivemos maiores deformações, corroborando com históricos anteriores. Parte da parede sul, região com deformação em torno de 45mm/ano devido a disposição de rejeito no local.

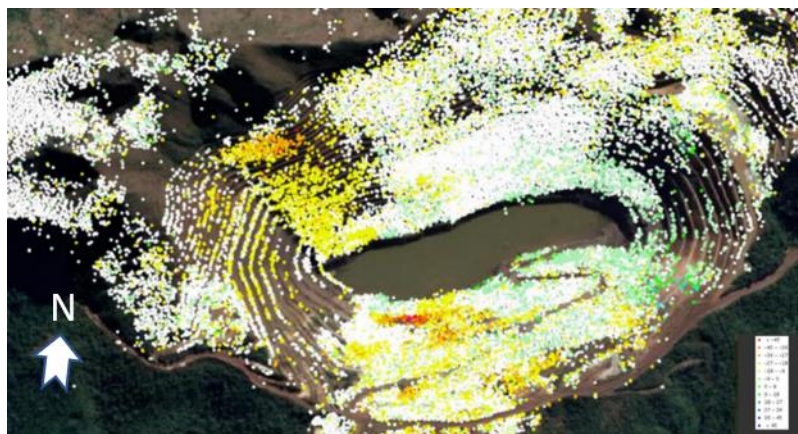


Figura 9: Imagem retirada do radar orbital entre 2020 a 2021.

Para uma análise complementar, utilizamos o levantamento topográfico a partir das leituras dos prismas implantados na Mina. Os prismas foram instalados estrategicamente na região noroeste devido ao histórico de deformação no local como podem ser vistos na Figura 10.

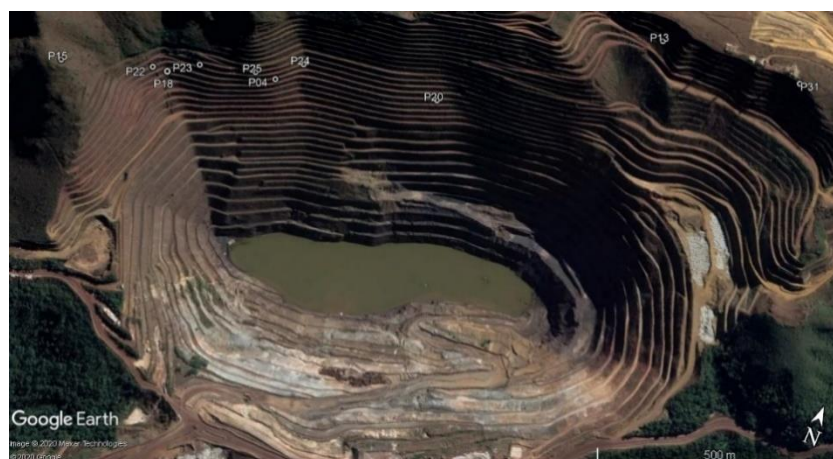


Figura 10: Localização dos prismas.

O monitoramento topográfico também identificou deformações na região noroeste principalmente em períodos de chuva. Em destaque os prismas O prisma CFJ-018, CFJ-022 e CFJ-023, apresentou variação de deslocamento entre a faixa de 5mm durante o período chuvoso de outubro de 2020 até março de 2021. Essa deformação começa a diminuir no mês de fevereiro confirmando uma tendência de movimento cíclico como pode ser observado nas Figuras 11 e 12.

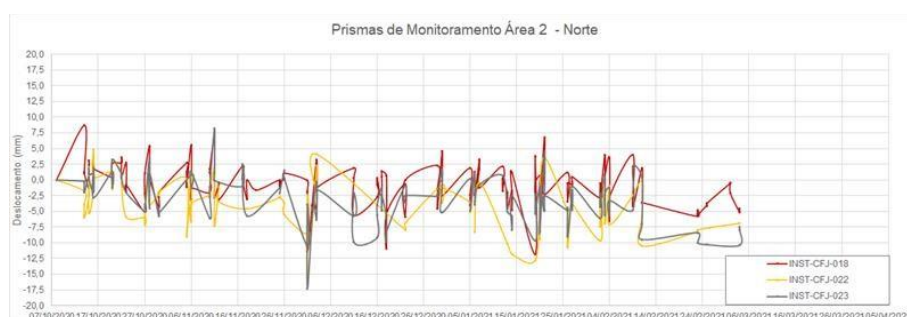


Figura 11: Gráfico de deslocamento na coordenada norte

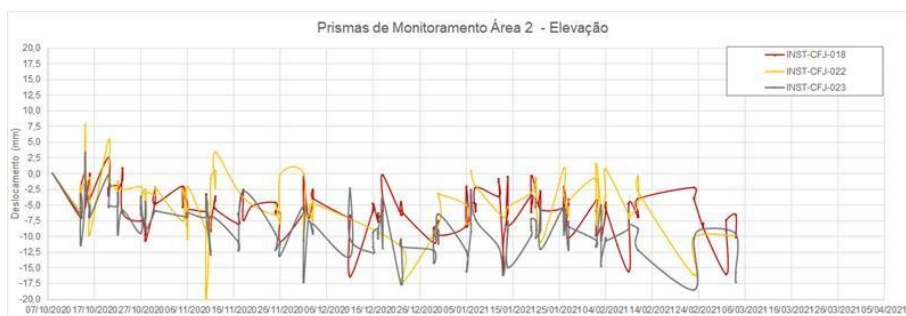


Figura 12: Gráfico de deslocamento na coordenada Z(Elevação).

As informações dos níveis de água são importantes para as análises de equilíbrio limite principalmente durante as atividades de disposição de rejeito. A Figura 13 apresenta a localização dos INA's instalados na cava.



Figura 13: Mapa de localização dos indicadores de nível d'água.

Em destaque o INA 7916 que se encontra mais próximo a região de maior deformação durante o período chuvoso. Podemos observar no gráfico da figura 14 que o mesmo não mostrou grandes elevações permanecendo na cota 1025 metros.

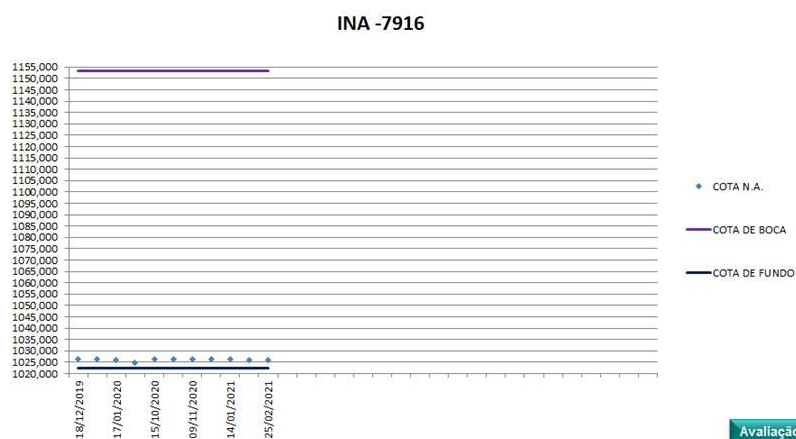


Figura 14: Gráfico Cota x tempo.

Com relação a batimetria, a primeira leitura foi iniciada em janeiro de 2020 e as informações levantadas na última leitura foram as seguintes:

- Área Total: 93.020,849 m²;
- Perímetro: 1.595,546 m;
- Área Hidrografada: 89.362,1 m²;
- Volume de Água: 1.962.899,8 m³.

Resultado das Análise de estabilidade

As análises de estabilidade tiveram por objetivo avaliar a condição de estabilidade dos taludes antes da disposição de rejeitos no fundo da Cava. Realizou-se simulações com diferentes níveis de água e do volume de rejeito no fundo da cava. Cenário sem rejeito lançado, Rejeito na cota 1002 e lago na cota 1020 e rejeito na cota 1002 e lago na cota 1080. Os fatores de segurança foram obtidos considerando os diferentes tipos de materiais (litologia/classes de maciço/parâmetros de resistência), condições geométricas, hidrogeológicas. A Figura 15 mostra a localização das seções.

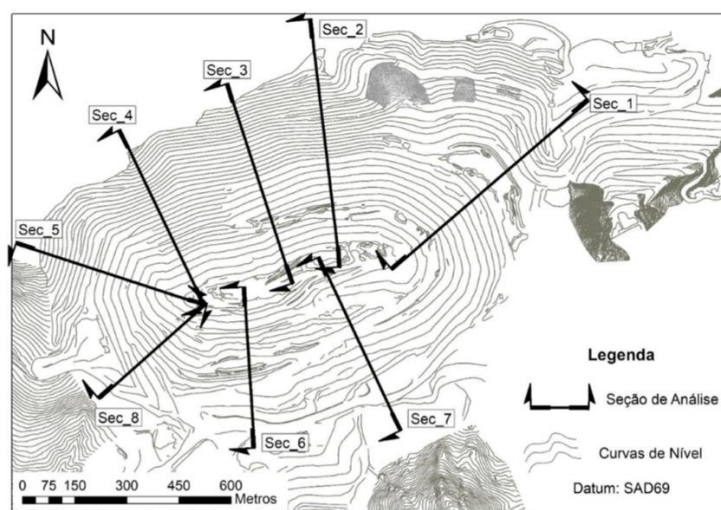


Figura 15: Localização das seções.

A Tabela 3 apresenta os resultados obtidos nas análises de estabilidade para os taludes da Cava nos diversos cenários da altura do rejeito no interior da cava somado ao nível de água.

Tabela 3: Resultados obtidos das análises de estabilidade nos diversos cenários.

Seção	Cenários	Fator de segurança
1	01 (sem rejeito lançado)	2,05
	02 (Rejeito na cota 1002m e lago na 1020m)	1,92
	03 (Rejeito na cota 1002m e lago na 1080m)	1,92

2	01 (sem rejeito lançado)	1,72
	02 (Rejeito na cota 1002m e lago na 1020m)	1,70
	03 (Rejeito na cota 1002m e lago na 1080m)	1,70
3	01 (sem rejeito lançado)	1,30
	02 (Rejeito na cota 1002m e lago na 1020m)	1,28
	03 (Rejeito na cota 1002m e lago na 1080m)	1,29
4	01 (sem rejeito lançado)	1,22
	02 (Rejeito na cota 1002m e lago na 1020m)	1,21
	03 (Rejeito na cota 1002m e lago na 1080m)	1,18
5	01 (sem rejeito lançado)	1,17
	02 (Rejeito na cota 1002m e lago na 1020m)	1,16
	03 (Rejeito na cota 1002m e lago na 1080m)	1,15
6	01 (sem rejeito lançado)	1,25
	02 (Rejeito na cota 1002m e lago na 1020m)	1,64
	03 (Rejeito na cota 1002m e lago na 1080m)	2,43
7	01 (sem rejeito lançado)	1,77
	02 (Rejeito na cota 1002m e lago na 1020m)	1,60
	03 (Rejeito na cota 1002m e lago na 1080m)	1,94
8	01 (sem rejeito lançado)	1,64
	02 (Rejeito na cota 1002m e lago na 1020m)	1,37
	03 (Rejeito na cota 1002m e lago na 1080m)	2,01

Os critérios de aceitação de projetos adotados sugerem que os resultados das análises de estabilidade desenvolvidas para os taludes de mineração em termos de abordagem determinística (Fator de Segurança - FoS) devem atender aos valores mínimos típicos tanto para a condição de carregamento estático e dinâmico em torno de 1.3. Destacando as seções 5 e 4 onde obteve-se fatores de segurança de 1.17 para ruptura global e 1.22 para ruptura interarampa respectivamente.

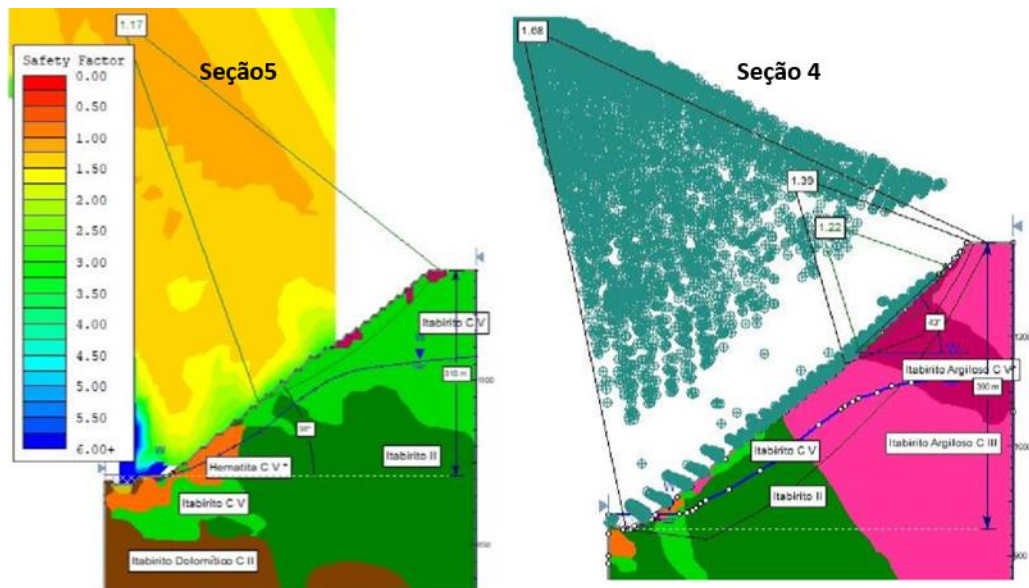


Figura 16: Posição das superfícies de ruptura das seções 4 e 5 sem rejeito lançado.

De acordo com as simulações, para a cota do lago 1020 destaca-se a seção 5. À medida que na medida que o Nível de água sobe, seu fator de segurança diminui conforme figura 17

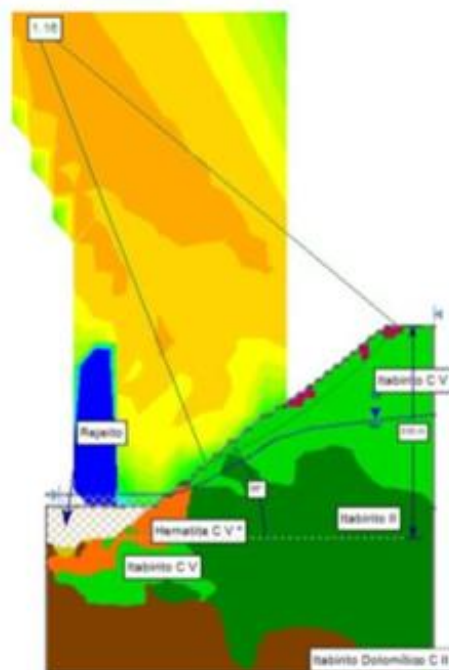


Figura 17: Posição da superfície de ruptura da seção 5 com rejeito na cota 1002.

Para o nível de água na cota 1080, a simulação mostra um decréscimo de 0.1 no fator de segurança para a seção 5 e de 0.3 para o fator de segurança da seção 4 como mostra a figura 18

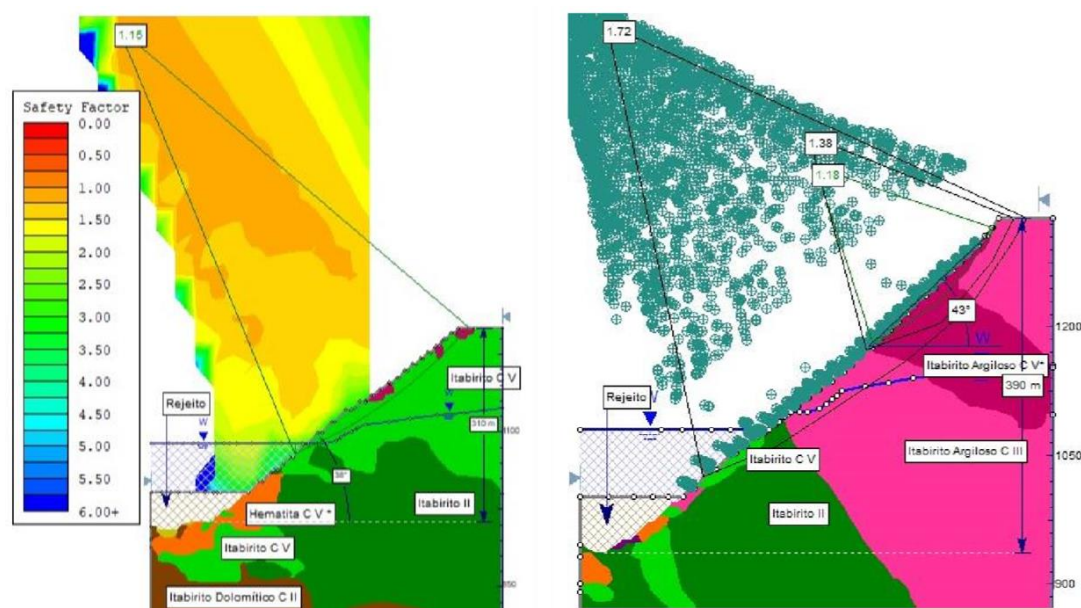


Figura 18: Posição das superfícies de ruptura das seções 4 e 5 com cota do nível de água 1080.

CONCLUSÕES

De acordo com os resultados de monitoramento, a principal parede de análise, parede norte da Cava, chama a atenção com o aumento na velocidade de deformação na parte inferior da Cava devido ao efeito de onda causando erosões. Para ajudar na quebra de onda, está em fase de contratação, dispositivos para minimizar esse problema.

Para mitigar esse problema está em fase de estudo uma alternativa para diminuir ou eliminar a evolução da retroerosão, além de um trabalho de contenção dos taludes já afetados.

A região noroeste apresentou uma deformação de 27mm entre 2020 a 2021, sendo essa deformação associada ao período chuvoso. Foi instalado dispositivos de alarmes criados nos sistemas de monitoramento via radar terrestre, que auxiliarão na tomada de decisão.

De acordo com os resultados da batimetria, o rejeito não está influenciando na subida do nível de água, pois a maior parte do rejeito está localizado nos taludes da cava.

Com base nos dados, foram realizadas análises de estabilidade de equilíbrio limite para os três cenários definidos para disposição de rejeitos no interior da cava confinada.

Considerando os resultados apresentados na Tabela 4, as seções 4 e 5 apresentam fatores de segurança abaixo do recomendado que seria de 1.3, porém algumas ressalvas devem ser feitas no que se refere a condição da estabilidade nestas regiões. A Seção 4 tem sua superfície de menor fator de segurança na porção superior do talude global, além de estar em uma porção côncava da cava, o que gera para a região um efeito 3D positivo sob o ponto de vista de estabilidade. A seção 5 também está localizada em uma porção côncava do talude,

portanto, se beneficia dos mesmos efeitos positivos de estabilidade descritos acima. As seções 4 e 5 serão revistas após novo mapeamento, investigação de sondagem e novos ensaios que serão realizados em 2021.

A seção 3, apresenta no fundo da cava, grande quantidade de itabirito friável e hematita friável que apresentam parâmetros muito abaixo comparando com materiais com características similares, como a superfície de menor fator de segurança passa justamente por essa porção recomenda-se que essa seção seja revista em uma fase posterior.

As demais seções da Cava apresentam fatores de segurança satisfatórios. A elevação do nível de água e a disposição de rejeito não tem praticamente nenhum efeito sobre as superfícies de menor fator de segurança encontradas para as seções.

Para a região da seção 4 e 5, está se realizando um monitoramento mais detalhado e inspeções com periodicidade semanal para que se identifiquem movimentações que possam vir a ocorrer.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARES, R. O. (2004). Análise Probabilística e de Confiabilidade dos Taludes da Mina de Gongo Soco/ CVRD.Tese de Mestrado. UFOP Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil. Ouro Preto. 121p

ANTUNES, C. Apontamentos de Topografia – PT Lisboa: FC – UL, 1995.

BARTON, N.; LIEN, R.; LUNDE, J. (1974) – Engineering classification of rock masses for the design of tunnel suport. Roch Mech. Rock Eng., v.6, n.4, pp.189- 236.

BIENIAWSKI, Z.T. (1974) Estimating the strength of rock materials. J. S. Afri. Inst. Min. Metall., Vol 74, pp. 312-320

BIENIAWSKI, Z. T. (1976) – Rock Mass Classification in Rock Engineering. In Exploration for Rock Engineering .1, A.A.Balkema, Cape Town, pp. 97-106.

BIENIAWSKI, Z.T. (1978) Determining Rock Mass Deformability, Experience from case Histories.Int. Jr. Rock Mech. And Min. Sci. &Geomech. Abstr. Vol 15 pp. 237-247

BIENIAWSKI, Z. T. (1979). The geomechanics classification in rock engineering applications.Proc. 4th. Congr., Int. Soc. Rock Mech., Montreux 2. pp41-48.

COSTANTINI, M.; MALVAROSA, F.; MINIATI, F.; DE ASSIS, L. M. Operational Monitoring of Mines by COSMO-SkyMed PSP SAR Interferometry 13 maio 2016

COSTA, T. A. V. Caracterização Geológico-Geotécnica e Modos de Ruptura do Minério Hematítico Friável nas Minas da Vale, Borda Oeste do Quadrilátero Ferrífero. Universidade Federal de Ouro Preto, MG, 2009. Disponível em: <https://www.nugeo.ufop.br/teses-e-dissertacoes/59/>. Acesso em 15 junho 2020.

ENDO, I., & OLIVEIRA, A. (2005). Projeto Córrego do Feijão: Estratigrafia e arcabouço estrutural da Mina Córrego do Feijão, Quadrilátero Ferrífero - MG. CVRD/UFOP

HOEK, E. (1994) – Strength of Rock and Masses. ISRM, News Journal, 2(2): pp.4-16.

HUALLANCA, R. E. Z. (2004). Mecanismos de ruptura em taludes altos de mineração a céu-aberto. Dissertação de mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos, USP. 114p.

MATRA, 2004 - ESTABILIDADE DOS TALUDES DA MINA. CVRD300504;

MDGEO, 2019 - Avaliação Preliminar Do Potencial De Contaminação Do Aquífero E Modelo Hidrogeológico Conceitual. RL-2072GG-X-00008

MDGEO, 2019 – Modelagem Numérica e Simulações de Enchimento da Cava de Feijão. RL2072GG-X-00010

NADER, Alizeibek Saleimen. Monitoramento de taludes via radar SSR como indicador chave de desempenho geotécnico integrado às atividades primárias da cadeia de valor mineral. 2012. Tese (Doutorado em Engenharia Mineral) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012. doi:10.11606/T.3.2012.tde-04032013-153034. Acesso em: 2020-07-03.

PACHECO, C. A. K. Topobatimetria do Canal Entre as Ilhas do Lino e do Laje - RS/BR Porto Alegre: UFRGS, 2010

ROCSIENCE, Inc Sliders user's guide. 2001c; Slide Users Manual, version 2.1. C.C. Swan, Y. K. Seo. Toronto, 69 p.

ROJAS, V.E.M. (1995). Estabilidade de taludes de grande altura em mina a céu aberto. Dissertação de Mestrado. PUC Rio de Janeiro Departamento de Engenharia civil. Rio de Janeiro. 90

SJÖBERG, J. (1996). Large scale slope stability in open pit mining. A review – Technical Report 1996: 10T, Lulua University of Thechnology, Sweden.