

DOI: 10.47094/COBRAMSEG2024/252

Solução de Contenção para uma Ruptura Ocorrida sobre um Tratamento em Itabirito Friável

Sérgio Gonçalves Pena

Engenheiro Civil, FGS Geotecnia, Nova Lima, Brasil, pena@fgs.eng.br

Felipe Gobbi

Engenheiro Civil, FGS Geotecnia, Porto Alegre, Brasil, felipe@fgs.eng.br

Alvaro Pereira

Engenheiro Civil, FGS Geotecnia, Porto Alegre, Brasil, alvaro@fgs.eng.br

Anderson Fonini

Engenheiro Civil, FGS Geotecnia, Porto Alegre, Brasil, fonini@fgs.eng.br

Roberta Carolina Alves

Engenheira Civil, VALE S.A, Nova Lima, Brasil, roberta.alves@vale.com

RESUMO: O presente estudo caracteriza e apresenta uma solução de estabilização sobre uma instabilidade ocorrida em um tratamento de talude em solo grampeado associado a faceamento metálico, localizado em uma cava de mineração em processo de descomissionamento. Na região da instabilidade, foi constatado a partir dos grampos expostos que alguns destes não se encontravam fletidos, indicando que não foram mobilizados por tensões cisalhantes, conforme esperado para escorregamentos (planares/circulares). Com base em inspeções geotécnicas de campo foi constatado que a principal causa da instabilidade foi erosão progressiva de material em direção ao pé do talude, sobrecarregando o faceamento metálico e, conseqüentemente, ocasionando na ruptura do sistema. Como material geológico, foi observada a predominância de rocha branda, mais especificamente Itabirito Friável, cujo bandamento se encontra preservado em orientação desfavorável à estabilidade. A interpretação do modelo fenomenológico geotécnico indica que o mecanismo de instabilidade não é profundo, apesar da possibilidade de ocorrência. Com base neste foi dimensionado um tratamento de solo grampeado com faceamento metálico (com malha de grampos densificada e comprimento variado) e manta antierosivas, associado a vigas atirantadas e sistemas de drenagens superficiais na face do talude. A solução proposta considerou um FS mínimo superior a 1,30 e para superfícies profundas o valor de FS 1,20.

PALAVRAS-CHAVE: contenção de taludes, mecânica das rochas, erosão, estabilidade de taludes, análises de estabilidade.

ABSTRACT: The present study characterizes and presents a stabilization solution for an instability that occurred during slope treatment, in a mining pit undergoing decommissioning, in soil nail treatment associated flexible metal facing. In the region of instability, it can be seen from the exposed nails that some of them were not flexed, indicating that they were not mobilized by shear stresses, as expected for landslides (planar/circular). Based on field geotechnical inspections, it was found that the main cause of instability was progressive erosion of material, towards the foot of the slope, overloading the metal facing and, consequently, causing the system to collapse. The predominance of soft rock was observed, more specifically Friable Itabirite, whose banding is preserved in an orientation unfavorable to stability. The interpretation of the geotechnical phenomenological model indicates that the instability mechanism is not profound, despite the possibility of occurrence. Based on this, was designed a soil nail treatment associated flexible metal facing (with densified nail mesh and varying lengths) and erosion control mat, furthermore, was implemented beams with grouted tieback and surface drainage systems on the face of the slope. The proposed solution considered a minimum Safety Factor of 1.30 (defined by the contractor) and for deep surfaces the value of Safety Factor 1.20.

KEYWORDS: slope containment, rock mechanics, erosion, slope stability, stability analysis.

1. INTRODUÇÃO

Após a finalização das obras de estabilização sobre um talude de uma cava, em uma mina em processo de descomissionamento, localizada em Nova Lima, Minas Gerais, foi dada continuidade ao monitoramento da encosta (através de inspeções periódicas de equipe de geotécnicos, registros de vídeos e interpretação de dados de instrumentação com aquisição automática de dados) com o propósito de avaliar o desempenho das soluções técnicas implantadas durante sua vida útil, sendo que para o talude escopo do presente estudo foi adotada a solução de reforço do maciço por solo grampeado associado a faceamento metálico de alta resistência, com utilização de manta antierosiva, drenagem e revegetação.

Este conceito de solução consiste em solução passiva, entretanto o tensionamento do sistema é uma medida para prevenção de erosões superficiais e minimização dos deslocamentos para que o sistema entre em carga. O próprio projeto de estabilização previa a realização de manutenções periódicas, a fim de promover o tensionamento da malha e eventuais grampos adicionais na ocorrência de erosões ou instabilidades superficiais a fim de manter a eficiência do sistema projetado.

No decorrer do tempo, com base em inspeções contínuas da encosta, foi observado o avanço progressivo de patologias sobre a face do talude devido ao avanço de erosões e exposição dos grampos, sucedendo, por fim, em virtude da ausência de intervenções menores e periódicas, na ruptura do sistema. Um avanço significativo nos processos erosivos e na instabilidade se deu após um período de elevadíssima pluviometria, ocorrida em janeiro de 2020.

Dito isto, após realização de novas inspeções e levantamento do histórico da ruptura, entende-se que a causa da instabilidade foi a erosão progressiva de material em direção ao pé do talude, que implicou na sobrecarga do faceamento metálico na porção inferior e, conseqüentemente, ocasionou à ruptura do sistema, conforme será discutido no decorrer deste documento.



Figura 1-1: Talude de Estudo.

2. INSPEÇÃO DE CAMPO E MECANISMO DE INSTABILIDADE

Inspeção realizada no ponto da ruptura, onde foi verificado o material geológico predominante, condições da encosta para estudo do possível mecanismo de movimento e exequibilidade de intervenções geotécnicas. Dada as limitações de acesso ao local, realizou-se esta atividade através de acesso por corda.

Em síntese, por meio dos apontamentos apresentados pelos itens subsequentes, foi verificado que após os processos erosivos e patologias supracitadas, o talude apresenta geometria verticalizada (inclinação superior a 70°) e altura elevada (cerca de 25,0m). Ainda, foi constatado que o material geológico que compõe a encosta consiste no Itabirito Friável, que se manifesta na superfície formado por micro orientações dos minerais que impõem a uma anisotropia de resistência (Costa, 2009), cuja orientação se encontra favorável ao movimento gravitacional, portanto desfavorável à estabilidade do talude.

2.1. Levantamento Geológico-Geotécnico

O perfil de projeto foi definido a partir da observação da massa mobilizada e materiais ocorrentes sobre a face do talude. Para o ponto foi observada a predominância de rocha branda, mais especificamente Itabirito Friável, cujo bandamento se encontra preservado em orientação desfavorável, no sentido do movimento gravitacional, conforme constatado pelo levantamento estrutural apresentado no parágrafo seguinte.

A partir da coleta da inclinação e direção do bandamento do Itabirito sobre a face do talude, foi possível se comparar ao *dip/dip-direction* do talude, de forma a se compreender melhor a orientação da estrutura e sua respectiva cinemática de movimento. O bandamento possui inclinação de 43° com direção *S-E* (*dip direction de 100°*). A seção de projeto, com eixo na direção do movimento gravitacional, está na direção Leste (*dip direction de 77°*) com talude de inclinação de 68° (*dip*).

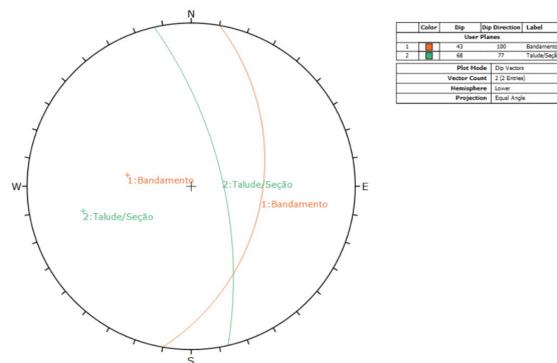


Figura 2-1: Levantamento estrutural do bandamento do Itabirito Friável na face do talude.



Figura 2-2: Levantamento geológico-geotécnico.

2.2. Mecanismo de Instabilidade

Previamente ao corte dos grampos expostos e bate choco do local, pode-se observar que após as movimentações alguns destes não se encontravam fletidos, indicando que o processo não mobilizou os grampos, conforme o esperado de escorregamentos (planares/circulares) usuais em taludes (Gersovich e Saramago, 2016). Ainda, a partir desta interpretação, aliada a velocidade do movimento observada, que ocorreu através de transporte/erosão progressiva de material em direção ao pé do talude, entende-se que o movimento é predominantemente superficial e de erosão, que ocasionou a “lavagem” de material sobre a face do talude, sendo este movimento majoritariamente entre grampos.



Figura 2-3: Sobrecarga Porção Inferior (a) e Grampos Expostos (b).

3. RETROANÁLISE E PARÂMETROS

Foram adotados como parâmetros base de análise aqueles gerados na fase de elaboração do projeto do talude do Patrimônio, obtidos com base em coletânea de ensaios de laboratório (Costa, 2009). Entretanto não foi realizada amostragem específica para este ponto em questão, logo, os parâmetros foram balizados por um procedimento de retroanálise, onde se procura representar a condição do talude na iminência de ruptura, processo este denominado retroanálise (ABNT, 2009). A estratigrafia foi determinada com base em mapeamento de campo, e foi confirmada com as perfurações da obra, tendo em vista a inviabilidade de posicionamento de equipamento de sondagem no talude em função dos acessos. As análises de estabilidade foram realizadas por métodos de equilíbrio limite por meio do *software Slide* (Versão 6.0), distribuído pela *Rocscience*.



Figura 3-1: Alinhamento de Seção de Projeto.

Na composição do modelo foram realizadas as seguintes considerações:

- Tratamento existente – inserção do sistema de tratamento anterior a ruptura. Este composto por grampos de 6,00 metros com espaçamento horizontal e vertical de 2,30 metros.
- Frente de saturação – visto que não foi observado para o ponto a ocorrência de um lençol freático, foi considerada uma frente de saturação, com espessura da ordem de 2,00 metros (conforme comprimento dos grampos expostos). A partir desta interpretação, busca-se convergir o modelo ao mecanismo de instabilidade observado, de rupturas superficiais.

- Parâmetros – partiram dos parâmetros de projeto do talude original, de referências como Costa, 2009; sendo adotado um modelo anisotrópico de resistência ao cisalhamento para representar a intercalação das camadas de Itabirito. Os parâmetros de resistência do modelo foram calibrados para a condição de iminência a ruptura, variando-se principalmente a coesão, visto que o ângulo de atrito interno para o Itabirito Friável normalmente apresenta baixo desvio de inclinação (FGS, 2014).

4. SOLUÇÃO PROPOSTA

4.1. Conceito de Tratamento

Devido as patologias apresentadas pelo item anterior, entende-se que o mecanismo de instabilidade não é profundo, apesar da possibilidade de ocorrência (que também será abordada pela intervenção), logo, foram propostas e dimensionadas as soluções dos itens subsequentes. Dentro do conceito de solução foram consideradas complementação da drenagem superficial para a reduzir o comprimento de fluxo de águas superficiais prevenindo o desenvolvimento de processos erosivos. Ainda prevê-se a implementação de manta vegetal projetada para revegetação do local.

4.1.1. Malha de Grampos Densificada

Será composta por duas malhas de grampos de menor comprimento que serão lançadas simultaneamente sobre o maciço, densificando o reforço por todo o maciço, impedindo a ocorrência de instabilidades de cunho superficial e entre grampos, mecanismo predominante sobre o ponto 21 do Patrimônio. Em síntese serão duas malhas com $EH=EV=2,20m$ sendo estas compostas por grampos de 6,00m e 4,00m, gerando uma malha final de 1,10m de espaçamento.

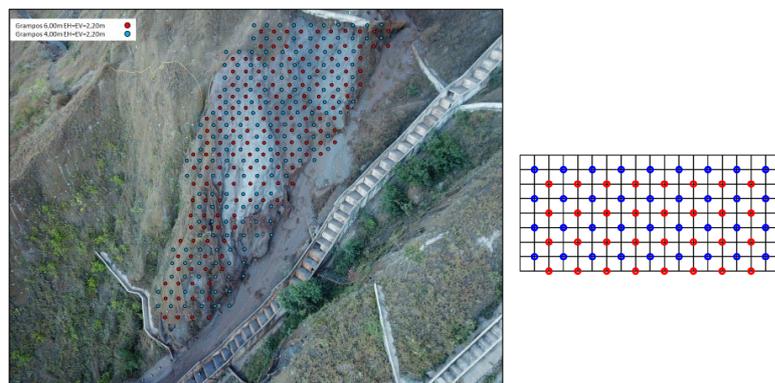


Figura 4-1: Malha Densificada de Grampos.

4.1.2. Viga Atirantada

Visam a utilização de forças ativas sobre o maciço, com perfurações de maior profundidade (16,00 metros), atuando no incremento do fator de segurança do maciço para superfícies a nível global (toda extensão do talude do ponto). Estas vigas também apresentarão em seu paramento superior haletas em concreto armado, que funcionarão como muretas para direcionamento de águas provenientes de escoamento superficial coletadas sobre da face do talude.

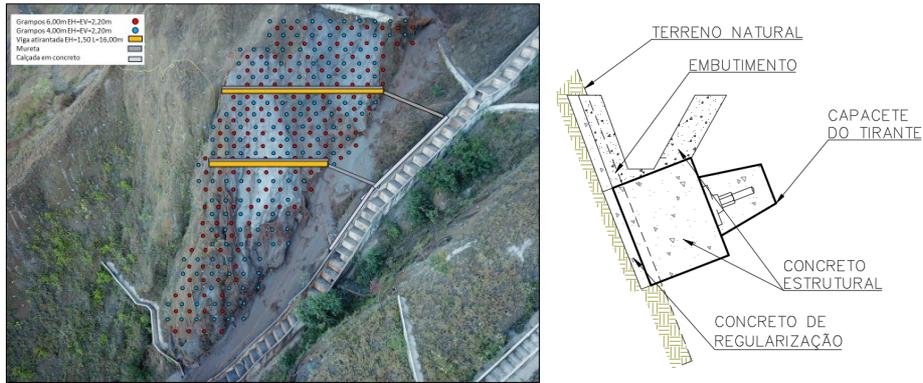


Figura 4-2: Malha Densificada + Vigas Atirantadas com Sarjeta.

4.2. Análises de Estabilidade e Fator de Segurança

Conforme a interpretação da projetista no que diz a respeito do mecanismo de instabilidade, entende-se que o fator de segurança de interesse é composto pelas superfícies mais externas, de menor profundidade. Para estas superfícies, obteve-se como FS mínimo valores superiores 1,30; em conformidade a ABNT (2009). A estabilidade global também foi verificada, sendo obtido nesta FS aproximado de 1,20. Importante ressaltar que os tirantes foram projetados para as rupturas profundas, e a questão de compatibilidade de deformações foi computada de forma indireta pela consideração dos reforços para as instabilidades a eles pertinentes (superficial = grampos; profunda = tirantes) e seus efeitos nas variações de fatores de segurança.

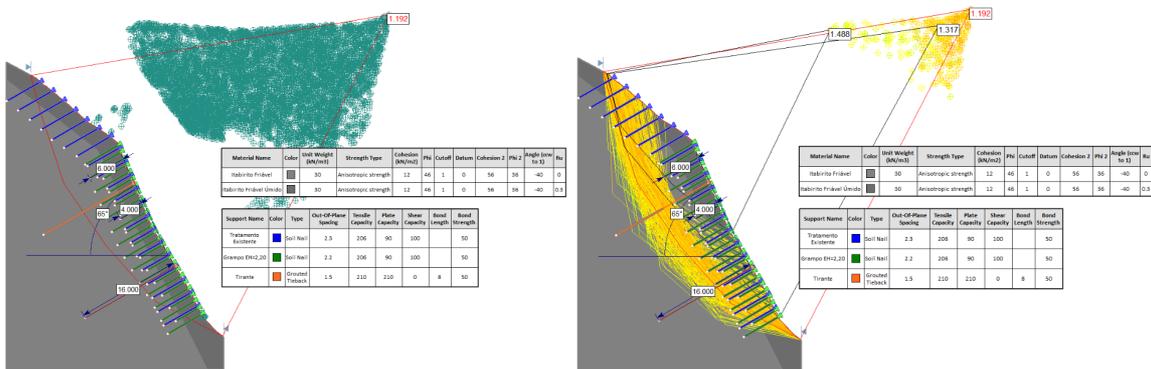


Figura 4-3: Análises de estabilidade.

5. CONCLUSÃO

A partir do monitoramento e inspeções de campo foi possível observar que a erosão continua de material em direção ao pé do talude, e ausência de manutenção periódica, implicou na sobrecarga do sistema em faceamento metálico, gerando a ruptura de um trecho do faceamento.

Dito isto, tem-se pela interpretação do modelo fenomenológico geotécnico que o mecanismo de instabilidade não é profundo, apesar da possibilidade de ocorrência. Sendo assim, foi dimensionada uma malha de grampos densificada para estabilização superficial, além de duas linhas de vigas atirantadas para combater as instabilidades mais profundas, estas com sarjetas trapezoidais embutidas, visando a redução das bacias hidrográficas contribuintes na face do talude, mitigando riscos de erosões futuras.

Ressalta-se, ainda, que o presente trabalho visa enfatizar a necessidade de manutenção, mapeamentos de campo, visitas técnicas e monitoramento contínuo das estruturas geotécnicas, para levantamento, coleta de dados e verificação das condições locais para elaboração de estudos e projetos, de forma que seja realizada uma modelagem realística a condição ocorrente em campo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2009). NBR 11682. *Estabilidade de encostas*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2021). NBR 16920-2: Muros e taludes em solos reforçados. Parte 2: Solos grampeados. Rio de Janeiro.
- COSTA, T.A.V. (2009) Caracterização Geológico-Geotécnica e Modos de Ruptura do Minério Hematítico Friável nas Minas da Vale, Borda Oeste do Quadrilátero Ferrífero – MG. UFOP, Nugeo, 212p.
- Gerscovich, D.; Danziger, B. R.; Saramago, R. (2016). *Contenções: teoria e aplicações em obras*. Oficina de Textos, São Paulo,
- FGS (2014). *Memória de Cálculo Fase 01 e 02 Descomissionamento Da MAC – Encosta Do Patrimonio E Cava Leste*. Nova Lima, Minas Gerais.