

DOI: 10.47094/COBRAMSEG2024/760

Importância de um Modelo Geológico-geotécnico bem Definido para Escolha de Alternativa de Estabilização de Erosão em Talude de Cava

Sandra Mara Ribeiro
Engenheira Civil, VALE, Belo Horizonte, Brasil, sandra.ribeiro@vale.com

Wanderson Gomes Victor
Engenheiro Geólogo, VALE, Santa Bárbara, Brasil, C0641147@vale.com

Felipe Freitas Oliveira
Engenheiro Civil, WALM Engenharia, Belo Horizonte, Brasil, felipe.oliveira@walmengenharia.com.br

Lucas Almeida Campos
Engenheiro Civil, WALM Engenharia, Belo Horizonte, Brasil, lucas.campos@walmengenharia.com.br

RESUMO: Quando se fala em estabilização de taludes, a litologia que compõe o mesmo, com seus parâmetros são cruciais para obtenção de fatores de segurança representativos do cenário real. Nesse sentido, a definição do modelo geológico-geotécnico, na concepção de um projeto de estabilização deve ser a primeira etapa, subsidiada por investigações de campo e ensaios de laboratório. Para abordar a importância dessa etapa, este trabalho traz um estudo de caso envolvendo a estabilização de um talude de cava de mineração. Vale mencionar que, no passado, a ausência de boas práticas e tecnologias sustentáveis na mineração acabou por gerar passivos, sobretudo em cavas. Grande parte desses passivos se deve à ausência de controle das águas superficiais, que contribuiu para o surgimento de muitos processos erosivos. Este trabalho avalia um talude localizado em uma parede de uma cava paralisada, que possui aproximadamente 210,0 metros de altura. A área sofreu uma ruptura significativa, com uma altura de 110,0 metros e uma largura média de 90,0 metros, devido à ação das águas pluviais e à falta histórica de dispositivos de drenagem, resultando na perda da geometria original de seus bancos. A reconformação da região comprometida teve como principal desafio a busca de uma geometria que atendesse ao fator de segurança mínimo exigido de 1,30 de forma emergencial, ou seja em curto prazo, dada que sua exposição à ação da chuva poderia agravar a erosão. Assim, o estudo de caso mostra a concepção da solução em dois diferentes cenários: um primeiro, logo após evento, onde o baixo número de investigações e informações geológicas, resultaram num modelo geológico-geotécnico estimado. Nesse cenário, a busca por uma geometria estável indicou a necessidade de dispositivos de drenagem complementares para garantia da estabilidade; num segundo cenário, os resultados da campanha de investigação complementar permitiram aperfeiçoar o modelo geológico-geotécnico, sendo possível encontrar uma solução mais simples, eliminando a necessidade de dispositivos de drenagem complementares. Logo, a maior precisão do modelo, obtida com os resultados das investigações, permitiu otimizar a solução de estabilização, sendo necessária apenas a reconformação geométrica, trazendo ganhos sobretudo de tempo, dada a emergência do problema. Dessa forma, um projeto, mesmo com suas limitações de prazo, deve priorizar a etapa das investigações e concepção do modelo, pois assim, além de garantir a segurança de forma mais assertiva, contribui para melhor utilização dos recursos, evitando custos desnecessários, e até mesmo ganho de prazo em outras fases do projeto.

PALAVRAS-CHAVE: estabilização, cavas, modelo geológico-geotécnico, talude.

ABSTRACT: When it comes to slope stabilization, understanding the lithology and parameters that makes up the slope is indeed crucial for obtaining safety factors representative of the real scenario. When establishing the geological-geotechnical model for a slope stabilization project, the first step should be field investigations and laboratory tests. This work presents a case study involving the stabilization of a mining pit slope to show the importance of investigation stage. The historical impact of inadequate practices and unsustainable technologies in mining has left a legacy of liabilities, particularly in mining pits. These liabilities are due to the lack of surface water control, which has caused many erosion processes. This case involved a slope, located

on the wall of a paralyzed pit, which is approximately 210.0m high. This slope experienced a global rupture that reached a height of 110.0 meters and an average width of 90.0 meters. The rupture was triggered by the action of rainwater, which exploited the historical absence of proper drainage devices. As a result of this rupture, the slope has suffered a loss of geometry. The challenge was to stabilize the compromised area in the short term, ensuring a minimum safety factor of 1.30. This urgency arises due to the risk of further erosion caused by rain exposure. Thus, the case shows the design of the solution in two different scenarios: first scenario where the low number of investigations and limited geological information led to the creation of an estimated geological-geotechnical model. The solution found was slope rebates complemented by drainage devices to guarantee stability. In the second scenario, the results of the additional investigation campaign played a key role in refining the geological-geotechnical model. The refinement of the geological-geotechnical model through additional investigations resulted in a simpler solution, eliminating the need for additional drainage devices. Therefore, a project, even those with limited deadlines, must prioritize the investigation stage and geological and geotechnical aspects in any project. This is a strategic decision that brings multiple benefits and guarantees safety.

KEYWORDS: stabilization, pit, geological-geotechnical model, slope.

1 INTRODUÇÃO

No passado, grandes empreendimentos industriais se ergueram com foco na economia, deixando em segundo plano as questões ambientais e sociais, o que resultou no surgimento de problemas ambientais nas últimas décadas. Na mineração, há muitos passivos gerados em função da ausência de boas práticas sustentáveis, como em cavas de lavra desprovidas de controle das águas superficiais, o que contribui para o surgimento de processos erosivos. Por outro lado, ainda falando de cavas, existe uma ausência de um banco de dados consistente que permita a construção de um modelo geológico-geotécnico bem definido. Isso ocorre porque, no passado, as investigações eram, na maioria das vezes, voltadas para exploração, não trazendo as informações necessárias do ponto de vista geotécnico. Nesse sentido, hoje, muitos problemas que surgem nessas estruturas, na maioria voltadas para erosões e instabilidades, requerem soluções de estabilização imediatas, mas esbarram na insuficiência de informações geológico-geotécnicas, limitando e/ou dificultando a definição da solução mais assertiva.

Segundo Stacey (2009), o modelo geotécnico é a base fundamental para todos os projetos de taludes, sendo composto a partir de quatro componentes: o modelo geológico; o modelo estrutural; o modelo do maciço rochoso (propriedades dos materiais); e o modelo hidrogeológico. No entanto, aspectos particulares de cada um desses componentes pode ser crítico para um projeto de taludes, dependendo de cada caso. Daí a importância de coletar o maior número de dados possíveis para melhor entendimento das variáveis envolvidas e, conseqüentemente, do cenário de projeto.

Contudo, do mesmo modo que se desenvolveram passivos devido a ausência de boas práticas sustentáveis, a engenharia também evoluiu ao longo das últimas décadas, trazendo inovações. Logo, surgiram tecnologias e soluções de engenharia modernas, trazendo uma variabilidade de recursos a serem adotados nos projetos. No entanto, voltando para o exemplo do tratamento de passivos em cavas antigas e desprovidas de um banco de dados geológico-geotécnico, muitas das vezes essa variabilidade de recursos tecnológicos é explorada, como alternativa mais rápida para otimização do tempo de projeto e emergenciais da obra, porém em detrimento da etapa de investigações. Assim, cria-se soluções de maior custo, que talvez não seriam necessárias, além de colocar em dúvida a eficiência da solução, visto que quanto maior o conhecimento das variáveis envolvidas no problema, maior o sucesso na definição das tratativas.

Com base no exposto, o estudo de caso aqui apresentado irá abordar como foram conduzidas as tratativas de uma ruptura global num talude de aproximadamente 210,0m de altura, parte de uma parede de uma cava paralisada (Figura 1). Essa ruptura, com 110,0m de altura e largura média de 90,0m, ocorreu em função da ação de águas pluviais, dado a ausência histórica de dispositivos de drenagem, com perda da geometria de seus bancos. O cenário em questão exigiu ações imediatas, tanto pelo risco de exposição da área ao agravamento, quanto pelas restrições impostas no entorno, uma vez que atividades na estrutura tiveram de ser limitadas e acessos nas proximidades colocados em atenção. Contudo, a ausência de um modelo geológico-geotécnico definido para área do talude afetada, com baixo número de informações disponíveis, tornou-se um desafio,

uma vez que as ações deveriam ocorrer em curtíssimo prazo, dada a susceptibilidade do material a ação do intemperismo causado pelas chuvas.

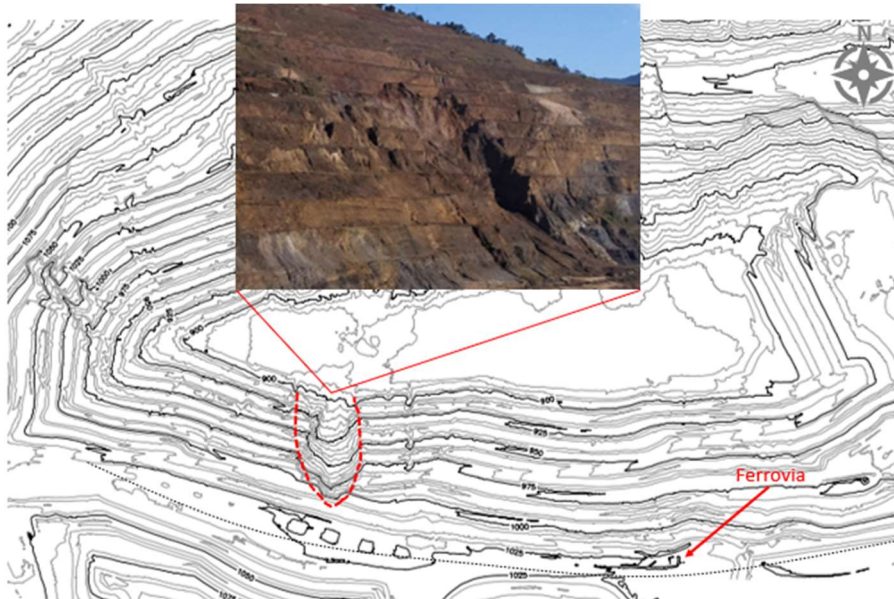


Figura 1. Localização da ruptura na cava.

2 METODOLOGIA

Em função do curtíssimo prazo necessário para o início das obras, antes do próximo período chuvoso, foram estabelecidos dois cenários de projeto: um primeiro (Cenário 1), onde seriam estudadas alternativas de estabilização com um modelo geológico-geotécnico estimado, enquanto se daria uma campanha de investigações complementares em paralelo; e um segundo (Cenário 2), onde o modelo geológico-geotécnico passaria por reinterpretação, de posse dos resultados da campanha de investigações complementares, sendo a alternativa definida no primeiro cenário reavaliada.

A principal alternativa escolhida para estabilização do talude atingido pela erosão foi o retaludamento e a execução da drenagem superficial, devido a maior viabilidade para atendimento ao prazo, ou seja, menor tempo de mobilização de equipamentos e mão de obra e maior produtividade. Assim, o desafio do projeto seria a definição de geometria capaz de atingir o fator de segurança mínimo exigido de 1,30 necessário para a estabilização, incluindo a avaliação da necessidade de outros recursos necessários para tal, e considerando ainda a limitação de espaço para as escavações, em função das restrições no entorno (acessos e ferrovia nas proximidades).

Para as análises de estabilidade foram consideradas as seguintes premissas:

- Nível d'água traçado com base no histórico de leituras de instrumentos instalados na região em questão da cava (indicadores de nível d'água e piezômetros) e estimado nas região próxima à face do talude;
- Os parâmetros de resistência dos materiais obedeceram ao critério de ruptura de Mohr-Coulomb e foram obtidos com base em ensaios de caracterização (análise granulométrica com sedimentação, massa específica real dos grãos, massa específica aparente, limites de Atterberg e teor de umidade) e ensaios mecânicos (cisalhamento direto, compressão triaxial consolidado drenado – CID e consolidado e não-drenado – CIU);
- Análises realizadas com o *software* Slide, da Rocscience, pelo método de fatias propostos por Spencer e GLE/Morgenstern-Price, considerando superfícies potenciais de ruptura não-circular;
- Realização de análise de estabilidade em quatro seções geológico-geotécnicas representativas na região da ruptura e no seu entorno, considerando, ainda, o carregamento externo em função das composições ferroviárias de 140,0 kPa, distribuída com 3,0m de largura, e carregamento distribuído contínuo de 20,0 kPa, com largura de 15,0m, devido a existência de acesso com trânsito de máquinas e equipamentos;

- Fator de Segurança (FS) mínimo aceitável de 1,3, dada a emergencialidade, tendo por base a metodologia apresentada no item 7.3.7.2 da NBR 11.682 (2009), que preconiza o FS mínimo para deslizamento a partir de uma análise conjunta dos “níveis de segurança contra danos materiais e ambientais” e do “nível de segurança contra danos a vidas humanas”. Ambos os níveis podem ser avaliados como “baixo”, “médio” ou “alto”. Uma vez classificados estes níveis de segurança, utilizou-se da Tabela 1 para a definição do FS. As classificações adotadas levaram em conta o caráter de descomissionamento da cava, ou seja, após a conclusão do projeto, o acesso de pessoal na área será restrito e feito de forma eventual pelas equipes de inspeção e manutenção, uma vez trata-se de estrutura paralisada.

Tabela 1. Fatores de segurança mínimos para deslizamento

Nível de segurança desejado contra danos a vidas humanas \ Nível de segurança desejado contra danos materiais e ambientais	Alto	Médio	Baixo
	Alto	1,5	1,5
Médio	1,5	1,4	1,3
Baixo	1,4	1,3	1,2

Fonte - NBR 11.682, 2009. p. 18.

Vale mencionar que na escolha da metodologia para definição do fator de segurança mínimo aceitável foi levado em conta as necessidades da mina e os riscos envolvidos. Nesse sentido, Wesseloo e Read (2009) comentam que na mineração a céu aberto, os critérios de aceitação do proprietário é que formam a base de um projeto de talude, devendo refletir o perfil de risco corporativo. Segundo o mesmo, inerentemente, o esperado é que o sistema seja otimizado para atender às necessidades essenciais de segurança, retorno financeiro e meio ambiente. No nosso caso os critérios de aceitação (fator de segurança mínimo) foram baseados nos riscos envolvendo atividades da mina e acessos no entorno, que poderiam ser comprometidos a nível de segurança e operação da ferrovia, que impacta em aspectos econômicos.

3 RESULTADOS













A seguir são apresentados os resultados obtidos para os dois cenários estabelecidos. Importante ressaltar que a estratégia estabelecida teve por objetivo primordial o quesito tempo, com o projeto sendo desenvolvido pari passu às investigações geotécnicas complementares, sendo seus resultados incorporados na definição dos parâmetros.

3.1 Cenário 1

3.1.1 Modelo geológico-geotécnico estimado

No primeiro cenário, devido a ausência de informações, o modelo geológico-geotécnico foi estimado, incluindo os parâmetros de resistência dos materiais. Na Tabela 2 é possível observar a variabilidade dos horizontes litológicos e os respectivos parâmetros dos materiais para este cenário.

Tabela 2. Parâmetros – Cenário 1

Material	Cor	Peso Específico (kN/m ³)	Coesão (kpa)	Ângulo de Atrito (graus)	Razão de resistência
Hematita Friável IV		30	120	45	
Itabirito Friável Silicoso V		26	55	36	
Itabirito SC Silicoso Talcoso IV		30	80	34	
Hematita Friável Talcosa V		20	0	20	
Pilha de Estéril		18	7	28	
Itabirito Compacto Silicoso III		32	200	40	
Hematita Friável V		30	90	43	
Talco Xisto V		18	25	22	
Sedimento		20			0,22
ISD		21	27,5	41	
ISD-CIU		24	75	33	
Aterro Compactado		19	15	28	

3.1.2 Alternativa inicial

Neste cenário, com modelo geológico-geotécnico estimado, a geometria estável encontrada indicou a necessidade de dispositivos complementares, Drenos Horizontais Profundos (DHPs), para garantia da estabilidade (Figura 2). A função dos DHPs seria o rebaixamento nível d'água contribuindo para melhoria do fator de segurança.

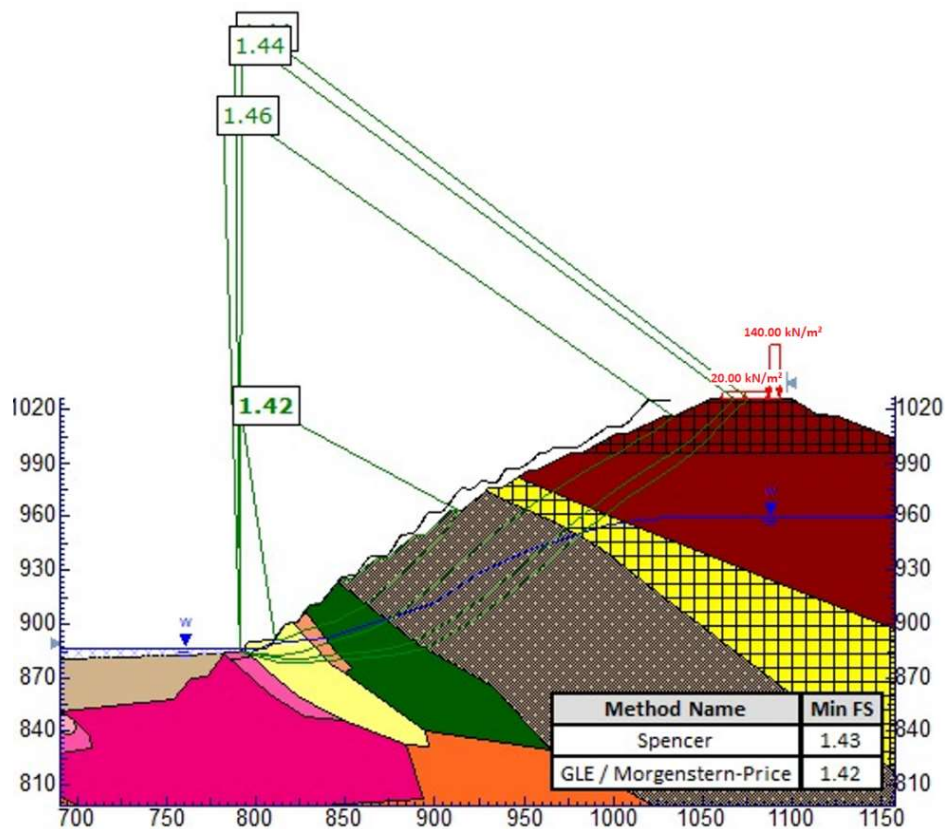








Figura 2. Geometria de retaludamento com complemento de DHP – modelo estimado

3.2 Cenário 2

3.2.1 Modelo geológico-geotécnico validado pelas investigações

Neste cenário, o modelo adotado no primeiro cenário foi reavaliado com base nos resultados das investigações complementares, e melhor aferimento do nível d'água, mostrando diferença significativa em relação ao estimado. Os novos parâmetros são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Parâmetros – Cenário 2

Material	Cor	Peso Específico (kN/m ³)	Coesão (kpa)	Ângulo de Atrito (graus)	Razão de resistência
Itabirito Friável Silicoso V		26	55	35	
Formação SG		20	60	30	
Aterro		20	10	32	
Itabirito SC Silicoso IV		26	100	38	
Xisto Manganêsífero		20	51	36	
Sedimento		20			0,24

É válido ressaltar, como houve uma simplificação dos materiais em relação ao primeiro cenário, dado o número de informações mais assertivas advindas das investigações complementares, como pode ser observado na Tabela 3 e Figura 3.

3.2.2 Geometria final

Com o novo modelo, mais os parâmetros de resistência obtidos por ensaio, a geometria foi alterada, sendo encontrado FS satisfatório sem a necessidade de dispositivos complementares.

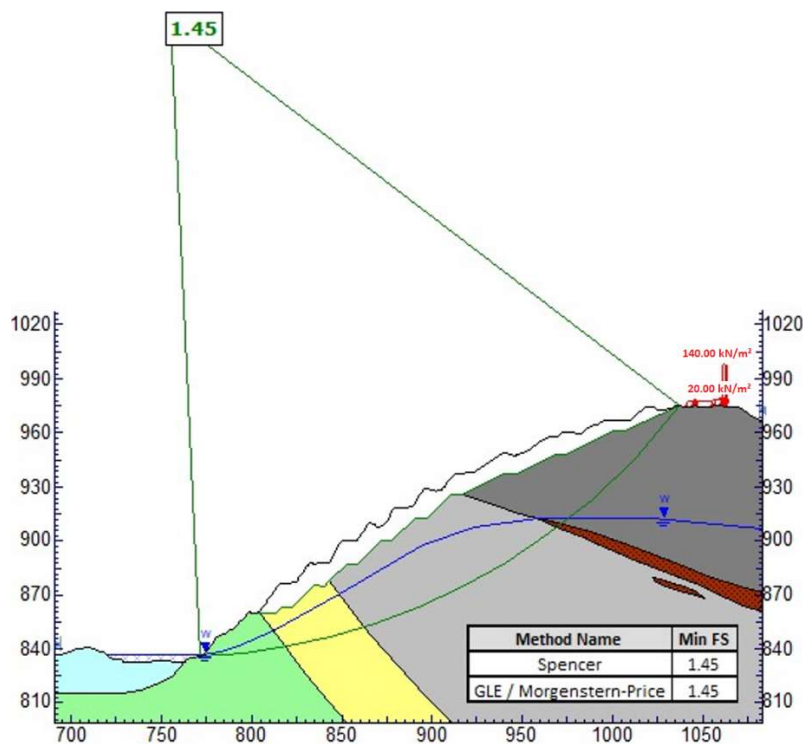


Figura 3. Geometria de retaludamento – modelo final

4 CONCLUSÃO

As cavas de mineração mais antigas, por serem resultado de um processo exploratório sem priorizar medidas sustentáveis, acabaram sofrendo maiores efeitos da ação do intemperismo ao longo do tempo, agravado pelo baixo investimento em investigações voltadas para controle mitigatório e monitoramento. Assim, muitos casos de erosões acabam sendo um desafio para os projetos pela sua complexidade e necessidade emergencial de tratativas.

Nesse sentido, através do estudo de caso aqui apresentado, fica evidente a importância das investigações como ferramenta necessária para determinação de um modelo geológico-geotécnico bem definido, capaz de embasar com maior assertividade uma alternativa de estabilização. Através da exploração dos recursos de engenharia disponíveis no mercado, no cenário 1, foi possível chegar a uma alternativa que atendesse as necessidades, porém, exigindo maior tempo para mobilização de recursos e maior custo. No cenário 2, por sua vez, viu-se uma otimização do primeiro, com eliminação dos dispositivos auxiliares (DHPs), chegando a uma geometria satisfatória e com menor prazo e custo.

O trabalho mostra não apenas a importância das investigações na fase de projeto, reduzindo as incertezas quanto ao modelo geológico-geotécnico base, mas também reforça a necessidade de traçar uma estratégia adequada diante de casos de maior complexidade. Diante de um evento de instabilidade, por exemplo, o primeiro passo é observar o cenário e mapear todas as variáveis possíveis, bem como riscos e impactos. Com isso, é possível traçar as ações dentro do tempo adequado, sem prejuízo as etapas cruciais do projeto, tal como a fase de investigações, além de estabelecer premissas em conformidade com o cenário. Foi visto no estudo de caso apresentado, que um menor fator de segurança mínimo foi estabelecido em função de condicionantes do cenário (cava paralisaada, com tendência a menor acesso de pessoas) e da emergencialidade de atuação, sendo um bom exemplo de olhar crítico ao problema.

Vale ressaltar, ainda, que o exemplo aborda uma solução emergencial, logo, finalizada essa etapa, com o impedimento da evolução da erosão e a adoção de medidas preventivas, como a condução adequada das águas pluviais por meio dos dispositivos hidráulicos superficiais, tem-se um ganho de tempo para que no futuro sejam pensadas em novas alternativas que venham a propor melhores condições de estabilidade aos taludes da cava. Neste caso, com os riscos reduzidos, projetos a médio e longo prazo poderão ser implementados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2009). NBR 11682. *Estabilidade de encostas*. Rio de Janeiro.
- Stacey P. Fundamentals of Slope Design (2009). In: Read. J. and Stacey P. *Guidelines for open pit slope design*. Australia: CSIRO, Chapter 1, p. 16.
- Wesseloo J. and Read J. Acceptance Criteria (2009). In: Read. J. and Stacey P. *Guidelines for open pit slope design*. Australia: CSIRO, Chapter 9, p. 236.