



26° Encontro Nacional de Conservação Rodoviária (ENACOR) 49ª Reunião Anual de Pavimentação (RAPV)

ESTABILIZAÇÃO DE TALUDE ROCHOSO NA MG-120, KM 147, POR MEIO DE TELA METÁLICA E CHUMBADORES SISTEMÁTICOS: ESTUDO DE CASO

Rosemberg Ferreira Nunes¹; Flávia Lima Costa¹; Dionisio Tadeu de Azevedo¹, Camila Hilário Bethonico¹ & Roberto Navarro de Castro¹

RESUMO

O estudo de caso apresenta uma proposta para estabilização do talude rochoso do km 147 da Rodovia MG-120, sob jurisdição do DER-MG, em Água Boa, Minas Gerais, devido aos frequentes desprendimentos de blocos rochosos que representam riscos aos usuários da rodovia. Após avaliação de diversas soluções, a escolha recaiu sobre o revestimento do talude com tela metálica de alta resistência. A metodologia envolveu inspeções de campo, mapeamento geológico-geotécnico, análises de estabilidade e dimensionamento do sistema de estabilização. O talude em estudo apresentou-se muito heterogêneo no que diz respeito ao grau de fraturamento em diferentes segmentos, sendo necessária a abordagem diferenciada para cada área. As principais instabilidades identificadas foram rupturas de blocos rochosos e passagem desordenada de águas pluviais. As análises de estabilidade indicaram a formação de cunhas como o cenário mais provável de ruptura. O projeto de estabilização consistiu na instalação de sistemas de revestimento estabilizador com tela metálica de alta resistência e chumbadores sistemáticos em diferentes trechos do talude, seguindo parâmetros e critérios preconizados em normas. O dimensionamento dos chumbadores foi realizado considerando a resistência do maciço rochoso e as condições geométricas do talude. Os resultados demonstraram que o sistema proposto atinge fatores de segurança satisfatórios, conforme normativas vigentes, garantindo a estabilidade do talude e a segurança da rodovia. Essa abordagem metodológica destaca a importância da integração entre geologia e engenharia na mitigação de riscos em obras de estabilização de taludes rochosos.

PALAVRAS-CHAVE: Rodovia; Talude; Rochoso; Estabilização.

ABSTRACT

The case study presents a proposal for stabilizing the rocky slope at kilometer 147 of Highway MG-120, under the jurisdiction of DER-MG, in Água Boa, Minas Gerais, due to frequent rock block detachments that pose risks to highway users. After evaluating various solutions, the choice fell on lining the slope with high-strength metal mesh. The methodology involved field inspections, geological-geotechnical mapping, stability analyses, and sizing of the stabilization system. The slope under study was highly heterogeneous regarding the degree of fracturing in different segments, requiring a differentiated approach for each area. The main instabilities identified were rock block ruptures and disorderly passage of rainwater. Stability analyses indicated the formation of wedges as the most likely scenario for rupture. The stabilization project consisted of installing stabilizing lining systems with high-strength metal mesh and systematic anchors in different sections of the slope, following parameters and criteria recommended in standards. Anchor sizing was carried out considering the strength of the rock mass and the geometric conditions of the slope. The results demonstrated that the proposed system achieves satisfactory safety factors, according to current regulations, ensuring the stability of the slope and the safety of the highway. This methodological approach highlights the importance of integration between geology and engineering in mitigating risks in rock slope stabilization works.

KEY WORDS: Highway; Slope; Rocky; Stabilization.

¹ Departamento de Estradas de Rodagem de Minas Gerais, rosemberg.nunes@der.mg.gov.br; flavia.costa@der.mg.gov.br; dionisio.azevedo@der.mg.gov.br; camila.bethonico@der.mg.gov.br; roberto.castro@der.mg.gov.br.



INTRODUÇÃO

O presente estudo de caso aborda a elaboração de projeto para estabilização de taludes rochosos, focando especificamente em um talude existente no km 147 da Rodovia MG-120, no município de Água Boa em Minas Gerais.

Neste local, há constantemente desprendimentos de blocos rochosos, que rolam até a rodovia, oferecendo risco aos usuários, sendo necessária a definição de uma solução de contenção deste talude para proteção da rodovia.

Foram avaliadas soluções como desmonte de rocha, execução de variante à jusante, execução de muro como barreira de proteção e a utilização de revestimento do talude com tela metálica, sendo essa última a escolhida para a situação em questão, por apresentar agilidade de execução, sem necessidade de interrupção total da via e por sua assertividade.

O DER-MG atuou na identificação do problema, visita e inspeções de campo e contou com auxílio de uma empresa especialista para o dimensionamento da solução. A proposta de estabilização conta com utilização de sistemas de revestimento estabilizador com tela metálica de alta resistência e chumbadores sistemáticos. Essas soluções, dimensionadas de acordo com os modelos geomecânicos específicos, visam garantir a segurança e a estabilidade dos taludes, considerando os requisitos regulamentares e atendendo aos fatores de segurança preconizados em normas.

A abordagem metodológica adotada neste estudo de caso demonstra a importância da integração entre geologia e engenharia para a análise e mitigação de riscos em obras de estabilização de taludes, especialmente em ambientes rochosos complexos.

ESTUDO DE CASO

Metodologia

O estudo de estabilização de taludes rochosos foi desenvolvido considerando as seguintes etapas:

- Inspeções de campo para caracterização geológica e geotécnica do talude, realizadas em 05/2023;
- Mapeamento geológico-geotécnico do maciço rochoso com determinação das características das fraturas: direção (bússola), espaçamento, Coeficiente de rugosidade JRC, Resistência à compressão da junta JCS (ensaios de Martelo Schmidt), grau de alteração, abertura e material de preenchimento de junta;
- Investigação topográfica da área;
- Sobrevôo com VANT e registros fotográficos aéreos (Drone) e registros fotográficos de detalhe;
- Análises de estabilidade do talude em condições críticas de resistência e saturação, através de softwares;
- Proposta de solução com utilização da técnica de grampeamento do talude rochoso com utilização de tela de alta resistência e grampos ancorados.

Inspeções de campo e avaliação geotécnica do talude

Durante as inspeções, foram avaliadas as condições geotécnicas do talude rochoso. O maciço apresenta cerca de 70,0 m de extensão com altura variável de até 26,0 m e inclinação vertical, sendo constituído essencialmente de rocha do tipo gnaiss migmatítico com estruturas geológicas do tipo juntas de alívio e fraturas sub-horizontais e sub-verticais.



O talude apresenta qualidade mecânica variando de Classe II para maciço de qualidade mecânica boa a Classe IV para o maciço mais fraturado e alterado, conforme Sistema de Classificação RMR – *Rock Mass Rating* (Bieniawski, 1989).

A Figura 1 ilustra os aspectos gerais do corte. O trecho inicial do talude apresenta qualidade mecânica média na parte inferior e média a ruim na parte superior com alto grau de fraturas horizontais e sub-verticais pouco espaçadas e graus de alteração variáveis. Este segmento inicial do talude será apresentado de agora em diante como “Área 1”.

A transição do trecho inicial para o trecho final do talude apresenta variação de qualidade geomecânica, sendo o trecho final composto de uma camada muito fraturada na crista, chamada de “Área 3”, seguida logo abaixo por uma camada maciça e outra camada fraturada na base do talude, denominada “Área 2”. A Área 3 é considerada mais crítica por possuir uma camada espessa muito fraturada em condições instáveis com direção de mergulho para a pista. Além dos maiores graus de alteração e fraturamento em relação ao restante do talude, a crista apresenta crescimento de vegetação no interior das fraturas mais alteradas.

As evidências da instabilidade do talude são observadas através das cicatrizes visíveis no corte e das quedas dos blocos de rocha que se desprendem. Esses eventos representam um potencial perigo para os usuários da via. Na (ADAPTADO DE GEOPHI ENGENHARIA, 2023).

Figura 2, podem ser vistos alguns blocos que caíram ou rolaram na pista de rolamento, os quais foram posteriormente removidos pela equipe de manutenção da rodovia.



Figura 1. Aspectos gerais do talude rochoso, com a delimitação das áreas em função do grau de fraturamento (ADAPTADO DE GEOPHI ENGENHARIA, 2023).

Figura 2. Blocos de rocha que desprenderam do talude e atingiram a pista (OS AUTORES, 2023).

Mapeamento Geológico-Geotécnico das Fraturas

Dentre as informações levantadas em campo, destacam-se os graus de alteração, coerência e de fraturamento do maciço rochoso e as condições das estruturas geológicas, sendo realizadas medições de orientação das fraturas do maciço rochoso (direção e mergulho) com bússola profissional (Figura 3), rebotes das paredes das fraturas através de ensaios com Martelo Schmidt (Figura 4) e coeficientes



de resistência à compressão uniaxial (JCS) e de rugosidade (JRC), espaçamentos, aberturas e presença de material de preenchimento das fraturas.



Figura 3. Medição da orientação das fraturas com bússola profissional de geólogo (GEOPHI ENGENHARIA, 2023).
Figura 4. Ensaio com Martelo Schmidt para medição de rebote e avaliação da qualidade mecânica do maciço (GEOPHI ENGENHARIA, 2023).

Os valores de rebote obtidos com os ensaios com Martelo Schmidt variaram entre 44 e 54, tanto para o maciço quanto para as paredes de fraturas pouco ou não alteradas, indicando qualidade mecânica média a boa da rocha. Para maciço e fraturas medianamente alteradas, os valores médios de rebote do martelo variaram de 18 e 20, indicando perda de resistência de compressão de 38%.

A Tabela 1 resume as principais estruturas geológicas aferidas e suas respectivas orientações, mapeadas no talude. Ressalte-se que foram realizadas 47 medições de fraturas, as quais foram estatisticamente tratadas, resultando em 10 famílias de juntas principais (J1 a J10).

Tabela 1. Orientação das principais famílias de juntas do Talude (GEOPHI ENGENHARIA, 2023).

Estrutura	Orientação (Mergulho/ Direção de mergulho)
J1	70° / 145°
J2	70° / 104°
J3	31° / 050°
J4	38° / 010°
J5	67° / 046°
J6	68° / 212°
J7	78° / 239°
J8	51° / 243°
J9	61° / 271°
J10	56° / 318°

Resumo dos Problemas

As principais instabilidades potenciais identificadas no talude são:

- Rupturas do tipo cunha e planar de blocos rochosos formados pela intersecção das fraturas do maciço rochoso, as quais podem produzir quedas de blocos na direção da rodovia;



- Passagem desordenada de águas pluviais com carreamento de sedimentos para a pista de rolamento.

ANÁLISES DA ESTABILIDADE DO TALUDE

Para análises do talude rochoso e dimensionamento do sistema de contenção foram utilizados três softwares com funções distintas, que são o DIPS e o SWEDGE, da Rocscience Inc., para análises da situação atual do talude, e o MACRO 1, da Maccaferri, para dimensionamento da solução, os quais serão descritos adiante.

As análises de estabilidade foram realizadas considerando as famílias de estruturas geológicas mapeadas no campo e as condições geométricas do talude. Detectadas as juntas/fraturas críticas para a instabilização do talude, foram analisadas as condições mais críticas de ruptura, sendo identificada a ruptura em cunha como mais provável para o talude em questão.

As 10 estruturas geológicas mapeadas e apresentadas anteriormente na Tabela 1 foram analisadas em relação à orientação média do talude com direção $90^{\circ}/215^{\circ}$.

O Programa DIPS foi adotado para análises de projeções estereográficas das fraturas críticas em relação ao talude, que se baseia no Método de Fisher. As projeções estereográficas permitiram concluir que a formação de cunhas é crítica nas análises de estabilidade geométrica do talude.

As análises de estabilidade das cunhas de ruptura potenciais no maciço rochoso foram realizadas considerando a orientação do talude e parâmetros geométricos que privilegiam análises mais conservadoras e a favor da segurança, tais como espaçamento de juntas igual a 2,0 m, largura de crista igual a 3,0 m e inclinação nula de topo.

As fraturas críticas para a estabilidade foram selecionadas e correspondem às Juntas 1 a 10, apresentadas anteriormente na Tabela 1. Foram adotadas propriedades mecânicas reduzidas para as paredes das fraturas: coesão da junta nula e ângulo de atrito de 30° , correspondendo, portanto, a um cenário pessimista que penaliza os parâmetros de resistência das fraturas no maciço rochoso.

As análises de estabilidade das cunhas foram desenvolvidas com o programa SWEDGE, considerando condições de saturação distintas: 1 - Talude seco; 2 - Fraturas com preenchimento parcial de água (50% de saturação), e fraturas totalmente preenchidas com água (100% de saturação).

As análises de estabilidade de cunhas para o talude foram realizadas considerando 45 combinações de juntas, a fim de se identificar a formação de cunhas estáveis e instáveis e seus respectivos pesos e dimensões. A Figura 5 ilustra as análises feitas pelo software SWEDGE das cunhas instáveis formadas no talude, apresentadas em vistas de topo, frontal, perspectiva e seção transversal.

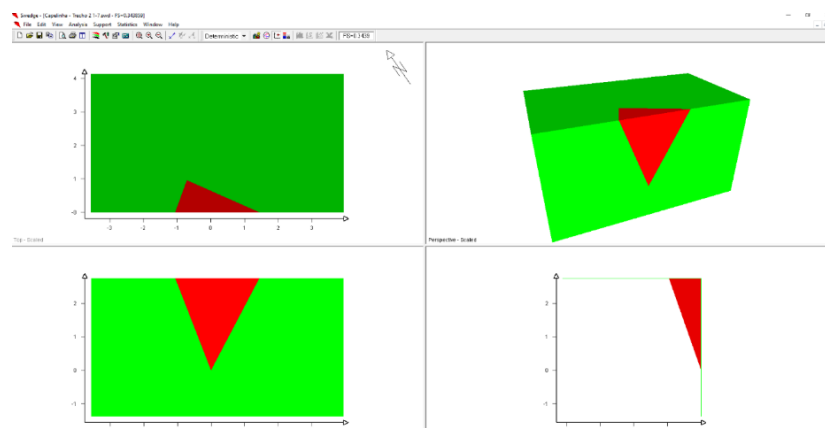


Figura 5. Análise da cunha instável formada pelas juntas J1 e J7 no talude (GEOPHI Engenharia, 2023).



Os principais resultados são sumariados em tabelas considerando:

- Combinação de juntas que formam cunhas;
- Peso das cunhas;
- Fatores de segurança na condição mais crítica correspondente às juntas completamente preenchidas com água (100% de saturação);

A Tabela 2 resume os principais resultados obtidos das análises de formação e estabilidade de cunhas, considerando 100% de saturação. A Tabela 2 mostra que a intersecção das juntas do maciço rochoso forma 18 tipos de cunhas que interceptam a face do talude, sendo que 4 cunhas são estáveis com Fator de Segurança superior a 1,5 e 13 tipos são cunhas instáveis com Fator de Segurança inferior a 1,0. Os pesos das cunhas instáveis variam de 26 kgf a 4490 kgf.

Tabela 2. Resultados das análises de estabilidade de cunhas (ADAPTADO DE GEOPHI ENGENHARIA, 2023).

Juntas	Formação de Cunhas	
	Peso (Tf)	Fator de Segurança
J1 - J6	0,073	0,00
J1 - J7	2,970	0,06
J1 - J8	2,990	0,42
J1 - J9	4,490	0,63
J1 - J10	0,160	8,66
J2 - J6	0,070	0,00
J2 - J7	2,750	0,41
J2 - J8	1,320	1,24
J2 - J9	0,550	4,40
J3 - J5	0,026	18,99
J4 - J6	0,046	2,67
J5 - J6	0,032	0,00
J6 - J7	0,080	0,00
J6 - J8	0,080	0,15
J6 - J9	0,080	0,11
J6 - J10	0,070	0,41
J8 - J9	1,410	0,61
J8 - J10	0,770	0,00

PROJETO DE ESTABILIZAÇÃO E PROTEÇÃO

As soluções propostas e dimensionadas nesta memória de cálculo em função dos modelos geomecânicos dos trechos são:

- Instalação de sistema de revestimento estabilizador com tela metálica de alta resistência e chumbadores sistemáticos em toda a extensão do trecho inicial (Área 1) e trecho final de crista do talude (Área 3);
- Instalação de sistema de revestimento simples com tela metálica de alta resistência e chumbadores no topo e na base do trecho final sob a crista do talude (Área 2). Este sistema funciona como uma “rede” para que, caso haja o desprendimento de blocos rochosos, eles fiquem retidos na base do talude, sem perigo para os usuários da via;



- Implantação de mureta de concreto nas cristas do talude para ordenamento das águas pluviais e proteção de deságue na pista.

A verificação da segurança foi realizada considerando as disposições regulamentares da NBR11682:2009, que recomenda fator de segurança mínimo aceitável para um talude calculado em função do impacto da ruptura nas vidas humanas e bens materiais/ambientais. Ressalte-se que a normativa não é específica para taludes rochosos com potencial de queda de blocos, porém pode ser interpretada e adaptada para este tipo de ocorrência. Foi considerada a importância da área e níveis de segurança associados à perda de vidas humanas e danos materiais/ambientais como alta e, desta forma, o fator de segurança mínimo adotado igual a 1,5.

Estabilização do Talude – Tela Metálica e Chumbadores Sistemáticos

As análises e dimensionamentos para estabilização e proteção do talude foram realizadas com o auxílio do programa MACRO 1 Studio Beta, desenvolvido pela Maccaferri (domínio público).

O MACRO 1 é baseado no princípio de equilíbrio limite e tem o objetivo calcular soluções que visam de aumentar a estabilidade superficial do maciço e impedir ou controlar os deslocamentos de detritos, lascas e blocos rochosos. O programa permite o dimensionamento dos espaçamentos de chumbadores em função da resistência e deformabilidade da tela, para que os fatores de segurança desejados sejam atendidos.

O software adota o critério de ruptura de juntas de Barton-Bandis (Barton & Bandis, 1990) e permite a caracterização específica das fraturas críticas por meio do ângulo de mergulho, coeficiente de rugosidade de junta e resistência à compressão da parede da junta.

O programa possibilita análises com cargas externas, estáticas e pseudo-dinâmicas e a seleção de fatores de segurança parciais para cargas e parâmetros físicos e de resistência do talude e chumbador. Em adição, determina o espaçamento e comprimento de chumbadores por meio da resistência ao arrancamento de chumbador (Bustamante & Doix, 1985; Clouterre, 1991). Maiores detalhes podem ser consultados em Maccaferri (2014) e Grimod & Giacchetti (2013).

A proposta de intervenção para estabilização e proteção do Talude consiste no dimensionamento do sistema de revestimento com tela metálica e chumbadores sistemáticos.

Dados de Entrada no Software MACRO 1

- Tela Metálica:

Tela especialmente desenvolvida para revestir taludes, por possuir alta resistência, evitando o desprendimento e queda de rochas, minimizando erosões e favorecendo a estabilização superficial do maciço. Ela deve apresentar resistência à tração longitudinal ≥ 177 kN/m e força de puncionamento ≥ 149 kN, com deslocamento máximo igual a 420 mm em ensaio estabelecido pelas normas vigentes.

- Chumbadores:

O sistema de telas é ancorado por chumbadores compostos de barras de aço de diâmetro nominal igual a 32,0 mm e carga de trabalho igual a 200 kN. As barras devem ser tratadas contra a corrosão e rosqueadas para facilitar a fixação da porca de aperto da placa ao chumbador.

Os chumbadores são executados em furos com diâmetro mínimo de 75,0 mm, inclinados de 10° com a horizontal. A injeção dos chumbadores em rocha pode ser realizada com calda (nata) de cimento (fck igual ou superior a 25MPa) ou com resina, observando que nesta condição o diâmetro do furo



deve atender ao diâmetro do tubo de resina.

No caso da calda ou nata de cimento, recomenda-se o fator água/cimento de 0,5 e injeções ascendentes até vazamento da nata na boca do furo e realizadas em 2 etapas: bainha e reinjeção, a qual é realizada por meio de tubo com válvulas manete a cada 50 cm, e após 3 horas de cura da nata de cimento da bainha.

- **Parâmetros do maciço rochoso:**

Os parâmetros de entrada para o dimensionamento do sistema de tela metálica com chumbadores abrangem as condições geométricas do talude aferidos pela topografia, incluindo a inclinação da face, verificadas com o auxílio de bússola em campo. A espessura instável do talude foi aferida por meio de análises de ruptura em cunha e planar, que identificam lascas e blocos instáveis, que foram obtidas através das análises realizadas pelos softwares DIPS e SWEDGE.

A junta adotada para análise corresponde à junta crítica com ângulo de mergulho determinado pelo mapeamento com bússola em campo e que corresponde à intersecção das juntas que formam as cunhas instáveis de maior volume, com direção de mergulho para a face do talude. Os parâmetros de resistência da parede da junta crítica foram avaliados em função das observações de campo (tipo litológico dominante, grau de alteração, rugosidade e presença de material de preenchimento).

Desta forma, os valores de resistência à compressão da parede da junta e coeficiente de rugosidade foram estimados considerando valores de literatura, calibrados com as medições de rebote com Martelo Schmidt. De forma análoga, o valor da resistência ao arrancamento ou tensão de adesão nata-rocha do chumbador foi estimado a partir de ensaios em material rochoso similar.

Os parâmetros adotados para o dimensionamento são apresentados na Tabela 3, destacando-se que a espessura de talude instável e inclinação da junta crítica foram determinadas a partir das análises de estabilidade de cunhas para o talude.

Tabela 3. Parâmetros geotécnicos adotados para o dimensionamento do sistema cortical, que foram adotados nas áreas 1 e 3 (ADAPTADO DE GEOPHI ENGENHARIA, 2023).

Parâmetro	Valor
Inclinação do talude	87°
Peso específico da rocha	27,0 kN/m ³
Espessura do talude instável	1,4 m ⁽¹⁾ e 3,0 m ⁽²⁾
Espessura de transição do talude	0,3 m
Inclinação da junta crítica	49° ⁽¹⁾ e 45° ⁽²⁾
Resistência à compressão da junta crítica JCS	30 MPa ⁽¹⁾ e 15 MPa ⁽²⁾
Coeficiente de rugosidade da junta crítica JRC	1
Tela metálica	
Resistência à tração mínima da tela metálica	177,0 kN/m
Deslocamento máximo admissível da tela metálica	0,42 m
Barra de aço do chumbador	
Diâmetro nominal da barra de aço	32 mm
Carga de trabalho da barra de aço	>=200 kN
Diâmetro nominal do cabo de ancoragem de topo	16,0 mm
Tensão de escoamento do cabo de aço	1770 MPa
Resistência ao arrancamento chumbador-rocha	0,40 MPa
Obs: ⁽¹⁾ Valores relativos à Área 1; ⁽²⁾ Valores relativos à Área 3.	



Dimensionamento dos chumbadores

O comprimento de ancoragem do chumbador (L_a) é determinado conforme Bustamante & Doix (1985):

$$L_a = \frac{T \cdot k}{D \cdot \pi \cdot q_s} \quad (\text{Eq. 1})$$

Onde:

T : carga axial máxima mobilizada no chumbador;

D : diâmetro do furo do chumbador;

k : Fator de majoração da carga axial do chumbador;

q_s : resistência ao arrancamento do chumbador do contato nata/resina-rocha.

O comprimento total (L) mínimo do chumbador é expresso por:

$$L = L_a + L_{inst} + L_{trans} \quad (\text{Eq. 2})$$

Onde,

L_a : comprimento mínimo de ancoragem;

L_{inst} : espessura da camada instável;

L_{trans} : espessura da camada de transição.

Portanto, os comprimentos ancorados e comprimentos totais são calculados para:

- Trecho Inicial (Área 1) e Trecho final – Base (Área 2):

$$L_a = \frac{141,7}{0,075 \cdot \pi \cdot 400} = 1,50 \text{ m},$$

$$L = 1,5 + 1,4 + 0,3 = 3,2 \text{ m}, \text{ adotado } 3,50 \text{ m}$$

- Trecho Final – Crista (Área 3):

$$L_a = \frac{142,2}{0,075 \cdot \pi \cdot 400} = 1,50 \text{ m},$$

$$L = 1,5 + 3,0 + 0,3 = 4,8 \text{ m}, \text{ adotado } 5,00 \text{ m}$$

Desta forma, os revestimentos estabilizadores com tela metálica, dimensionados por meio do programa MACRO 1 e os comprimentos de chumbadores calculados conforme Bustamante & Doix (1985), apresentam os arranjos típicos conforme apresentado na Tabela 4 e Figuras 6 a 8:

Tabela 4. Configuração final da malha de ancoragem com chumbadores (ADAPTADO DE GEOPHI ENGENHARIA, 2023).

Parâmetros do sistema dos chumbadores	ÁREA 1	ÁREA 2	ÁREA 3
Espaçamento Horizontal (m)	2,5	2,5	1,5
Espaçamento Vertical (m)	2,0	-	1,5
Comprimento de ancoragem L_a (m)	1,5	1,5	1,5
Comprimento total do chumbador L_t (m)	3,5	3,5	5,0

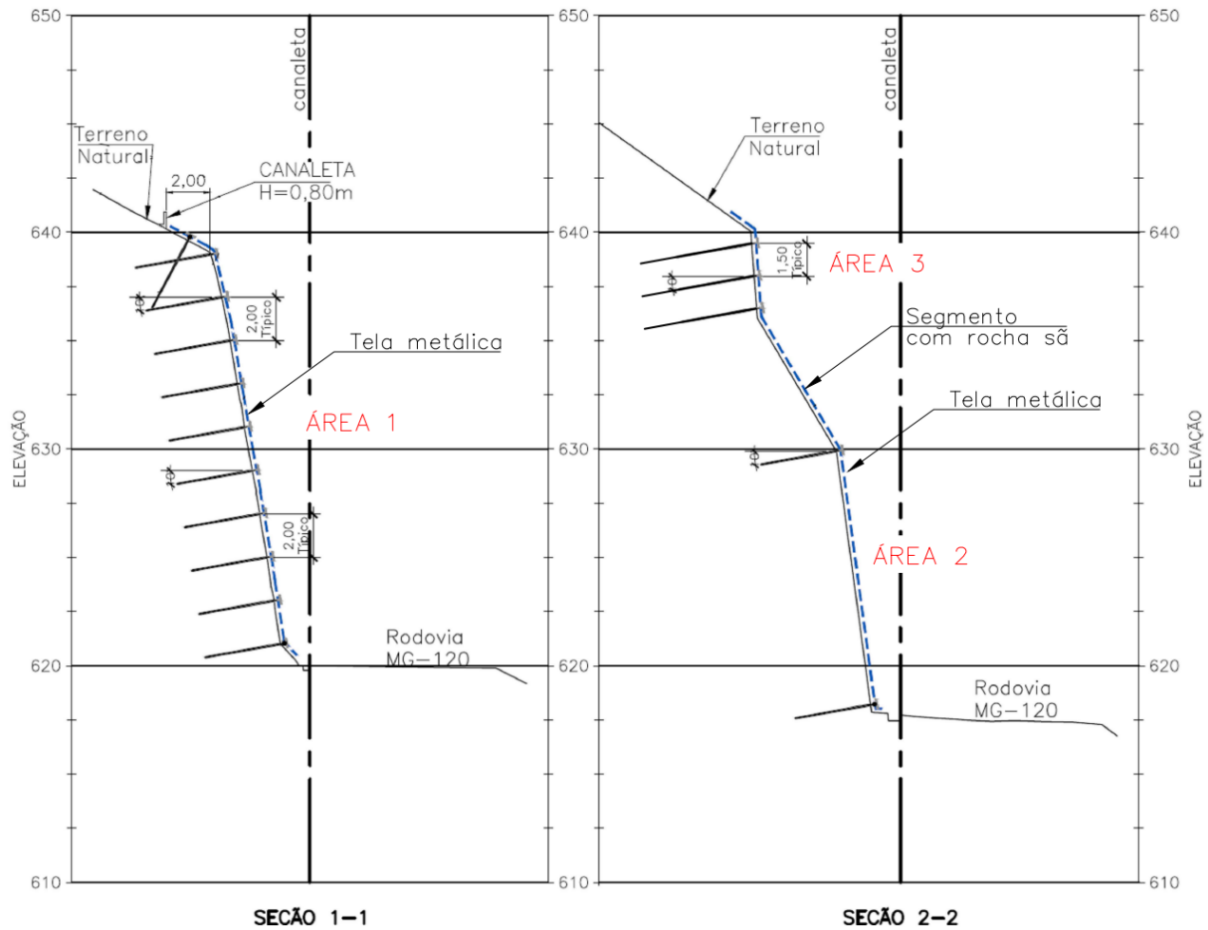


Figura 6. Seções transversais tipo do sistema de estabilização (ADAPTADO DE GEOPHI ENGENHARIA, 2023).

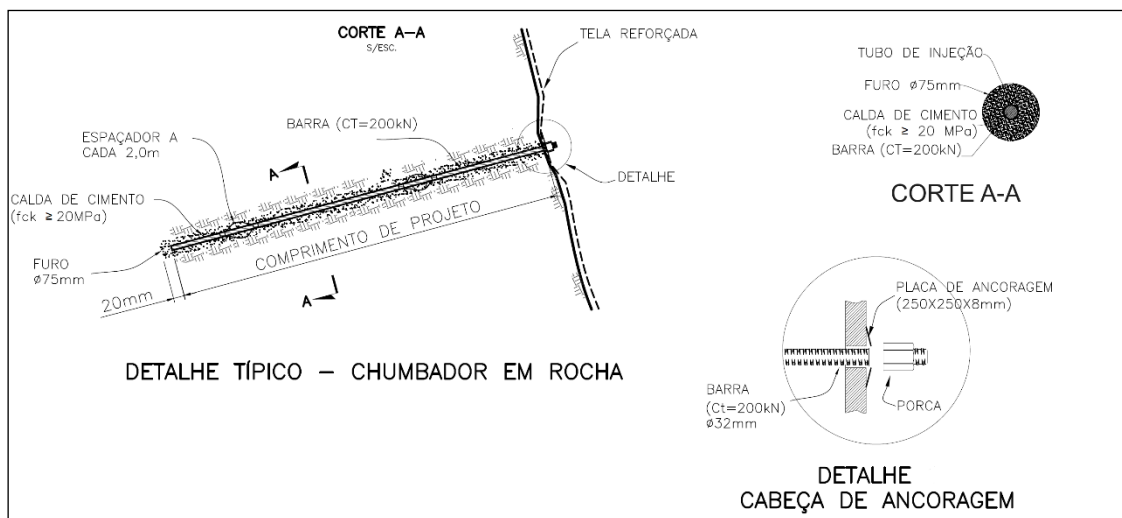


Figura 7. Detalhes e características da barra de ancoragem (ADAPTADO DE GEOPHI ENGENHARIA, 2023).



Figura 8. Mosaico esquemático do sistema de estabilização do talude (GEOPHI ENGENHARIA, 2023).

Fatores de Segurança adquiridos e resumo do sistema de estabilização proposto

A estabilização com tela metálica e chumbadores sistemáticos garantiu Fatores de Segurança satisfatórios para o sistema de ancoragem conforme Tabela 5, indicando elevada otimização do sistema tela-chumbadores e atendendo às recomendações da normativa brasileira de estabilidade de taludes e normativas italiana e europeias para sistemas estabilizadores com telas metálicas.

Tabela 5. Sistema de chumbadores e Fatores de Segurança (ADAPTADO DE GEOPHI ENGENHARIA, 2023).

Fatores de segurança do sistema de malha metálica e chumbadores	ÁREA 1	ÁREA 3
Fator de Segurança do sistema de ancoragens	1,59	1,63
Fator de Segurança da tela ELU	6,89	12,12
Fator de Segurança da tela ELS	1,09	1,15

Obs.: ELU: Estado Limite Último; ELS: Estado Limite de Serviço.

Nota: A ÁREA 2, por possuir grau de alteração menor em relação as demais áreas, recebeu um revestimento simples, o qual não tem impacto direto no fator de segurança do sistema, mas evita que os eventuais blocos atinjam a pista.

A Tabela 6 resume as intervenções geotécnicas para estabilização e proteção dos trechos do Talude em estudo:

Tabela 6. Parâmetros dos sistemas de estabilização do Talude (ADAPTADO DE GEOPHI ENGENHARIA, 2023).

Tela metálica de alta resistência e chumbadores sistemáticos			
Parâmetro	Valor, Tipo e Quantidade		
	ÁREA 1	ÁREA 2	ÁREA 3
Tela metálica			
Resistência à tração mínima	177 kN/m		
Resistencia mínima ao punção	149 kN		



Placa de ancoragem	250 X 250 X 8mm		
Barra de aço (chumbador)			
Diâmetro nominal da barra de aço	32 mm		
Carga de trabalho nominal da barra	≥ 200 kN		
Diâmetro mínimo do furo	75 mm		
Inclinação do chumbador com a horizontal	10°		
Espaçamento horizontal entre chumbadores	2,5 m	2,5 m	1,5 m
Espaçamento vertical entre chumbadores	2,0 m	-	1,5 m
Comprimento mínimo do chumbador (1)	3,5 m	3,5 m	5,0 m

CONCLUSÕES

As intervenções propostas visam alcançar múltiplos objetivos. Primeiramente, buscam reduzir a perda de qualidade geomecânica dos maciços causada pelo intemperismo. Além disso, pretendem estabilizar áreas com potencial elevado de ruptura. No entanto, o principal propósito é garantir a operação contínua e segura da rodovia, evitando intervenções invasivas que poderiam interditar a pista durante sua execução, como o rompimento do talude com explosivos.

A estabilização utilizando sistema de tela metálica de alta resistência e chumbadores sistemáticos demonstrou resultados satisfatórios em termos de segurança. Os fatores de segurança para o sistema de ancoragem e para a tela metálica atingiram valores adequados tanto no estado limite último quanto no estado limite de serviço.

Por fim, recomenda-se fortemente a realização de ensaios de arrancamento de chumbadores específicos para determinar a resistência ao arrancamento e confirmar os valores adotados nos estudos. Esta prática é crucial para otimizar o projeto apresentado na memória de cálculo, garantindo sua eficácia e segurança.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT (2009) NBR 11682:2009. Estabilidade de encostas.

ABNT (2018) NBR 5629:2018. Execução de Tirantes Ancorados no Terreno.

ABNT (2021) NBR 16920-2:2021. Muros e taludes em solos reforçados, Parte 2: Solos grampeados.

Azevedo, D.T. (2022) Análise geológica de cortes rochosos na MG -383, próximos ao km 120, Trecho: Soledade de Minas – Entr. BR460 (São Lourenço), Relatório Técnico DP/GEM/Geologia e Sondagem, 7p.

Barton, N.; Bandis, S. (1990) Review of Predictive Capabilities of JRC-JSC Model in Engineering Practice. In Rock joints, Proc. Int. Symp. Rock Joints, Loen, Norway, (eds N. Barton; O. Stephansson), Rotterdam: Balkema, pp.603- 610.

Bieniaswki, Z.T. (1989) Engineering Rock Mass Classifications – A Complete Manual for Engineers and Geologists in Mining, Civil and Petroleum Engineering, John Wiley & Sons.

Bustamante, M.; Doix, B. (1985) Une méthode pour le calcul des tyrants et des micropieux injectées. Bulletin des Liaison des Laboratoire des Ponts et Chaussées, no 140.

GEOPI Engenharia, GEO Ø (2023). Projeto Executivo de Estabilização de Taludes Rochosos do Km 147 MG-120 – Capelinha. Memória de Cálculo GPHI-PJ163-MC-415-03-002-R0. Junho de 2023

Grimod A.; Giacchetti G. (2013) New Design Software for Rockfall Simple Drapery Systems. Proc. 23rd World Mining Congress & Expo, Montreal, Paper No.255.

Maccaferri (2014) MACRO 1 Theory and Background. Version 1.08, 33 p.