

Proposta de Projeto de Estruturas de Contenção para Mitigação de Riscos Geológico-Geotécnicos em Área Socialmente Vulnerável

Kerolayne Cristina Guedes de Oliveira

Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasil, kerolcivil@ufmg

Talita Caroline Miranda

Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasil, talita@etg.ufmg.br

Maria Giovana Parizzi

Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasil, mparizzi@ufmg.br

RESUMO: A Vila Morro dos Cabritos, localizada em Contagem (MG), é uma área marcada por alta vulnerabilidade social e geotécnica, apresentando histórico de deslizamentos e ocupação irregular em encostas íngremes. Inserida no Plano Municipal de Redução de Riscos (PMRR), a região foi alvo de mapeamento técnico que identificou setores com riscos alto e muito alto (R3 e R4). Este trabalho propõe soluções de contenção adequadas à realidade local, visando a mitigação de riscos geológico-geotécnicos. Foram utilizados modelos geológico-geotécnicos bidimensionais e tridimensionais, desenvolvidos a partir de dados Lidar e análises com os softwares *Slide2*, *Slide3* e *GAWAC 3.1*. A caracterização dos materiais foi feita com base em literatura especializada e retroanálises. As soluções propostas incluem muros de gabião, muros de solo reforçado e retaludamento, avaliadas segundo os fatores de segurança definidos pela NBR 11682:2009. Os resultados demonstram que tais intervenções são tecnicamente viáveis e compatíveis com o contexto socioeconômico da comunidade. O trabalho reforça a importância da integração entre critérios técnicos e aspectos sociais no planejamento de obras em áreas de risco.

PALAVRAS-CHAVE: Riscos Geológico-Geotécnicos, Contenção de Encostas, Vulnerabilidade Social, Deslizamentos, Áreas Urbanas, Engenharia Geotécnica.

ABSTRACT: Morro dos Cabritos, located in Contagem (MG), is an area characterized by high social and geotechnical vulnerability, with a history of landslides and unregulated hillside occupation. As part of the Municipal Risk Reduction Plan (PMRR), the area underwent technical mapping that identified sectors with high and very high risk levels (R3 and R4). This work proposes containment structures adapted to local conditions to mitigate geological-geotechnical risks. Two- and three-dimensional geological-geotechnical models were developed using lidar survey data and analyzed with *Slide2*, *Slide3*, and *GAWAC 3.1* software. Soil properties were defined based on specialized literature and back-analysis. Proposed solutions include gabion walls, reinforced soil walls, and slope regrading, evaluated according to safety factors established by NBR 11682:2009. Results indicate that the proposed interventions are technically feasible and compatible with the community's socioeconomic context. This study highlights the importance of integrating technical criteria with social aspects in the planning of engineering works in at-risk areas.

KEYWORDS: Geological-Geotechnical Risks, Slope Stabilization, Social Vulnerability, Landslides, Urban Areas, Geotechnical Engineering.

1 INTRODUÇÃO

Morro dos Cabritos, situado na Região da Ressaca em Contagem (MG), compõe a bacia hidrográfica da Pampulha e apresenta elevada vulnerabilidade socioambiental, resultante da ocupação desordenada em encostas íngremes sem infraestrutura adequada. Essa dinâmica favorece a ocorrência de processos geodinâmicos, como deslizamentos e rolamento de blocos, ampliando os riscos para a população local.

A área foi incluída no Plano Municipal de Redução de Riscos (PMRR) de Contagem, elaborado pela UFMG em parceria com a prefeitura no âmbito do programa federal Periferia Sem Risco. O mapeamento

técnico identificou setores com alta suscetibilidade a movimentos de massa, relacionados tanto a características naturais — como geologia e geomorfologia — quanto a ações antrópicas, como cortes abruptos, drenagem deficiente e descarte irregular de resíduos. A litologia predominante é composta por ortognaisses bandados e diques máficos, cujas diferenças de resistência ao intemperismo contribuem para a instabilidade do relevo.

Neste contexto, o presente trabalho propõe soluções de contenção técnica e economicamente viáveis para a mitigação dos riscos identificados, considerando as especificidades sociais e ambientais da região. A proposta fundamenta-se em modelos geotécnicos, análises numéricas e critérios normativos, e ressalta a importância de ações educativas e participativas para a promoção da resiliência urbana.

2 MAPEAMENTO DE RISCOS DA VILA MORRO DOS CABRITOS

O mapeamento de riscos geotécnicos na Vila Morro dos Cabritos concentrou-se no entorno da Rua Expedita Alves de Moraes, com base em imagens aéreas obtidas por veículo não tripulado (VANT), utilizando fotografias oblíquas e zenitais para identificação das feições do terreno. A área foi dividida em setores e classificada segundo os critérios do Guia para Planos Municipais de Redução de Riscos (Ministério das Cidades, 2024), com graus de risco variando entre moderado (R2), alto (R3) e muito alto (R4). Não foram identificados setores com risco baixo (R1).

No total, foram mapeados onze setores com risco R2, quinze com risco R3 e quatro com risco R4. A distribuição espacial dos setores, conforme o grau de risco geológico-geotécnico, é apresentada na Figura 1.

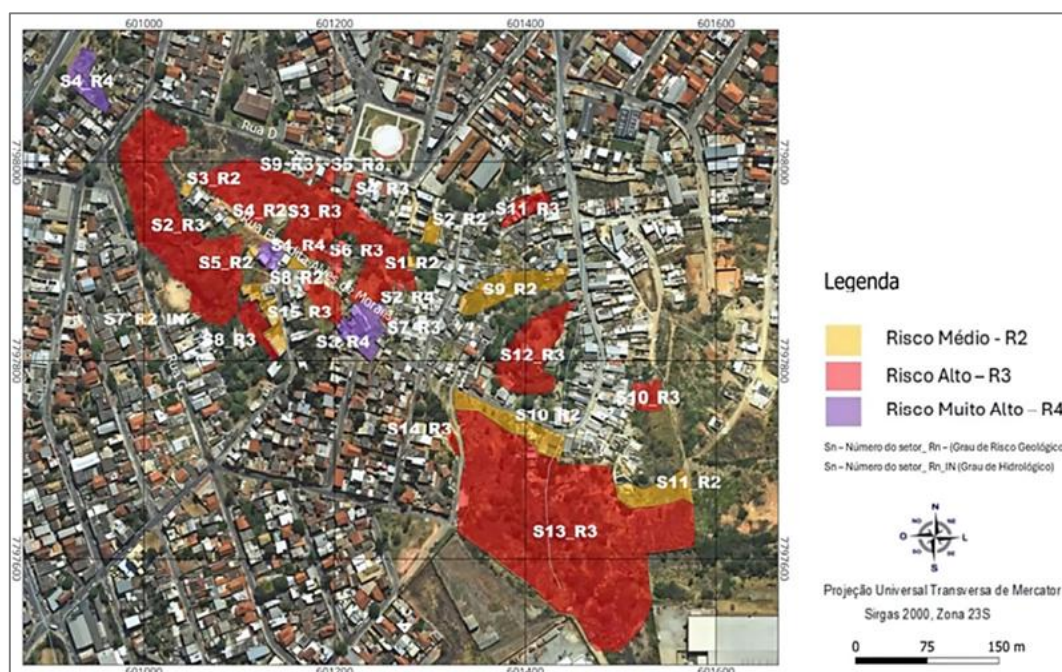


Figura 1. Visão aérea dos setores demarcados de acordo com o grau de risco geológico-geotécnico na Vila do Morro dos Cabritos em Contagem-MG. Fonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2024.

Nos setores classificados como R4, predominam encostas com declividades superiores a 45%, presença de matacões, tálus e entulho, além de múltiplos indícios de instabilidade, como trincas no solo e em edificações, muros deformados e degraus de abatimento. Os processos geodinâmicos mais frequentes são rastejo, deslizamentos rotacionais e rolamento de blocos, frequentemente associados a fossas rudimentares, cortes verticais e drenagem superficial mal conduzida.

Os setores R3 apresentam maior variabilidade geomorfológica e cobertura do terreno, com declividades entre 40% e 47% e presença de solos residuais de gnaiss, tálus e entulho. Entre os sinais de instabilidade estão cicatrizes de deslizamento, degraus de abatimento e trincas no terreno. Os processos predominantes incluem deslizamentos rotacionais e translacionais, rastejo e queda de blocos, agravados pela presença constante de fluxo superficial concentrado.

A análise da evolução do uso e ocupação do solo mostra que os sinais de instabilidade já estavam presentes em 2002, especialmente nas regiões oeste e nordeste. A expansão da ocupação em áreas elevadas e

de maior risco intensificou-se a partir de 2008, com perda de vegetação e registros de queimadas. O ápice da ocupação ocorreu em 2020, sendo posteriormente revertido por ações da prefeitura, que promoveram remoções e demolições em áreas críticas. A partir de então, observou-se regeneração da vegetação e relativa estabilização das intervenções antrópicas.

3 MODELOS DE ANÁLISE

As O modelo tridimensional foi elaborado no software Civil 3D (Autodesk, 2024) a partir de dados obtidos por aerolevantamento Lidar realizado em 2023 pela empresa Esteio Engenharia, fornecidos pela Secretaria Municipal de Tecnologia da Informação de Contagem. O tratamento dos dados permitiu a remoção de edificações e vegetação, resultando em uma topografia precisa da área de estudo.

Foram representados os dois principais materiais associados à instabilidade: o saprolito de gnaiss e o solo derivado da decomposição do dique máfico. Em alguns trechos, observa-se a sobreposição de solo do dique sobre o saprolito de gnaiss, mas, para fins de simplificação, o modelo tridimensional ampliou a faixa correspondente à intrusão máfica, abrangendo áreas de predominância desse material. A construção do modelo baseou-se no mapeamento geológico realizado pela equipe do Instituto de Geociências da UFMG. Por se tratar de um estudo preliminar, não foram realizadas investigações diretas, como sondagens ou ensaios laboratoriais.

A Figura 2 apresenta o modelo geológico-geotécnico tridimensional gerado para a área de estudo, enquanto a Figura 3 mostra o mapa de elevações extraído desse modelo.

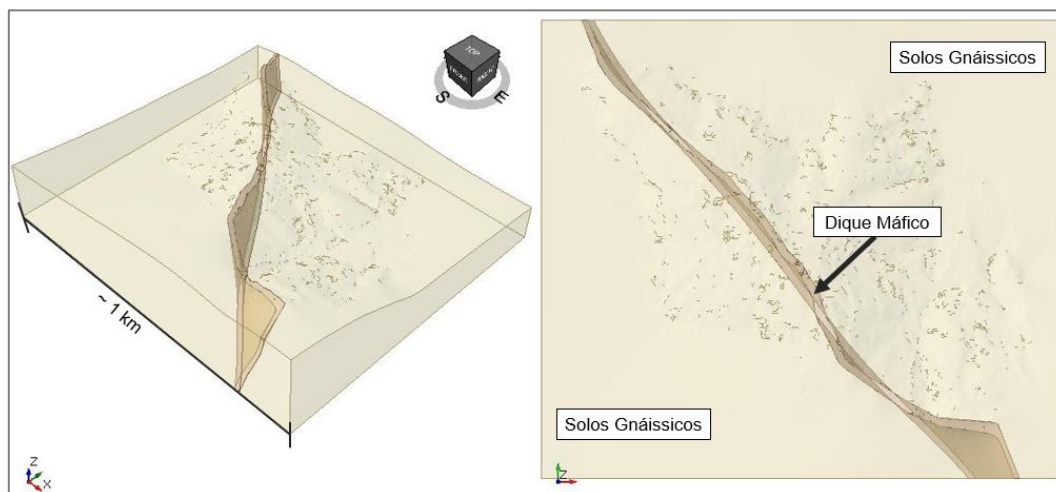


Figura 2. Modelo geológico-geotécnico da Vila Morro dos Cabritos - Contagem/MG.

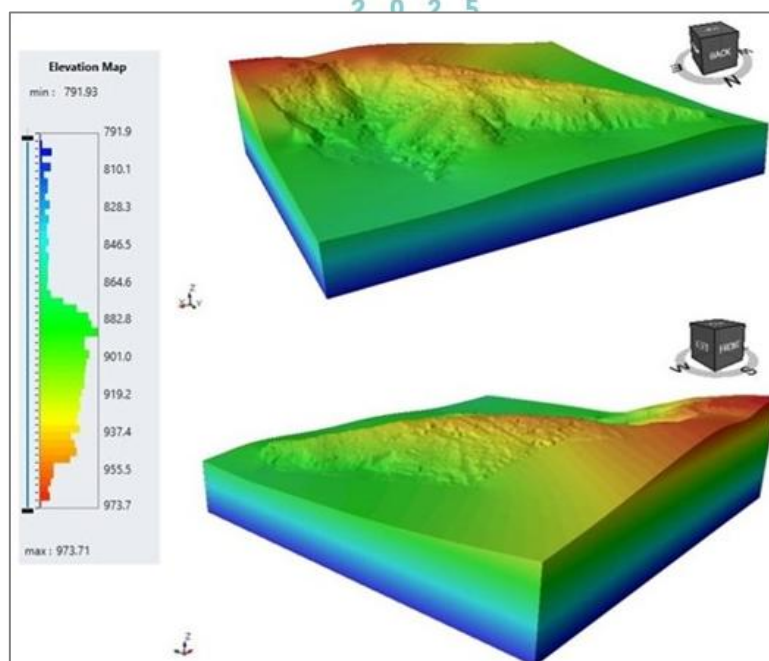


Figura 3. Modelo de elevações - Vila Morro dos Cabritos - Contagem/MG.

Para complementar a análise, foram desenvolvidos modelos bidimensionais em seções críticas definidas com base no mapeamento de risco e nos resultados da modelagem 3D (Figura 4). Esses perfis permitiram maior detalhamento local, considerando a estratificação dos solos gnáissicos, a presença de blocos, o nível d'água e a sobrecarga gerada pelas edificações.

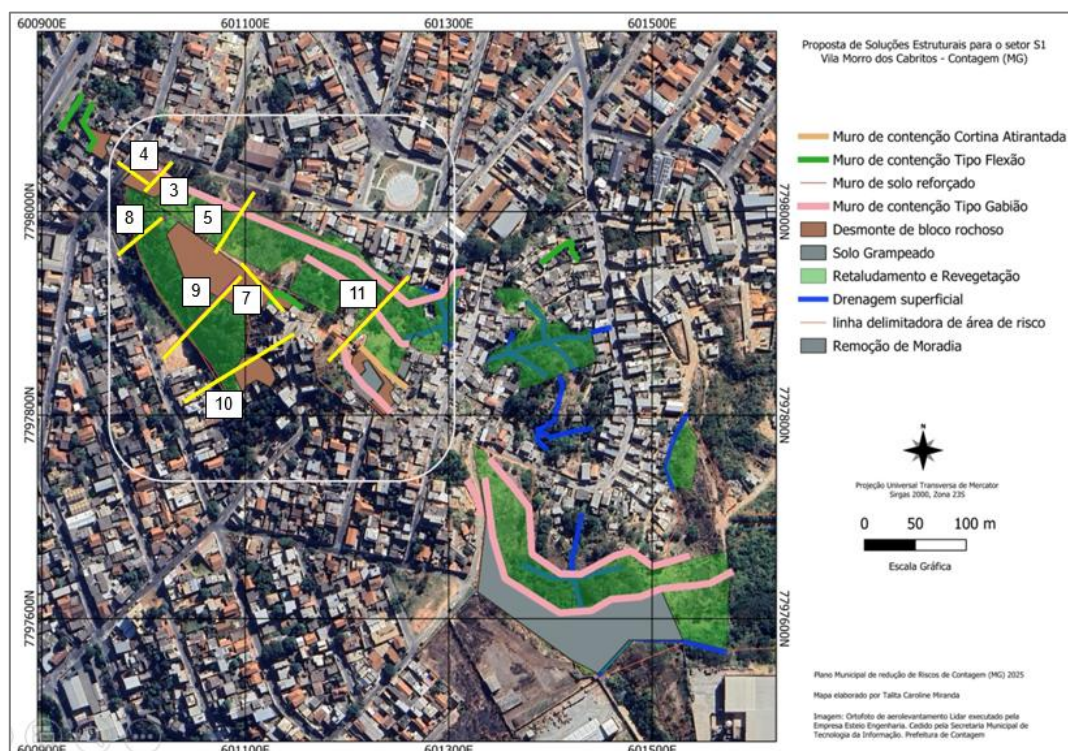


Figura 4. Seções de análise em planta para análise bidimensional de estabilidade a foco na área de estudos, associado a localização das estruturas propostas para mitigação do risco em nível de projeto conceitual.

As análises de estabilidade consideraram superfícies de ruptura circulares, compatíveis com os mecanismos observados na área, especialmente em eventos registrados em 2020. Assumiu-se comportamento drenado, dada a alta permeabilidade dos solos e ausência de carregamentos instantâneos. As inspeções de



campo não indicaram nível freático aflorante, o que reforçou a suposição de N.A. profundo nas condições atuais.

O solo do dique foi modelado como material coesivo com blocos incorporados, que se deslocam junto à matriz durante rupturas. Considerou-se que a perda de coesão da matriz, cortes subverticais ou instabilidades nos solos adjacentes podem desencadear o rompimento. O rolamento de blocos foi tratado como consequência secundária aos deslizamentos e não foi simulado nos modelos.

A sobrecarga aplicada nos modelos bidimensionais foi estimada com base na NBR 6120:2019, considerando edificações em alvenaria de até dois pavimentos, resultando em carga total de 6,5 kN/m², incluindo peso próprio e sobrecarga de uso. Essa estimativa representa adequadamente as condições construtivas observadas na área.

A Tabela 2 resume os parâmetros geotécnicos utilizados, extraídos da literatura especializada e da experiência técnica, abrangendo os principais materiais presentes nos setores com risco R3 ou R4. Esses valores fundamentaram as análises de estabilidade e o dimensionamento das soluções propostas.

Tabela 1. Parâmetros geomecânicos adotados e referências utilizadas.

Material	γ_{nat} (kN/m ³)	γ_{sat} (kN/m ³)	c' (kPa)	ϕ' (°)	Referência
Solo com blocos	21,5	-	12	22	Diemer et. Al., 2008
Solo residual de gnaiss	14,0	-	20	31	Parizzi, 2004
Saprolito de gnaiss	12,0	17,5	10	33	Parizzi, 2004
Solo compactado	18,0	-	0	33	γ_{nat} : experiência dos profissionais envolvidos
Areia	20,0	-	0	38	Gerscovich, 2012
Gabião	24,0	-	93	54	GSC Manual – Gabion Wall Design

Para avaliar a estabilidade das encostas em área urbana, adotou-se um fator de segurança (FS) mínimo de 1,5 para a condição definitiva, conforme a NBR 11682 (2009), devido à presença de habitações, embora sem grandes riscos materiais ou ambientais. Para a condição provisória, durante escavações para contenções, considerou-se adequado um FS mínimo de 1,3. Apesar da norma não se aplicar diretamente a processos como voçorocas e quedas de blocos, sua utilização foi considerada apropriada neste estudo, focado em deslizamentos rotacionais e translacionais induzidos por chuvas intensas. Nos muros de gravidade, seguiram-se os critérios da mesma norma, adotando-se FS de 2,0 para tombamento, 1,5 para deslizamento da base e 3,0 para capacidade de carga da fundação”.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para estabilização das seções 3, 5 e 10, foi proposta a implantação de muros de gravidade em gabião tipo caixa, com seis camadas: duas inferiores de 0,5 m e quatro superiores de 1,0 m. A base inicia com 5 m de largura, reduzindo-se 1 m a cada camada, até atingir 1 m no topo.

Nas seções 8 e 9 (Figura 5, condição inicial e Figura 6, condição final), recomendou-se o uso de muros em solo reforçado com geogrelhas, compactado em aterro e com face inclinada a 10V:1H, revestida por tela metálica preenchida com pedras. Essa solução foi considerada a mais adequada para taludes altos e verticalizados, onde escavações são limitadas e os fatores de segurança estimados se aproximam da unidade. A técnica também apresenta boa relação custo-benefício e permite aproveitamento comunitário do platô gerado. O material previsto para o aterro é o solo residual de gnaiss oriundo de escavações internas ao próprio morro.

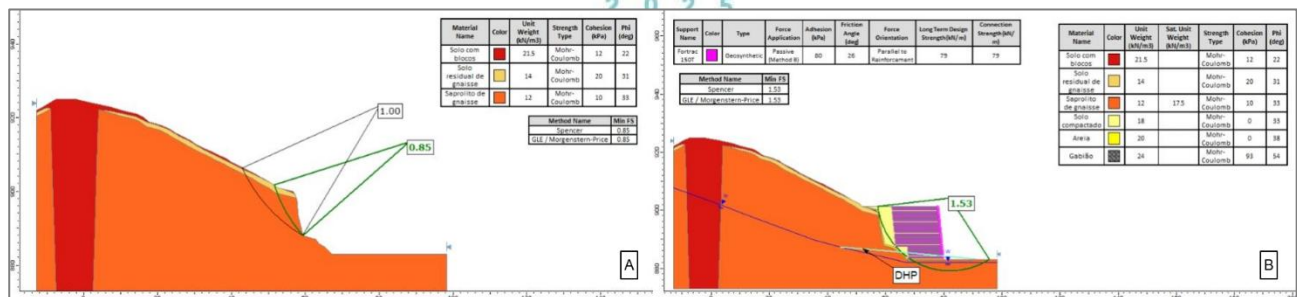


Figura 5. Fatores de Segurança obtidos antes (A) e depois (B) da implantação do muro em solo reforçado na região da Seção 9.¹

O modelo 3D reproduziu de forma satisfatória as áreas associadas a deslizamentos nos solos gnáissicos, mas não representou com precisão a cobertura de tálus sobre o solo residual, especialmente fora da faixa do dique. Ainda assim, foi útil como diagnóstico inicial, dada a forte influência da declividade na instabilidade observada.

Ao restringir a área de busca por superfícies de ruptura nas análises 3D, os resultados se aproximaram dos obtidos com os modelos 2D. Entretanto, a identificação de seções críticas foi dificultada pela topografia irregular. Recomenda-se, portanto, o desenvolvimento futuro de modelos tridimensionais mais detalhados.

As análises bidimensionais demonstraram-se mais eficientes na avaliação das condições locais, em parte pela familiaridade da autora com os softwares utilizados. As simulações mostraram que a elevação do nível d'água até o contato entre o solo residual e saprolito de gnaiss reduz significativamente os fatores de segurança, confirmando observações de campo sobre a ausência de freática superficial. Conclui-se que, nos perfis já consolidados, tais elevações do N.A. ainda não ocorreram.

Na Seção 9, mesmo sem considerar o N.A., o fator de segurança obtido foi inferior a 1 para a condição atual, indicando instabilidade no trecho verticalizado. Esse resultado reforça a necessidade de investigações adicionais para compreender os mecanismos que mantêm a encosta estável, possivelmente associados à vegetação local.

De modo geral, os movimentos de massa mais significativos estão associados à ruptura dos solos gnáissicos. As seções 3, 5 e 10 foram estabilizadas com muros de gabião, considerados tecnicamente viáveis e economicamente acessíveis. Todas atenderam aos fatores de segurança mínimos definidos: 1,3 para condição provisória e 1,5 para a definitiva. Na Seção 5, foram também verificados os critérios para deslizamento da base ($FS \geq 1,5$), tombamento ($FS \geq 2,0$) e capacidade de carga ($FS \geq 3,0$).

A Seção 7 apresentou fatores de segurança aceitáveis mesmo com o nível d'água elevado, porém foram identificados sinais de instabilidade em campo, indicando que o modelo pode não representar adequadamente os processos atuantes na área. Como o principal mecanismo observado é o rolamento de blocos, não contemplado pelo *Slide2*, recomenda-se utilizar modelos específicos para esse tipo de análise.

Na Seção 4, os parâmetros do solo com blocos foram calibrados por retroanálise. Como a área é menos urbanizada, foi possível propor o retaludamento após remoção dos blocos, com base nas simulações realizadas.

Os muros de solo reforçado nas seções 8 e 9 demonstraram bom desempenho, inclusive com a aplicação de sobrecarga na Seção 9, sem prejuízo à estabilidade. Isso reforça a viabilidade de ocupação controlada na região após a execução das contenções.

Na Seção 11, prevê-se a construção de uma cortina atirantada para viabilizar a implantação de uma via local, conectando à rua existente. O detalhamento dessa estrutura, contudo, está fora do escopo deste trabalho.

Na Figura 6, tem-se representações esquemáticas das estruturas de contenção propostas e supracitadas.

¹Suport Name = Nome do Reforço; Color = Cor; Type = Tipo; Force Application = Aplicação da Força; Adhesion = Adesão; Friction Angle (deg) = Ângulo de Atrito (graus); Force Orientation = Orientação da Força; Long Term Design Strength = Resistência de Longo Termo de Projeto; Connection Strength = Resistência da Conexão; Method Name = Nome do Método; Material Name = Nome do Material; Unit Weight = Peso Específico; Sat. Unit Weight = Peso Específico Saturado; Strength Type = Tipo de Resistência; Cohesion = Coesão.

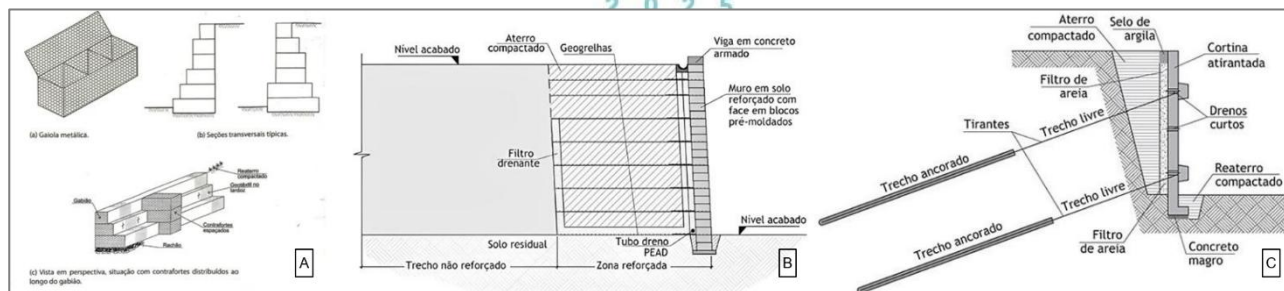


Figura 6. (A) Muros de gabião; (B) Seção com constituintes típicos de um muro de solo reforçado; (C) Seção transversal típica de uma cortina atirantada (Fonte: (A) GEO-RIO, 2014 (B) e (C) Gerscovich, Danziger e Saramago, 2016).

As principais limitações do estudo decorrem da ausência de investigações geotécnicas diretas. Os parâmetros utilizados foram baseados em literatura técnica e observações de campo, especialmente nos trabalhos de Parizzi (2004) e Diemer et. Al. (2008). A falta de dados sobre a profundidade da rocha sã, a espessura dos solos e os contatos litológicos compromete a precisão das análises. A posição do nível d'água também se mostrou determinante nos resultados, sendo essencial sua caracterização em condições atuais e em cenários extremos.

Considerando o objetivo do PMRR de mitigar riscos em eventos severos, é necessário avaliar até que ponto é praticável a redução do risco associado à elevação freática até o topo do morro. Para situações de baixa probabilidade, recomenda-se a adoção do conceito ALARP (*“As Low As Reasonably Practicable”*) como critério de aceitabilidade do risco. Isso implica também reavaliar os fatores de segurança mínimos admissíveis em encostas naturais sob essas condições.

A definição do N.A. nos cenários de análise é fundamental para o correto dimensionamento das obras. Embora o uso de drenos horizontais profundos (DHP) tenha sido considerado nas simulações, seu efeito foi apenas representado de forma conceitual. Reforça-se, por fim, a importância de investigações que definam com precisão a geometria interna do maciço, condição essencial para projetar estruturas realmente eficazes na mitigação dos riscos geotécnicos do Morro dos Cabritos:

5 CONCLUSÕES

A análise integrada dos aspectos geotécnicos e sociais da Vila Morro dos Cabritos confirma a coexistência de riscos elevados e vulnerabilidades históricas, características de muitas áreas periféricas urbanas. O mapeamento técnico evidenciou setores com alto e muito alto risco, associados à presença de encostas íngremes, solos intemperizados, drenagem precária e ocupações irregulares.

As modelagens tridimensionais e bidimensionais permitiram compreender a dinâmica dos processos de instabilidade e subsidiaram a proposição de soluções de contenção compatíveis com as condições do terreno e com as limitações econômicas e operacionais da área. A adoção de superfícies de ruptura circulares, a consideração de sobrecargas realistas e a variação do nível freático permitiram simulações coerentes com os mecanismos observados em campo.

As soluções propostas incluem muros de gabião, muros em solo reforçado e retaludamento, aplicados conforme a geometria dos taludes e as restrições locais. As estruturas atenderam, em sua maioria, aos fatores de segurança recomendados pela NBR 11682:2009.

A ausência de ensaios geotécnicos e dados sobre a geometria interna do maciço impôs limitações às análises. Ainda assim, os resultados obtidos oferecem base técnica consistente para intervenções emergenciais e planejamento de projetos futuros. A definição precisa do nível d'água e dos contatos entre solos e rochas é fundamental para garantir a eficácia das soluções propostas.

Recomenda-se que futuros estudos considerem a análise de riscos sob a ótica do conceito ALARP, especialmente para eventos de baixa probabilidade e alto impacto. Também se destaca a importância de integrar ações de engenharia com medidas sociais e participativas, essenciais para a efetiva redução de riscos em contextos de alta vulnerabilidade.



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2009). NBR 11682. *Estabilidade de encostas*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2019). NBR 6120. *Cargas para o cálculo de estruturas de edificações*. Rio de Janeiro.
- BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. *Ação 8865. Manual para apresentação de propostas*. Brasília: Ministério do Desenvolvimento Regional, 2023. Disponível em: https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/emendasparlamentares/acao_8865.pdf. Acesso em: 10 nov. 2024.
- BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. *Ação 8865: Apoio à execução de projetos e obras de contenção de encostas em áreas urbanas*. Brasília: Ministério do Desenvolvimento Regional, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/protecao-e-defesa-civil/solicitacao-de-recursos-1/acao-8865-apoio-a-execucao-de-projetos-e-obras-de-contencao-de-encostas-em-areas-urbanas?form=MG0AV3>. Acesso em: 10 nov. 2024.
- DIEMER, F.; RAMBO, D.; SPECHT, L. P.; POZZOBON, C. E. *Propriedades geotécnicas do solo residual de basalto na região de Ijuí/RS*. Revista Teoria e Prática na Engenharia Civil. n. 12, p. 25-36, outubro de 2008. Ijuí, Rio Grande do Sul.
- GEO-RIO; Universidade Federal Do Rio De Janeiro. *Manual Técnico de Encostas – Volume I*. Rio de Janeiro: GEO-RIO, 2020. 518 p.
- GEO-RIO; Universidade Federal Do Rio De Janeiro. *Manual Técnico de Encostas – Volume II*. Rio de Janeiro: GEO-RIO, 2020. 187 p.
- Gerscovich, D. M. S. (2012). *Estabilidade de taludes*. São Paulo: Oficina de Textos, 159 p.
- Maccaferri (2023). *GAWAC 3.1 - Gabion Wall Design*. Versão 3.1 r3.1.06.
- Parizzi, M. G. (2004). *Condicionantes e mecanismos de ruptura em taludes da Região Metropolitana de Belo Horizonte, MG*. Tese de Doutorado, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto.
- Rocscience Inc. (2017). *Slide3 – 3D limit equilibrium slope stability overview*. Toronto, Canadá. Disponível em: <https://www.rocscience.com/help/slide3/verification-theory/theory-manuals>. Acesso em: 13 jan. 2025.
- Rocscience Inc. (2021). *Slide2 – 2D limit equilibrium slope stability*. Versão 9.019. Toronto, Canadá.
- Rocscience Inc. (2022). *Slide3 – 3D limit equilibrium slope stability*. Versão 3.020. Toronto, Canadá.
- Universidade Federal de Minas Gerais (2024). *Plano Municipal de Redução de Riscos – PMRR: projeto piloto - mapeamento do risco*. Contagem, MG, 97 p.
- Universidade Federal de Minas Gerais (2024). *Plano Municipal de Redução de Riscos – PMRR: relatório 2 - mapeamento de riscos*. Contagem, MG, 156 p.