



Estabilização de Talude com Cortina Atirantada: Aplicação da NBR 11682 e NBR 5629

Vinícius Calácio da Silva

Discente, PPGEMIN CEFET-MG, Araxá-MG, Brasil, vinicius.27@aluno.cefetmg.br

Natal Junio Pires

Professor Doutor, PPGEMIN CEFET-MG, Araxá-MG, Brasil, natal@cefetmg.br

Thiago Bomjardim Porto

Professor Doutor, PPGEMIN CEFET-MG, Araxá-MG, Brasil, thiago.porto@cefetmg.br

RESUMO: Apresenta-se o estudo geotécnico e dimensionamento de uma estrutura de contenção para um talude de 6 metros de altura que sofreu instabilidade, exigindo intervenção corretiva. A solução adotada foi uma cortina atirantada convencional em concreto armado, composta por três linhas de tirantes espaçados a cada 2 metros. Cada tirante possui 18 metros de comprimento total, sendo 10 metros de trecho livre. Os estudos de estabilidade foram conduzidos conforme normativas em vigor. As investigações geológico-geotécnicas revelaram um terreno constituído por solo residual saprolítico de rocha vulcanossedimentar friável, sobreposto por um solo silte-argiloso com resistência mecânica variável. A heterogeneidade do maciço e a ausência de um crescimento uniforme da resistência com a profundidade, características comuns em solos saprolíticos, indicaram a necessidade de uma solução de contenção robusta e ativa. A cortina atirantada foi adotada por ser eficaz em estabilizar massas de solo profundas, transferindo as cargas para horizontes mais competentes por meio dos tirantes, sendo ideal para o cenário geotécnico encontrado. A análise geotécnica foi realizada por meio de equilíbrio limite, permitindo a avaliação detalhada das condições de resistência do terreno. Os resultados indicaram um FS superior a 1,5, assegurando a estabilidade da solução proposta. A estrutura foi aprovada para execução, evidenciando a importância da aplicação rigorosa de normativas técnicas no dimensionamento de contenções em áreas suscetíveis a deslizamentos. Os resultados desta pesquisa reforçam a necessidade da correta caracterização geotécnica e do dimensionamento adequado de contenções para o bom desempenho do empreendimento de infraestrutura. A experiência adquirida pode contribuir para futuras intervenções em cenários similares, aprimorando práticas de estabilização de taludes e mitigação de riscos geotécnicos.

PALAVRAS-CHAVE: Contenção, Cortina atirantada, Estabilidade de taludes, NBR 11682, NBR 5629.

ABSTRACT: This study presents the geotechnical investigation and design of a retaining structure for a 6-meter-high slope that experienced instability, requiring corrective intervention. The adopted solution was a conventional anchored retaining wall in reinforced concrete, consisting of three rows of anchors spaced every 2 meters. Each anchor has a total length of 18 meters, with 10 meters as the free length. The stability analyses were carried out in accordance with current standards.

The geological-geotechnical investigations revealed a subsoil composed of residual saprolitic soil derived from friable volcano-sedimentary rock, overlain by a silty-clayey soil with variable mechanical strength. The heterogeneity of the soil mass and the absence of uniform strength increase with depth—features commonly observed in saprolitic soils—indicated the need for a robust and active retaining solution.

The anchored retaining wall was adopted due to its effectiveness in stabilizing deep soil masses, transferring loads to more competent horizons through the anchors, making it ideal for the geotechnical conditions encountered. The geotechnical analysis was performed using the limit equilibrium method, allowing for a detailed assessment of the soil strength conditions. The results indicated a factor of safety (FS) greater than 1.5, ensuring the stability of the proposed solution.

The structure was approved for execution, highlighting the importance of strict application of technical standards in the design of retaining structures in landslide-prone areas. The results of this study reinforce the need for proper geotechnical characterization and adequate design of retaining systems to ensure the successful performance of infrastructure projects. The experience gained may contribute to future interventions in similar scenarios, improving slope stabilization practices and the mitigation of geotechnical risks.

KEYWORDS: Retaining Structure, Ground Anchored Retaining Wall, Slope Stability, NBR 11682, NBR 5629.

1 INTRODUÇÃO

De acordo com Porto (2015), a estabilidade de taludes é uma preocupação constante na engenharia geotécnica, especialmente em projetos de infraestrutura e mineração, onde escavações e conformações de terreno são frequentes. A instabilidade de massas de solo ou rocha pode acarretar riscos à segurança, perdas econômicas e impactos ambientais. Com o objetivo de garantir a estabilização dos taludes, uma importante solução geotécnica é a cortina atirantada, conforme ilustração da Figura 1.

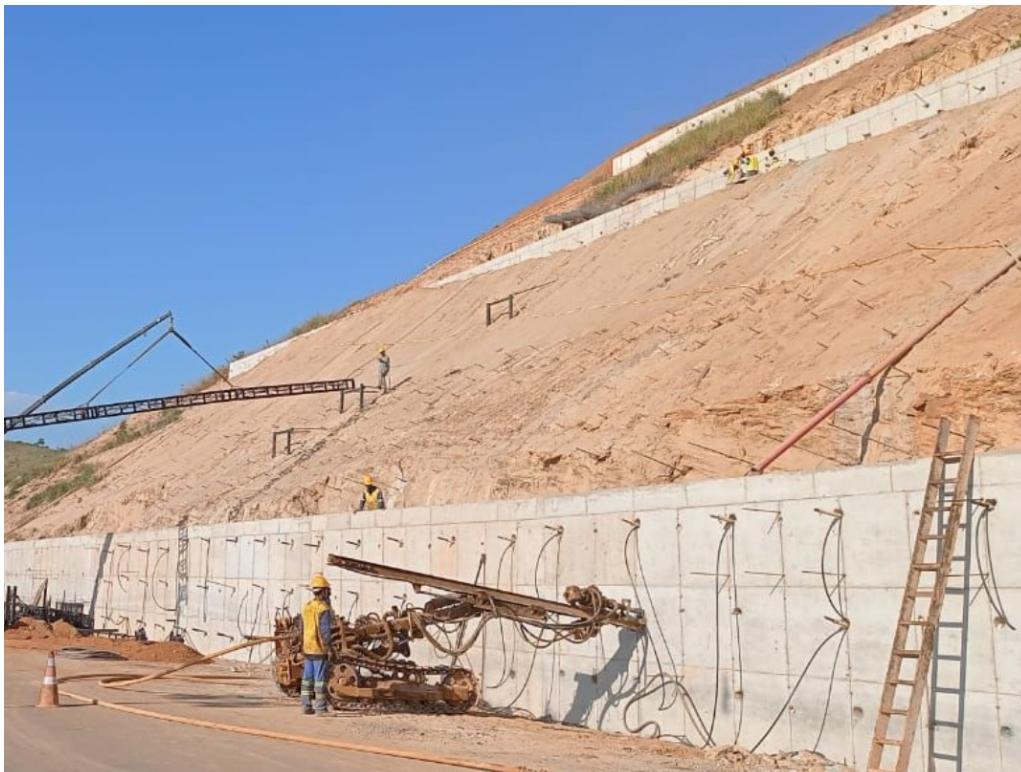


Figura 1. Vista em perspectiva de uma cortina atirantada. Fonte: Acervo dos autores (2025).

Diane de um cenário de instabilidade em um talude com aproximadamente 6 metros de altura localizado na província mineral do Quadrilátero Ferrífero, tornou-se imperativa uma intervenção corretiva para garantir a segurança e a operacionalidade da área. Trata-se de uma estrutura de contenção em concreto armado atirantada com f_{ck} de 30MPa. A contenção, com extensão total de 120 metros, foi segmentada em 10 módulos para otimização construtiva e estrutural. Os estudos de estabilidade foram conduzidos conforme a NBR 11682 (ABNT, 2009), que estabelece critérios para estabilidade de taludes, e a NBR 5629 (ABNT, 2018), que define requisitos para a execução de tirantes ancorados no solo. O dimensionamento do paramento em concreto armado seguiu as diretrizes da NBR 6118 (ABNT, 2023), garantindo conformidade com as normas estruturais vigentes.

Este artigo tem como objetivo apresentar um estudo de caso referente ao projeto e dimensionamento de uma estrutura de contenção definitiva do tipo cortina atirantada. A solução foi projetada para estabilizar um talude em uma localidade que demandava reconfiguração do terreno existente. Serão detalhadas as investigações geotécnicas realizadas, os critérios de dimensionamento adotados e as análises de estabilidade processadas.

A escolha da província mineral do quadrilátero ferrífero como área de estudo desta pesquisa justifica-se por três fatores principais: (i) seu acelerado processo de mineração, (ii) a significativa concentração de áreas de risco mapeadas e (iii) as características geomecânicas (geológicas-geotécnicas) peculiares do seu terreno, que potencializam processos erosivos e instabilidades. Essa combinação de fatores, associada à crescente demanda por soluções de estabilização em cortina atirantada, consolida a referida região mineira como um laboratório natural para estudos de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e projetos de estruturas de contenção, conforme apresentado nas pesquisas desenvolvidas por Porto (2015), Porto et al. (2017) e Dias e Porto (2024).

2 DESCRIÇÃO DA ÁREA E DO PROBLEMA

O projeto em questão envolveu a estabilização de um talude de corte recém-executado com altura média de 6 metros e extensão longitudinal de 120 metros.

Este talude foi criado na base de uma cava maior como resultado de serviços de terraplanagem para a implantação de uma nova estrutura, sendo a intervenção focada em garantir a estabilidade local desta nova geometria. A área de estudo está inserida no contexto geológico do Quadrilátero Ferrífero de Minas Gerais, uma região de significativa importância mineral e geológica no Brasil, conforme ilustrado na Figura 2. A inclinação final do talude reconformado varia significativamente, entre aproximadamente 65° e 90°. A intervenção foi motivada pela necessidade de garantir a estabilidade de longo prazo da encosta após serviços de terraplanagem.

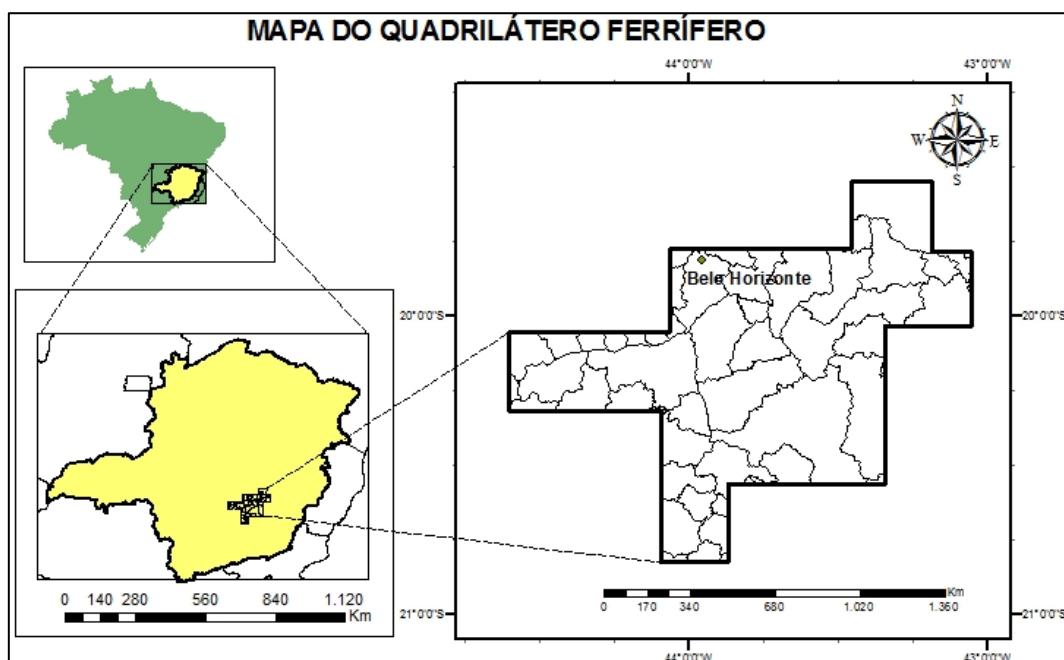


Figura 2. Mapa do Quadrilátero Ferrífero. Fonte: Mesosaurus (2016).

A execução dos serviços de terraplanagem foi planejada para ocorrer em etapas, de modo a assegurar a segurança durante a obra, onde o início de uma nova etapa de escavação só seria permitido após a conclusão e cura da contenção no nível superior.

3 INVESTIGAÇÕES GEOLÓGICO-GEOTÉCNICAS

Para o desenvolvimento do projeto de contenção, foi realizada uma campanha de investigações geotécnicas de campo. Estas investigações foram cruciais para a caracterização do perfil de solo e para a definição dos parâmetros geotécnicos utilizados no dimensionamento. Foram executadas sondagens nas proximidades da área de interesse. Apresenta-se na Figura 3, boletim de sondagem realizado na área de intervenção. As compilações dos relatórios de sondagem indicaram um perfil de geológico-geotécnico composto predominantemente por um solo residual saprolítico de rocha vulcanossedimentar, friável, sobreposto por um solo silte-argiloso com resistência mecânica variável ao longo de sua profundidade, não havendo tendência de crescimento uniforme. Os parâmetros geotécnicos apresentados na Figura 4 foram inferidos a partir dos resultados das sondagens à percussão (SPT) executadas na área de estudo. Para cada camada de solo identificada no perfil geotécnico, os valores do índice de resistência à penetração (NSPT) foram utilizados em correlações empíricas consagradas na literatura técnica. Especificamente, foram empregadas as tabelas propostas por Joppert (2007) para estimar o peso específico (γ), o ângulo de atrito efetivo (ϕ') e a coesão (c') do solo. Esse método permitiu a definição dos parâmetros para as diferentes zonas do talude (topo, meio e base), conforme adotado nas análises de estabilidade.

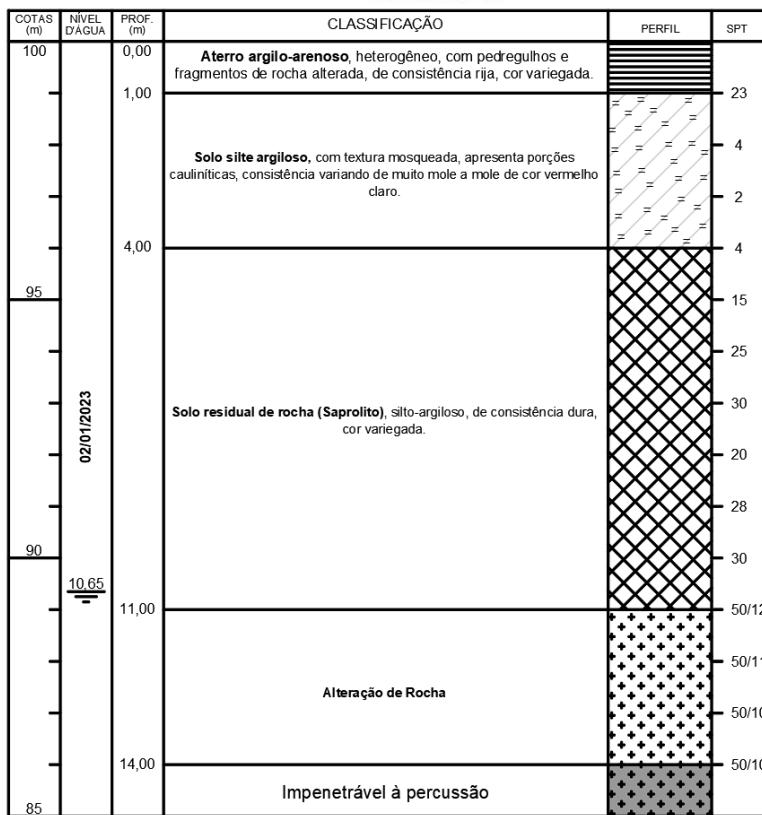


Figura 3. Sondagem à percussão realizada no terreno estudado. Fonte: Autores.

Apresenta-se na Figura 3, boletim de sondagem realizado na área de intervenção. O perfil geotécnico ilustrado nesta figura foi considerado representativo para a seção transversal crítica adotada no dimensionamento da estrutura de contenção (Figura 5), refletindo as condições de solo predominantes ao longo dos 120 metros de extensão do muro.

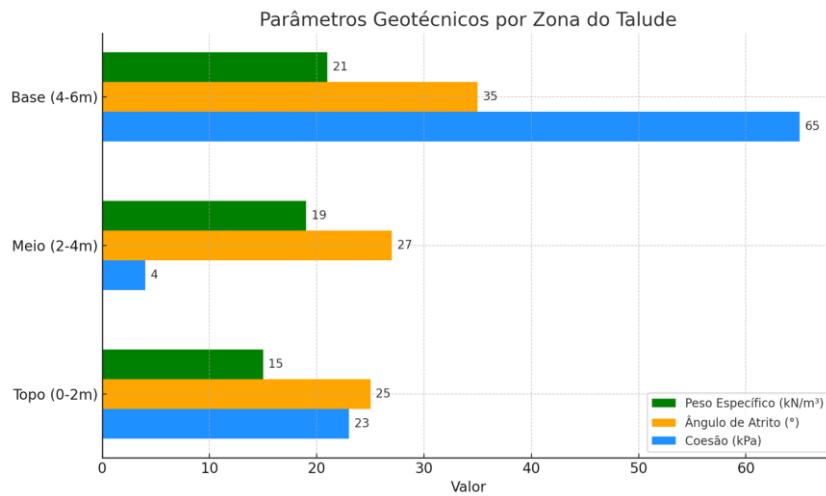


Figura 4. Parâmetros geotécnicos adotados para as diferentes zonas do talude, baseados nas investigações geológico-geotécnicas. Fonte: Autores.

Em algumas porções, o solo siltoso argiloso apresentava pedregulhos lateríticos e porções manganesíferas. O saprolito, por sua vez é um silto-argiloso arenoso, também com porções manganesíferas e, em alguns casos, com o arcabouço da rocha matriz (residual). Em outras sondagens realizadas nas proximidades do estudo de caso, o solo superficial era siltoso com porções cauliníticas, e o saprolito de solo silto-argiloso apresentava porções coesas cimentadas ferromagnesianas. A análise tático-visual dos materiais coletados durante as sondagens foi fundamental para essa caracterização. Apresenta-se na Figura 5 perfil geométrico do estudo de caso.



Figura 5. Perfil geométrico típico da área de estudo. Fonte: Autores.

As investigações foram complementadas por um levantamento topográfico detalhado da área de intervenção.

4 SOLUÇÃO ADOTADA E PRÉ-DIMENSIONAMENTO

A escolha pela cortina atirantada como solução de estabilização foi fundamentada em múltiplos fatores técnicos. Primeiramente, as investigações geotécnicas apontaram para um perfil de solo com resistência variável e sem um padrão definido de melhoria com a profundidade, tornando soluções de contenção por gravidade, que dependem de uma fundação competente e uniforme, menos seguras e economicamente inviáveis. Adicionalmente, a altura do talude de 6 metros e a necessidade de minimizar a área de escavação em um ambiente operacional de mineração favoreceram uma solução de reforço ativo. A cortina atirantada permite vencer grandes alturas com uma estrutura de face esbelta, transferindo o empuxo do solo para uma região interna e mais estável do maciço através dos tirantes ancorados.

A solução de engenharia adotada para a estabilização do talude foi uma cortina atirantada convencional em concreto armado. Esta estrutura de contenção foi projetada com uma extensão total de 120 metros, dividida em módulos de 12 metros para facilitar a execução e otimizar o comportamento estrutural.

A cortina é composta por três linhas de tirantes permanentes, ativos, espaçados horizontalmente a cada 2 metros. Cada tirante foi dimensionado para uma carga de trabalho de 400 kN e possui um comprimento total estimado de 18 metros, sendo 10 metros de trecho livre e 8 metros de trecho ancorado. Foi prevista a validação (ou readequação) in loco do comprimento dos tirantes durante a primeira etapa da obra, por meio de ensaios de arrancamento. A capacidade de carga da ancoragem foi estimada utilizando a metodologia semiempírica proposta por Porto (2015). Para uma abordagem mais aprofundada sobre o dimensionamento e comportamento de ancoragens, trabalhos como Porto et al. (2017) e Dias et al. (2021) oferecem maior detalhamento. Apresenta-se na Tabela 1 as informações geométricas e de resistência das ancoragens adotadas na pesquisa.

Tabela 1. Dimensões e Disposição dos Tirantes por Linha

Linha	Comprimento Livre (L _L)	Comprimento Ancorado (L _B)	Comprimento Total (L _T)	Carga de Trabalho (kN)	Nº Tirantes por Módulo
01	10,00 m	8,00 m	18,00 m	400	6
02	10,00 m	8,00 m	18,00 m	400	6
03	10,00 m	8,00 m	18,00 m	400	6

O paramento da cortina foi projetado em concreto armado com resistência característica à compressão (fck) de 30 MPa, a ser bombeado e lançado no talude. A armação de flexão do paramento foi definida com vergalhões CA-50. Para combater o fenômeno da punção, armaduras de fretagem foram propostas com barras de 12,5 mm armadas em formato de cruz. Além disso, armação contra o colapso progressivo também foi adotado na solução estrutural, também com barras de 12,5mm de aço do tipo CA-50. Para minimizar os efeitos da retração por temperatura, juntas de dilatação verticais de 20mm foram previstas a cada 12 metros longitudinais da contenção. Apresenta-se a Tabela 2 o consumo estimado de materiais estruturais por módulo de cortina:



2 0 2 5

Tabela 2. Materiais por Módulo de Cortina Atirantada (6×12 m)

Item	Especificação	Unidade	Qtde
Monobarras (tirantes)	Ø32 mm – 400 kN (ST 95/105)	m	18
Tela soldada dupla	Q785 CA-60	m ²	159
Aço complementar	Ø12,5 mm CA-50	kg	555
Conectores de punção/tirantes	Ø12,5 mm	un	36
Concreto projetado	fck 30 MPa – e=25 cm	m ³	18

Ainda que o nível d'água tenha sido identificado a aproximadamente 10,65 m de profundidade, a contenção foi projetada considerando condições drenadas para garantir a segurança a longo prazo. Para isso, foi previsto um sistema de drenagem de face composto por barbacãs de PVC de 75 mm de diâmetro, instalados a cada 4 metros na horizontal e 2 metros na vertical. Estes drenos são essenciais para aliviar qualquer poro-pressão que possa se desenvolver na interface solo-estrutura devido à infiltração de águas pluviais, um fator crucial para o desempenho da estrutura.

Para a estimativa do empuxo atuante na estrutura, considerou-se a formulação clássica (COULOMB, 1776; RANKINE, 1857); uma compilação e aplicação da metodologia pode ser encontrada em trabalhos como os de Santos *et al.* (2019), Pereira e Porto (2020), Almeida *et al.* (2020) e Oliveira (2023). O dimensionamento da estrutura de contenção e as análises de estabilidade seguiram as diretrizes das seguintes normas ABNT

- NBR 11682 - Estabilidade de Encostas: Utilizada para estabelecer os critérios de segurança e verificar a estabilidade global do talude reforçado.
- NBR 5629 - Tirantes Ancorados no Terreno - Procedimento: Empregada para o projeto, execução e controle de qualidade dos tirantes.
- NBR 6118 - Projeto de Estruturas de Concreto - Procedimento: Adotada para o dimensionamento do paramento de concreto armado da cortina.

A análise geotécnica da estabilidade do conjunto solo-reforço foi realizada por meio de análises de equilíbrio limite com o Programa SLIDE2 v.9.038 da Rocscience. Este método permite avaliar as condições de equilíbrio do maciço sob diferentes solicitações, considerando as características de resistência dos materiais e a contribuição dos elementos de reforço.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise inicial da estabilidade do talude de 6 metros, realizada após a simulação do corte e antes da instalação da contenção, revelou um Fator de Segurança (FS) de 1,26. Este valor está abaixo do mínimo de 1,5 recomendado pela NBR 11682 (ABNT, 2009) para taludes permanentes, confirmando a condição de instabilidade e a necessidade de uma intervenção corretiva. Após a inclusão da cortina atirantada no modelo, as análises de estabilidade realizadas para as seções críticas do talude, indicaram um fator de segurança global de 1,82 utilizando o método GLE (Morgenstern-Price). Este valor atende aos critérios estabelecidos pela NBR 11682 para taludes permanentes em condições de serviço, assegurando a estabilidade da solução proposta.

A Figura 6 ilustra a superfície de ruptura crítica para a condição final, já com a estrutura de contenção implantada. O Fator de Segurança de 1,82 é obtido considerando as forças resistentes mobilizadas pelos três tirantes que interceptam essa superfície, demonstrando a eficácia do reforço em garantir a estabilidade do conjunto.

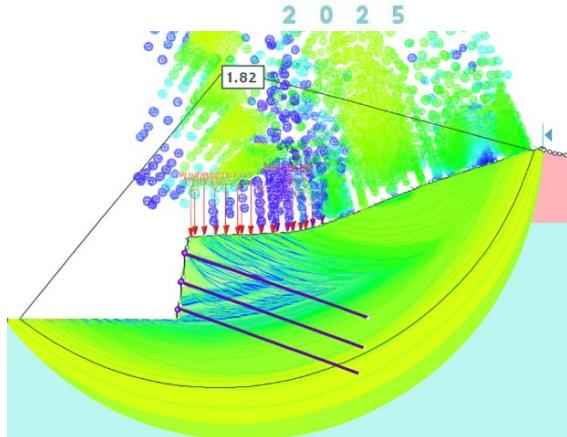


Figura 6. Análise de Estabilidade do talude reforçado com cortina atirantada ($FS=1,82$). (Fonte: elaborado pelo autor, 2025).

A segmentação da cortina em módulos de 12 metros e o planejamento da execução em etapas foram decisões importantes para a viabilidade construtiva e para o controle de deformações durante a obra. A previsão de validação in loco do comprimento dos tirantes é uma prática recomendada para otimizar o desempenho das ancoragens, ajustando-as às reais condições do terreno encontradas durante a perfuração.

Os drenos de face são um componente crucial do sistema, minimizando o desenvolvimento de pressões hidrostáticas na interface solo-estrutura, o que contribui significativamente para a estabilidade de longo prazo da contenção. A escolha de ancoragens ativas, com aplicação de carga de trabalho de 40 tf, visa mobilizar a resistência do terreno de forma controlada, limitando deslocamentos futuros do paramento.

A caracterização geotécnica detalhada, baseada nas sondagens e na interpretação do perfil geológico, foi fundamental para a definição dos parâmetros de resistência do solo utilizados nas análises. A variabilidade da resistência mecânica do solo, sem uma tendência clara de aumento com a profundidade, reforçou a necessidade de uma abordagem cautelosa no dimensionamento e na escolha dos comprimentos dos tirantes.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo de caso apresentado demonstra o dimensionamento de uma cortina atirantada para a estabilização de um talude de 6 metros de altura, cuja intervenção se mostrou necessária para garantir a segurança e funcionalidade de uma área submetida a serviços de terraplanagem. A solução, composta por um paramento de concreto armado e três linhas de tirantes, foi projetada em conformidade com as principais normas técnicas brasileiras (NBR 11682, NBR 5629 e NBR 6118).

Os resultados das análises de estabilidade, que indicaram um fator de segurança adequado, permitiram a aprovação da estrutura para execução. Este caso evidencia a importância da aplicação rigorosa das normativas técnicas e de uma correta caracterização geotécnica do local para o sucesso de projetos de contenção, especialmente em áreas suscetíveis a movimentos de massa.

A metodologia empregada, desde as investigações de campo até as análises e o detalhamento construtivo, reforça a necessidade de um dimensionamento adequado que considere as particularidades do terreno e as solicitações atuantes. Conforme ressaltado no Memorial de Cálculo, o projeto foi concebido considerando condições drenadas, e a verificação e manutenção do sistema de drenagem são cruciais para o desempenho da estrutura. A experiência adquirida com este projeto pode servir como referência para futuras intervenções em cenários geotécnicos similares, contribuindo para o aprimoramento contínuo das práticas de engenharia na estabilização de taludes e na mitigação de riscos geotécnicos.

AGRADECIMENTOS

Agradece-se aos professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas do CEFET-MG, campus Araxá, pelo suporte acadêmico e pelas contribuições teóricas ao desenvolvimento deste trabalho. Reconhece-se também a relevância das discussões em sala e do embasamento bibliográfico construído ao longo da disciplina.



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida, C. M.; Silva, G. J. B.; Porto, T. B. Study of alternative containment for an unstable rail slope in the state of Pará - Brazil. International Journal of Geoscience, Engineering and Technology, v. 2, p. 55-62, 2020. Disponível em: <https://www.geovales.com/index.php/Journal/article/view/42>. Acesso em: 21 ago. 2025.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). (2009). NBR 11682: Estabilidade de Encostas. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). (2018). NBR 5629: Tirantes Ancorados no Terreno - Procedimento. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). (2023). NBR 6118: Projeto de Estruturas de Concreto - Procedimento. Rio de Janeiro.
- Coulomb, Charles-Augustin de. Essai sur une application des règles de maximis et minimis à quelques problèmes de statique, relatifs à l'architecture. In: Mémoires de Mathématique & de Physique, présentés à l'Académie Royale des Sciences par divers Savans, & lus dans ses Assemblées. Paris, p. 343-382, 1776.
- Dias, M. V. L.; Gomes, R. C.; Porto, T. B. (2021). Estudo do dimensionamento do bulbo ancorado de tirantes através da análise de ensaios de recebimento. Geotecnia (Lisboa), p. 89-104. Disponível em: <https://impactum-journals.uc.pt/geotecnia/article/view/9836>. Acesso em: 21 ago. 2025.
- Dias, Luan Carlos da Silva; Porto, Thiago Bomjardim. Dimensionamento geotécnico de cortina atirantada aplicada em área de risco em Ouro Preto – MG. Contribuciones a las Ciencias Sociales, São José dos Pinhais, v. 17, n. 6, p. e14777, 2024. DOI: 10.55905/revistacontribuciones.v17n.6-027. Disponível em: <https://ojs.revistacontribuciones.com/ojs/index.php/clcs/article/view/5685>. Acesso em: 30 jun. 2025.
- Joppert Jr., I. (2007). Fundações e Contenções de Edifícios. São Paulo: Ed. Pini.
- Mesosaurus. (2016). Mapa de Contexto Geográfico do Quadrilátero Ferrífero. Disponível em: <https://mesosaurus.blogspot.com/2016/01/mapa-do-quadrilatero-ferrifero.html>. Acesso em: 21 ago. 2025.
- Oliveira, T. C. F. Desempenho geotécnico de cortinas atirantadas executadas em Cascavel-PR. 2023. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Universidade Federal de Ouro Preto. Orientador: Thiago Bomjardim Porto. Disponível em: <https://www.repositorio.ufop.br/items/10289a05-c15f-4c8a-92ce-5e6ab6d9ff1a>. Acesso em: 21 ago. 2025.
- Pereira, A. B.; Porto, T. B. Soil-structure interaction applied to anchored retaining wall - geotechnical and structural analysis. International Journal of Geoscience, Engineering and Technology, v. 2, p. 1-13, 2020. Disponível em: <https://www.geovales.com/index.php/Journal/article/view/30>. Acesso em: 21 ago. 2025.
- Porto, T. B. (2015) Ancoragens em solos – Comportamento geotécnico e metodologia via web para previsão e controle. Tese (Doutorado em Geotecnia) - Núcleo de Geotecnia (NUGEO) da Escola de Minas (EM) da Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP). Ouro Preto, MG. Disponível em: <https://www.repositorio.ufop.br/items/66f45f3b-271f-41f5-b7c3-2bc4f124f0bf>. Acesso em: 21 ago. 2025.
- Porto, Thiago Bomjardim et al. Behavior of reinjectable and prestressed anchors in soil masses: a construction case study in Congonhas, Brazil. Soils and Rocks, São Paulo, v. 40, n. 2, p. 177-186, jun. 2017. DOI: 10.28927/SR.402177. Disponível em: https://www.soilsandrocks.com.br/soils-androcks/SR40-2_177-186.pdf. Acesso em: 30 jun. 2025.
- Rankine, William John Macquorn. On the Stability of Loose Earth. Philosophical Transactions of the Royal Society of London, London, v. 147, p. 9-27, 1857.
- Santos, D. E.; Goncalves, P. C. C.; Silva, G. J. B.; Porto, T. B.; Ferreira, L. D.; Gomes, R. C. Numerical Study of Slope Stability in an Anchored Wall in Belo Horizonte, Brazil. International Journal Of Science And Engineering Investigations, v. 8, p. 38-45, 2019. Disponível em: <https://www.repositorio.ufop.br/items/e8d0dff8-a098-4e46-9dcc-4c62d6e720fd>. Acesso em: 21 ago. 2025.