XXII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica
XI Simpósio Brasileiro de Engenheiros Geotécnicos Jovens
24 a 28 de agosto de 2026 – Brasília/DF

DOI: 10.47094/COBRAMSEG2026.4/57

Dimensionamento de Cortina Atirantada pelo Método Brasileiro de Costa Nunes – Estudo de caso

Fernando Henrique Neiva Pereira Ferreira
Doutorando em Geotecnia, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Brasil, fernando.h.ferreira@ufv.br

Josimar Lopes Martins
Engenheiro Civil, Centro Universitário de Viçosa, Viçosa, Brasil, josimarmartins567@gmail.com

RESUMO: No contexto brasileiro, a instabilidade de taludes representa um dos principais desafios da Engenharia Civil e da Geotecnia, especialmente devido às condições geológicas e climáticas que favorecem a ocorrência de movimentos de massa. Este trabalho apresenta o estudo e o dimensionamento de um sistema de contenção do tipo cortina atirantada, aplicado a um talude instabilizado localizado em Viçosa–MG, utilizando o método de Costa Nunes (1957). A pesquisa foi baseada em dados geotécnicos obtidos por sondagens de simples reconhecimento (SPT), com o apoio dos softwares AutoCAD®, Ftool® e Slide 6.0 (Rocscience®), sendo este último empregado na análise da estabilidade global pelo método do equilíbrio limite (MEL), considerando superfície de ruptura não circular e o critério de resistência de Mohr-Coulomb. Os resultados indicaram que a implantação dos tirantes proporcionou elevação significativa do fator de segurança global, atingindo valor superior ao mínimo exigido pela NBR 11682:2009 (FSmín ≥ 1,50). Dessa forma, o sistema proposto demonstrou eficiência técnica e estabilidade adequada, confirmando a aplicabilidade do método de Costa Nunes como alternativa prática e segura para o dimensionamento de cortinas atirantadas em taludes instáveis.

PALAVRAS-CHAVE: Estabilidade de talude, Tirante, Método Equilíbrio Limite.

ABSTRACT: In the Brazilian context, slope instability represents one of the main challenges in Civil and Geotechnical Engineering, especially due to geological and climatic conditions that favor the occurrence of mass movements. This study presents the analysis and design of an anchored retaining wall system applied to an unstable slope located in Viçosa, Minas Gerais, using the Costa Nunes (1957) method. The research was based on geotechnical data obtained from standard penetration tests (SPT), supported by AutoCAD®, Ftool®, and Slide 6.0 (Rocscience®) software. The latter was used to perform global stability analysis through the limit equilibrium method (LEM), considering a non-circular failure surface and the Mohr–Coulomb strength criterion. The results indicated that the installation of anchors significantly increased the global safety factor, reaching values higher than the minimum required by NBR 11682:2009 (FSmin ≥ 1.50). Therefore, the proposed system demonstrated technical efficiency and adequate stability, confirming the applicability of the Costa Nunes method as a practical and safe alternative for designing anchored retaining structures in unstable slopes.

KEYWORDS: Slope stability, Ground anchor, Limit Equilibrium Method.

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, a instabilidade de taludes representa um dos principais desafios da Engenharia Civil e da Geotecnia, devido às condições geológicas e climáticas que favorecem a ocorrência de movimentos de massa. As chuvas intensas e frequentes reduzem a resistência ao cisalhamento dos solos, aumentando a poropressão e ocasionando rupturas com impactos sociais, ambientais e econômicos significativos.

A segurança de taludes, portanto, é aspecto essencial em projetos de infraestrutura, sendo avaliada por meio de fatores mínimos de segurança (Budhu, 2013). Para essa finalidade, são empregados diferentes métodos de análise, como os modelos matemáticos, o equilíbrio-limite e o método dos elementos finitos (Guidicini; Nieble, 2011) . Dentre as soluções de contenção, destacam-se as cortinas atirantadas, constituídas por painéis de concreto projetado, armado ou metálico, associadas ao uso de tirantes (Hachich et al., 2016).

O dimensionamento adequado desses elementos é essencial para garantir o equilíbrio e o desempenho do sistema, devendo considerar as condições geotécnicas do solo e a configuração geométrica da obra. Entre os métodos aplicados, destaca-se o método de Costa Nunes (1957), amplamente utilizado no Brasil por sua simplicidade e eficiência, fundamentado no equilíbrio das forças atuantes para determinar a força dos tirantes e a distribuição dos esforços ao longo da cortina. Assim, o presente trabalho tem como objetivo aplicar esse método ao dimensionamento de uma cortina atirantada em um talude desestabilizado, apresentando as etapas de cálculo, os parâmetros adotados, as considerações teóricas e a análise de estabilidade correspondente.

2 METODOLOGIA

2.1 Estudo de caso

O presente estudo de caso foi desenvolvido a partir da análise de um talude desestabilizado localizado na cidade de Viçosa, Minas Gerais, Brasil (Figura 1). A investigação envolveu o levantamento e tratamento dos dados geotécnicos com o auxílio de ferramentas computacionais, possibilitando a caracterização do maciço e a definição dos parâmetros necessários ao dimensionamento. Com base nas condições identificadas, foi proposto o dimensionamento de um sistema de contenção do tipo cortina atirantada, adotado como solução estrutural para garantir a estabilidade e o desempenho técnico da obra.



(a)


(b)


(c)


(d)

Figura 1. (a) Localização; (b) Abertura; (c) Vista lateral esquerda; e (d) Desnível do talude em relação ao prédio principal.

2.1.1 Metodologia

O desenvolvimento do presente estudo foi estruturado em etapas sucessivas, iniciando-se pela definição do perfil topográfico do talude analisado. Essa etapa foi realizada no software AutoCAD®, a partir do levantamento planialtimétrico fornecido pelo proprietário. Foram efetuadas as adaptações necessárias para representar fielmente a geometria do talude e a configuração atual da área de estudo, garantindo a precisão dos dados utilizados nas etapas posteriores.

Em seguida, procedeu-se à definição dos parâmetros geotécnicos do solo, a partir da elaboração de dois perfis geológico-geotécnicos com base nos boletins de sondagens. A interpretação dos dados permitiu a caracterização das camadas do subsolo e a determinação dos principais parâmetros de resistência e deformabilidade, obtidos por meio de correlações empíricas fundamentadas em literatura técnica especializada.

Com os dados geotécnicos definidos, foi realizado o dimensionamento da cortina atirantada conforme a metodologia proposta por Costa Nunes (1957). O processo envolveu a determinação dos dados referentes ao terreno, talude, tirantes e geometria da cortina, bem como a identificação da linha de maior declive do plano crítico de deslizamento, área e peso da cunha potencialmente instável. Foram avaliadas ainda a relação entre o fator de segurança desejado e o existente, a força de ancoragem, o ângulo do plano de ancoragem, o espaçamento e o número de tirantes, além do carregamento atuante sobre o painel de concreto. O dimensionamento e o detalhamento das barras de aço foram conduzidos considerando a verificação ao puncionamento. Para a determinação dos momentos fletores na cortina, utilizou-se o software Ftool®, enquanto o AutoCAD® foi empregado para o traçado das seções de análise de estabilidade e para o detalhamento construtivo da estrutura.

Por fim, foi realizada a análise de estabilidade global do talude no software Slide 6.0 da Rocscience®, nas condições sem e com a implantação dos tirantes, utilizando-se o método de equilíbrio limite (MEL) pelo método rigoroso de Morgenstern e Price (1965). Essa etapa teve como finalidade avaliar a eficiência do sistema de contenção proposto e verificar a variação do fator de segurança global após o dimensionamento da cortina atirantada.

2.2 Método de dimensionamento Costa Nunes

O dimensionamento de sistemas de contenção do tipo cortina atirantada pode ser realizado a partir de diferentes metodologias. No Brasil, um dos métodos mais tradicionais é o proposto por Costa Nunes (1957), amplamente utilizado devido à sua simplicidade de aplicação e caráter prático. Trata-se de um procedimento baseado no equilíbrio limite, no qual se considera a interação entre o empuxo ativo de terra atuante sobre a cortina e as resistências mobilizadas pelo solo de fundação e pelos tirantes.

Nesse método, o empuxo ativo é determinado a partir dos parâmetros geotécnicos do solo, como peso específico e ângulo de atrito interno, obtendo-se os coeficientes de empuxo. Em seguida, avalia-se a linha de ação dessas pressões e sua resultante em relação ao ponto de aplicação dos tirantes. O equilíbrio global é garantido pela força dos tirantes e pela resistência passiva eventualmente mobilizada na base da cortina. Dessa forma, a carga em cada tirante é obtida pela condição de equilíbrio de forças e momentos, adotando-se fatores de segurança compatíveis com o projeto.

Embora seja um método semiempírico e que não contempla aspectos de deformabilidade, o procedimento de Costa Nunes permanece como uma referência importante em projetos preliminares e como parâmetro comparativo frente a análises mais sofisticadas, como aquelas realizadas por meio do método dos elementos finitos (MEF)**.**

O método brasileiro de dimensionamento de contenções é uma adaptação do método proposto por Culmann, diferenciando-se por considerar o fator de segurança (FS) apenas em função da coesão do solo. Nesse método, o fator de segurança é inicialmente arbitrado e, a partir desse valor, determina-se a força necessária a ser aplicada pelo tirante para garantir a estabilidade do sistema. A formulação incorpora a contribuição da projeção da força (F) introduzida pelo tirante, denominada Ft, a qual atua no equilíbrio do polígono de forças, conforme representado na Figura 2 e Figura 3 (Wichan, 2018).

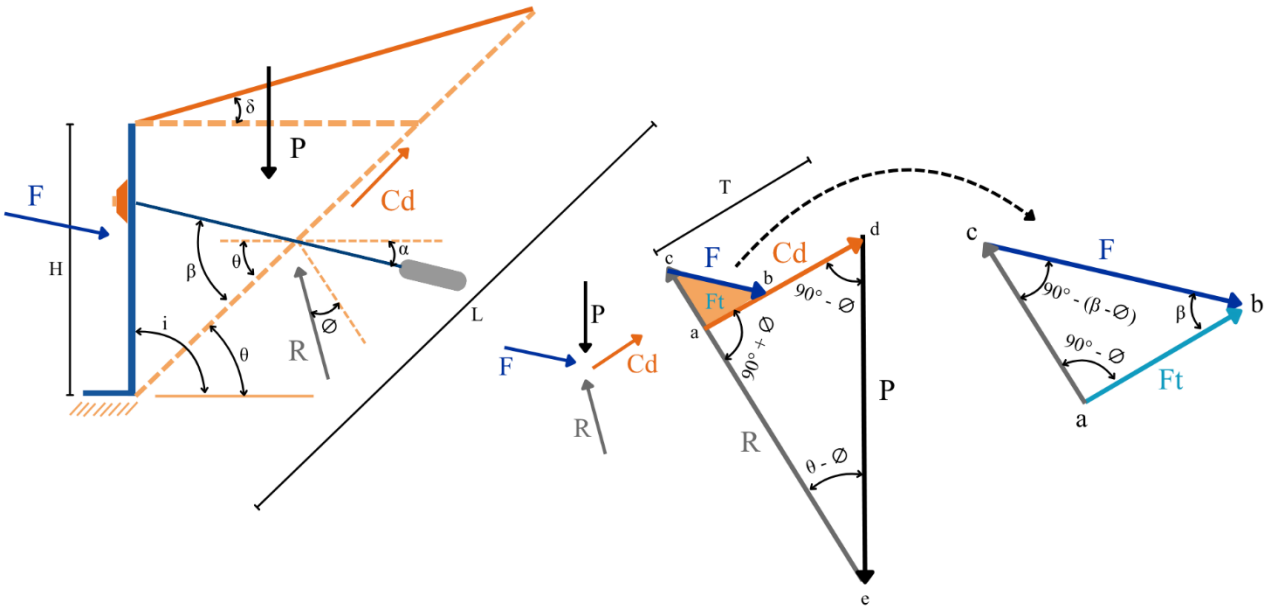


Figura 2. Polígono de forças do Método Brasileiro de Costa Nunes (Wichan, 2018, adaptado pelo Autor, 2025).

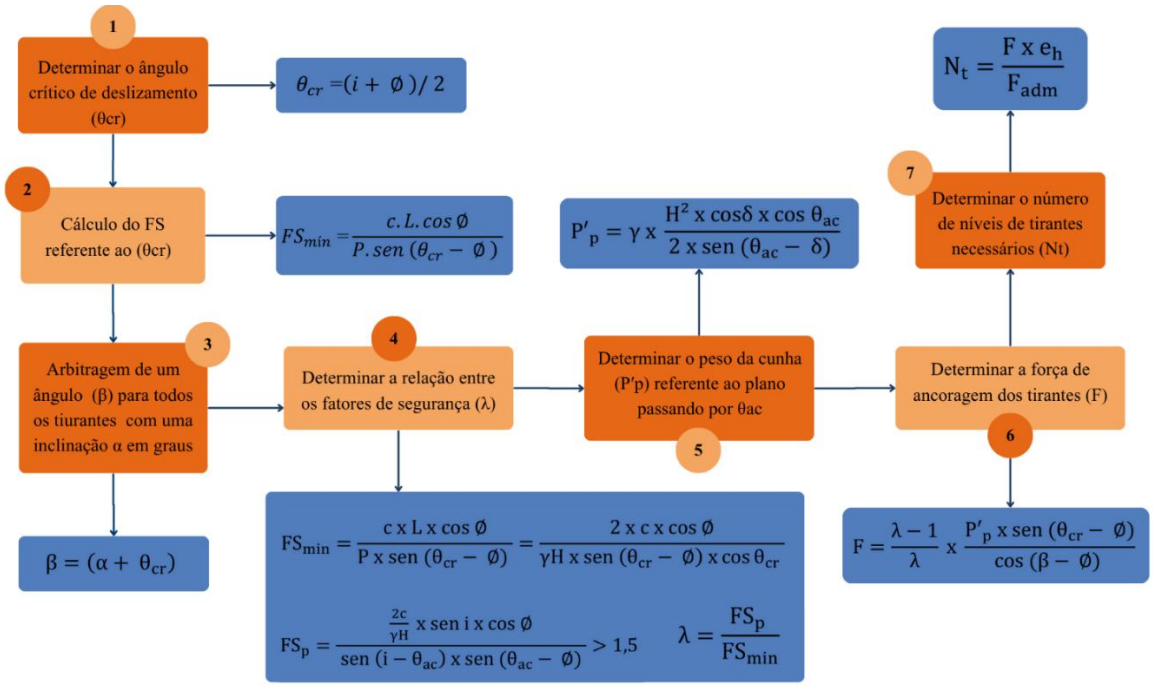


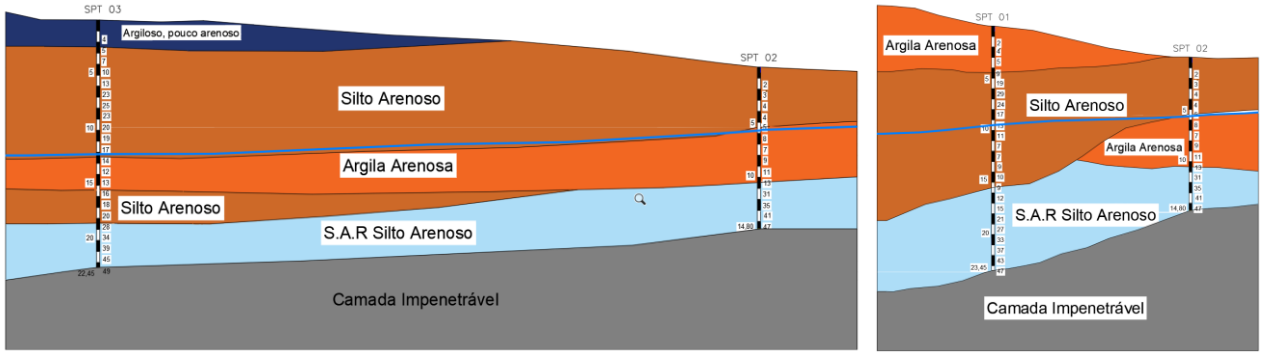
Figura 3. Sequenciamento de cálculo do Método de Costa Nunes.

3 RESULTADOS

3.1 Perfis geológico-geotécnicos e seção típica do estudo de caso

A Figura 4 apresenta os perfis geológico-geotécnicos obtidos a partir da interpretação das sondagens executadas na área de estudo. Os perfis permitiram a caracterização das camadas de solo e a definição dos parâmetros geotécnicos adotados nas análises subsequentes. Com base nessas informações, foi elaborada a

seção típica do talude desestabilizado, apresentada na Figura 5, utilizada no dimensionamento da cortina atirantada e nas análises de estabilidade global.



(a) (b)

Figura 4. Perfis geológico-geotécnicos (a) SPT 02 e 03 e (b) SPT 01 e 02.

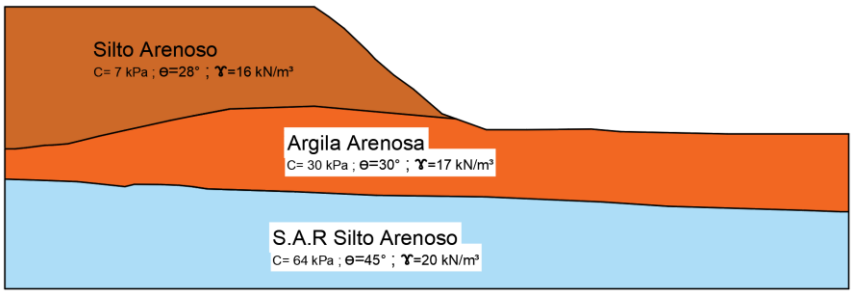


Figura 5. Seção típica do talude desestabilizado.

3.2 Dimensionamento da Cortina Atirantada

Considerou-se o peso específico natural do solo γ_{nat} = 17 kN/m³, correspondente ao maior valor obtido entre as camadas investigadas. A coesão adotada foi c = 7 kN/m², representando a resistência coesiva do solo em contato direto com a contenção, e o ângulo de atrito interno φ = 28°, relativo ao menor coeficiente de atrito identificado nas camadas analisadas. As sobrecargas atuantes foram consideradas como q_{var} = 25 kN/m², associada ao tráfego sobre o talude, e q_{perm} = 77 kN/m², referente à ação permanente do edifício. A extensão do talude analisado é de L = 35 m e o fator de segurança desejado, para a condição permanente, foi adotado como F_s = 1,75. Os principais parâmetros adotados no dimensionamento da cortina atirantada são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Dados do dimensionamento da cortina atirantada.

Dados do Terreno		**Dados Talude e Tirante**		**Dimensionamento Tirante**			
y	17 kN/m³	**Ɵcr**	59°	**N° Tirantes**	28	**Lb bulbo**	7 m
c	7 kPa	**α**	20°	**N° Tir. Hor.**	14	**L 1° tirante**	12 m
ϕ	28°	**β**	79	**N° Tir. Vert.**	2	**L 2° tirante**	10 m
qsob	25 N/m²	**I**	8,72 m	**Esp. Hor.**	2,5 m	**A Hor. Pos.**	1Ø 8.0 c/13
qedf.	77 N/m²	**Ac**	16,77 m²	**Esp. Vert**	3 m	**A Hor. Neg.**	1Ø 12.5 c/13
Ext.	35 m	**Peso**	285,04 kN/m	**Tirante DW**	32	**A Vert. Pos**	1Ø 8.0 c/13
H	6 m	**Fprot.**	184,36 kN/m	**Ftrabalho**	39 tf	**A Vert. Neg.**	1Ø 16.0 c/9
				Fruptura	84 tf	**Verif. Punc.**	OK!

A configuração final da contenção projetada, incluindo a disposição dos tirantes e as características geométricas da estrutura, é apresentada na Figura *6*. Já a Figura *7* ilustra a seção transversal da cortina atirantada, evidenciando a geometria do talude, a posição dos tirantes e as condições de carregamento consideradas no projeto.

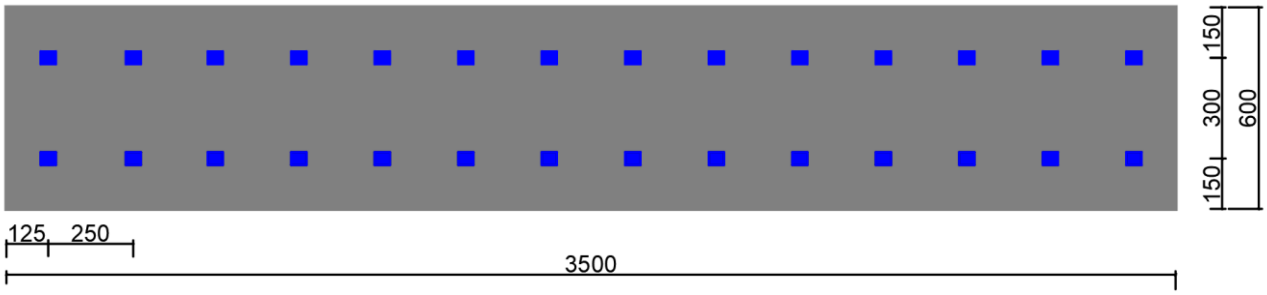


Figura 6. Vista Frontal da cortina atirantada.

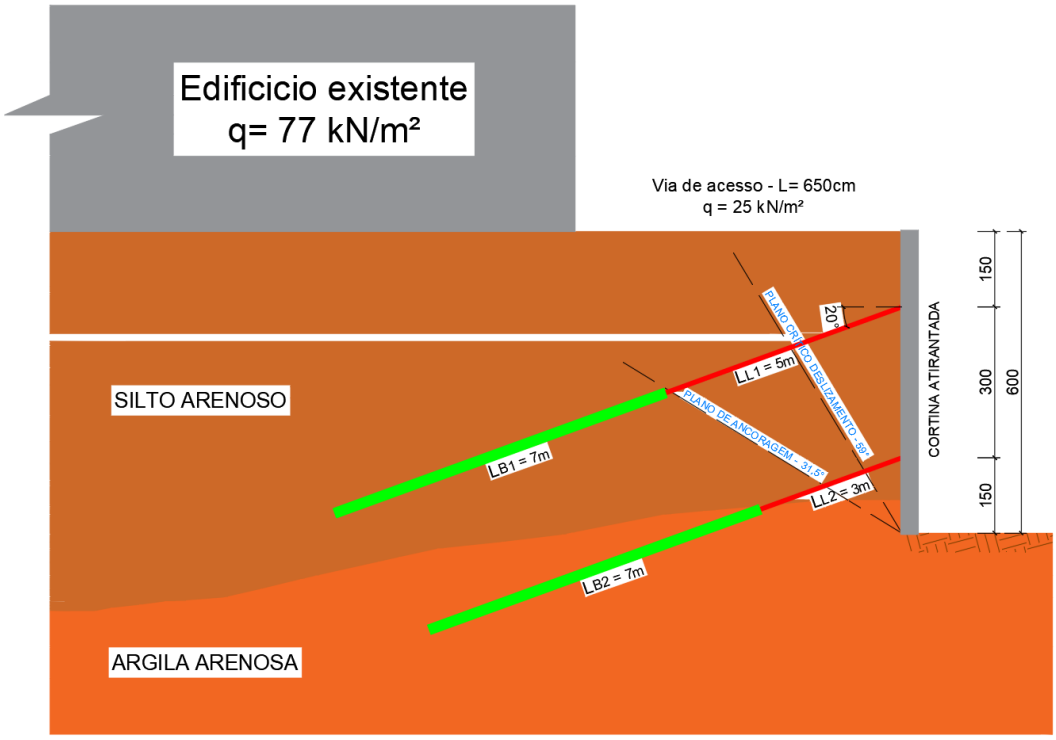


Figura 7. Seção na cortina atirantada - Vista lateral Esquerda.

3.3 Análise de estabilidade

Para a análise de estabilidade do talude, adotou-se como parâmetros de entrada o tipo de superfície não circular, o método de procura com auto-refinamento e o critério de resistência de Mohr-Coulomb, visando à obtenção da superfície crítica de ruptura com maior precisão. O fator de segurança (FS) obtido apresentou valor superior ao limite mínimo estabelecido pela NBR 11682 - Estabilidade de Encostas (2009), conforme a Tabela 3 – Fatores de segurança mínimos para deslizamentos. Assim, o fator de segurança mínimo exigido (FSmín ≥ 1,50), aplicável a situações que envolvem riscos à vida humana e a potenciais danos materiais e ambientais, foi plenamente atendido pelos resultados obtidos, uma vez que a análise com tirante resultou em FS = 2,60, enquanto a condição sem tirante apresentou FS = 1,15. As superfícies críticas de ruptura identificadas e os respectivos fatores de segurança para as condições sem e com a implantação dos tirantes são apresentados nas Figura 8 e Figura 9, respectivamente.

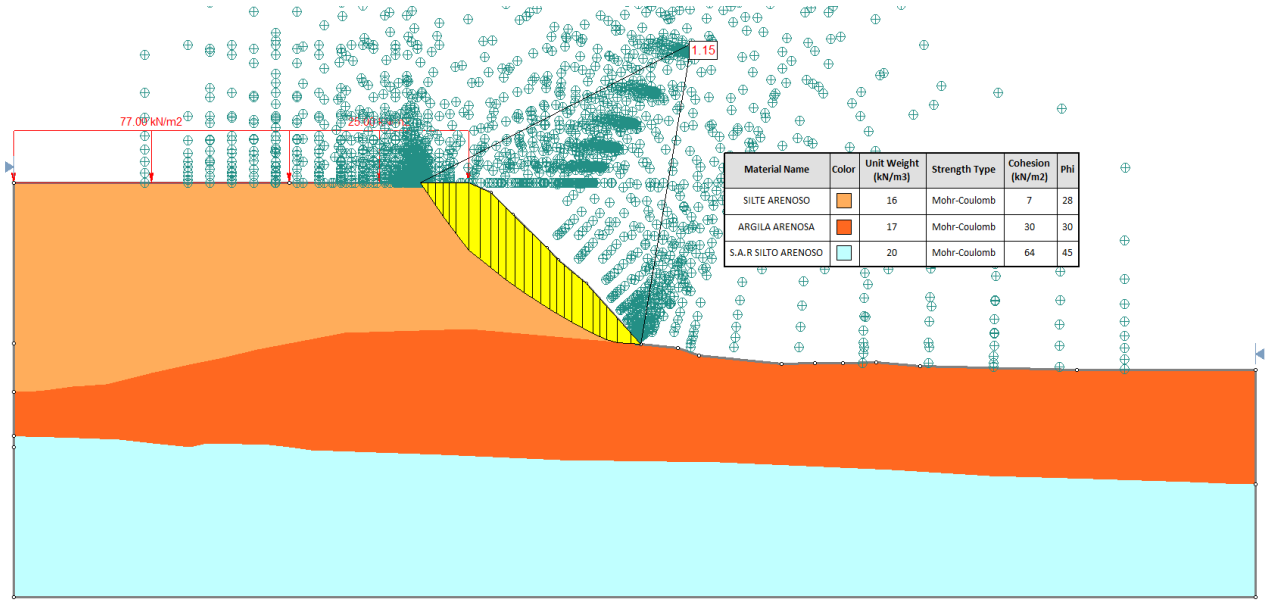


Figura 8. FS para o talude sem tirante (FS=1,15).

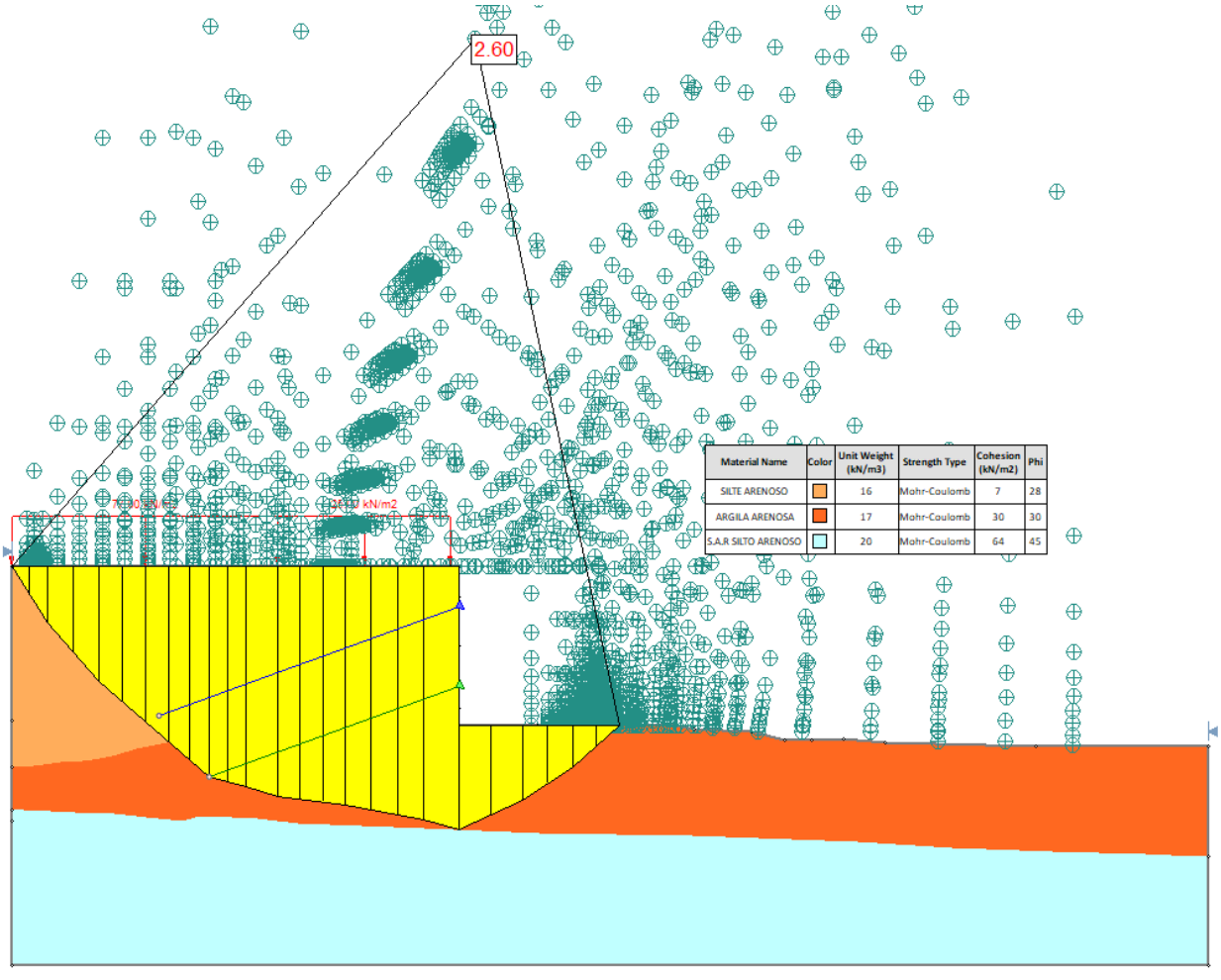


Figura 9. FS para o talude com tirante (FS=2,60)

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O dimensionamento da cortina atirantada pelo método de Costa Nunes (1957) mostrou-se eficaz na estabilização do talude analisado, garantindo que o fator de segurança global atendesse aos critérios da NBR 11682:2009. A implantação dos tirantes aumentou significativamente a estabilidade do sistema, reforçando a importância de análises geotécnicas detalhadas e do correto dimensionamento de contenções para assegurar segurança técnica e mitigação de riscos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2009). NBR 11682. *Estabilidade de Encostas*. Rio de Janeiro.

Budhu M (2013) *Fundações e estruturas de contenção*. 1°ed, Rio de Janeiro: Grupo Gen - LTC.

Costa Nunes, A. J. (1957). *Contenções de encostas e escavações*. Rio de Janeiro.

Guidicini G., Nieble C. (2011) *Estabilidade de taludes naturais e de escavação*. 2° ed, São Paulo, Oficina de Textos.

Hachich W., *et al*. (2016) *Fundações: Teoria e Prática*. São Paulo.

Morgenstern, N. R.; Price, V. E. (1965). The analysis of the stability of general slip surfaces. *Geotechnique*, v. 15, n. 1, p. 79–93.

Wichan V.H.S (2018) *Dimensionamento de uma cortina atirantada pelo método brasileiro de Costa Nunes*. 2018. 70 f. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) - Centro Universitário Augusto Motta. Rio de Janeiro.