



Construção Emergencial de Cortina Atirantada em Talude Rompido em Copacabana/RJ

Rodrigo dos Santos Morgado
Engenheiro de Fortificação e Construção, Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, rodrigsmorgado@gmail.com

Maria Esther Soares Marques
Engenheira Civil, Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, esther@ime.eb.br

Michel da Cunha Tassi
Engenheiro de Fortificação e Construção, Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, tassi@ime.eb.br

RESUMO

Este artigo objetivou apresentar um estudo de caso referente ao serviço emergencial de contenção de uma camada de solo argilo-arenoso, sobrejacente a um maciço rochoso altamente íngreme, situado na divisa entre a Vila Militar de Copacabana e os fundos de um edifício da Rua Barata Ribeiro, Copacabana/RJ. Após um desmoronamento local, sem vítimas fatais, devido às fortes chuvas ocorridas à época, o correspondente projeto de estabilização contemplou implementar: uma cortina atirantada de concreto armado com 24 m de extensão e 4 m de altura, ancorada lateralmente por tirantes protendidos e constituída de contrafortes apoiados sobre estacas raízes engastadas no maciço; revestimento vegetal com biomanta e hidrossemeadura; solo grampeado com tela chumbada de alta resistência; e drenagem com canaletas chumbadas de concreto armado, caixas de passagem, barbacãs e drenos horizontais profundos. Assim, detalham-se as memórias de dimensionamento dos esforços atuantes na cortina, com ênfase no Método Brasileiro de Dimensionamento, além das especificações das intervenções projetadas e dos aspectos construtivos empregados. Findada a construção, as ancoragens protendidas implementadas proporcionaram ao solo da encosta a mobilização de sua resistência ao cisalhamento, evitando-se maiores deformações do terreno arrimado e garantindo-se a segurança do maciço e das benfeitorias a jusante.

PALAVRAS-CHAVE: contenção de talude, cortina atirantada, desmoronamento

ABSTRACT

This article aimed to present a case study regarding the emergency containment service of a layer of clayey-sandy soil, overlying a highly steep rocky massif, located on the border between the Copacabana Military Village and the back of a building on Barata Ribeiro Street, Copacabana/RJ. After a local landslide, without fatalities, due to the heavy rains that occurred at the time, the corresponding stabilization project included implementing: an anchored retaining wall 24 m long and 4 m high, laterally anchored by prestressed tie rods and made up of buttresses supported by root-piles fixed in the massif; vegetal covering with bioblanket and hydroseeding; soil nailing with anchored high-tensile steel wire mesh; and drainage with anchored reinforced concrete channels, junction boxes, weep holes and deep horizontal drains. Thus, the calculation notes of the efforts acting on the curtain are detailed, with emphasis on the Brazilian Dimensioning Method, in addition to the specifications of the projected interventions and the constructive

Aponte a câmera do seu
smartphone para o
QR Code ao lado e salve o
evento na sua agenda.



aspects employed. Finished the construction, the implemented prestressed anchors provided the slope soil with the mobilization of its shear resistance, avoiding greater deformations of the retained soil and ensuring the safety of the massif and the downstream improvements.

KEYWORDS: slope containment, anchored retaining wall, landslide

1 Introdução

Aborda-se o estudo de caso concernente à solução de estabilização de um talude desmoronado, muito íngreme, entre os fundos do prédio residencial Senador Leite e Oiticica, sito na Rua Barata Ribeiro, nº 90, em Copacabana, Rio de Janeiro, e o conjunto de construções no topo da referida encosta, as quais compõem a Vila Militar de Copacabana (Figura 1).



Figura 1. Vista de topo do talude (Google Maps). Acesso em 07/07/2023.

A região de análise é constituída por uma camada de solo argilo-arenoso, homogêneo, sobrejacente a um substrato rochoso de granito-gnaiss amplamente fissurado em sua porção inferior, intercalando-se diversos blocos de rocha exposta por entre a camada superficial de solo.

Dadas as chuvas ocorridas em dezembro de 2010, a referida camada, já saturada pela pré-existência de um vazamento contínuo de água de infiltração proveniente do topo da encosta, deslizou sobre a parte superior do maciço rochoso subjacente. O desmoronamento subsequente, sob ampla divulgação pela mídia à época, atingiu algumas regiões à retaguarda do prédio, sem óbitos, conforme registros da Defesa Civil (Figura 2).



Figura 2. Desmoronamento local

Aponte a câmera do seu
smartphone para o
QR Code ao lado e salve o
evento na sua agenda.



Dentre as soluções geotécnicas aplicáveis a casos como o exposto, destaca-se o implemento de cortinas atirantadas como uma medida ativa de contenção de taludes de solo. Trata-se, portanto, de um arrimo ativo, cujas ancoragens protendidas proporcionam ao solo da encosta a mobilização de sua resistência ao cisalhamento, evitando-se maiores deformações do terreno arrimado, a favor da segurança do maciço e das benfeitorias a jusante.

Dentre as técnicas vigentes para dimensionar os esforços solicitantes e calcular o fator de segurança em cortinas atirantadas, enfatiza-se o Método Brasileiro (COSTA NUNES; VELLOSO, 1963), o qual considera a superfície de ruptura do talude como um plano que passa pelo pé da encosta, sendo restrito a encostas praticamente verticais, compostas de solos homogêneos. Afinal, a esse respeito, segundo Taylor (1948) *apud* Craizer (1981), “a suposição de ruptura plana conduz a aproximações geralmente aceitáveis se o talude é vertical, ou próximo da vertical, mas não dá aproximação satisfatória para taludes pouco inclinados”.

Neste ínterim, a aplicação do referido método remete à análise de uma massa de solo limitada inferiormente por um plano preferencial de instabilidade, ao longo do qual se comparam as forças de atrito às responsáveis pelo deslizamento (GEORIO, 2014). Dimensionam-se então as forças de protensão necessárias ao equilíbrio da cunha instável, verificando-se as cargas necessárias ao alcance de um fator de segurança mínimo de 1,5, conforme preconizado pela norma NBR 5629 (ABNT, 2018).

2 Metodologia

2.1 Solução de engenharia adotada

O projeto de estabilização e drenagem da encosta contemplou (Figuras 3, 4 e 5):

a) A realização de uma escavação cuidadosa, de cima para baixo, atendendo à norma de segurança de escavação a céu aberto, NBR 9061 (ABNT, 1985).

b) A construção de uma cortina atirantada de concreto armado de resistência característica mínima do concreto à compressão (f_{ck}) igual a 25 MPa, com 24 m de extensão e 4 m de altura, sendo ancorada à retaguarda por 20 tirantes protendidos de aço Dywidag ST 85/105, constituídos de diâmetro 32 mm e extensão aproximada de 12 m, além de composta por contrafortes apoiados sobre 11 estacas raízes, engastadas no maciço rochoso. Sendo ambos, tirantes e estacas, fixados ao substrato com o auxílio de injeção de calda de cimento.

c) A proteção do maciço, tanto à jusante quanto à montante da cortina atirantada, com o implemento de 420 m² de revestimento vegetal, em biomanta e sementeira com mix de semente, após acerto e suavização.

d) A instalação de 200 m² de tela galvanizada de alta resistência e dupla torção, com malha hexagonal (8x10 cm) e fios de diâmetro 2,7 mm, fixada ao maciço rochoso aparente por chumbadores de aço CA-50 com diâmetro 20 mm e espaçamento médio 4 m, a conterem placas, porcas de fixação e injeção de nata de cimento.

e) O ajuste da drenagem local, tanto pelo paramento vertical da cortina, mediante o emprego de 20 drenos curtos (barbacãs) de PVC 4”, quanto pela instalação de 48 m de drenos horizontais profundos. Tendo-se também implementado 150 m de canaletas em degraus e caixas de passagem, de modo a garantir o adequado escoamento das águas superficiais, orientado às galerias de águas pluviais locais.

Aponte a câmera do seu
smartphone para o
QR Code ao lado e salve o
evento na sua agenda.



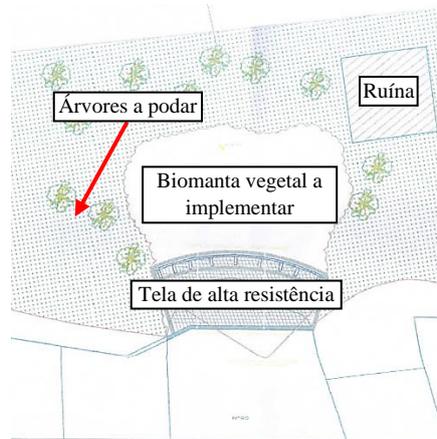


Figura 3. Vista de topo da solução aplicada à região de análise

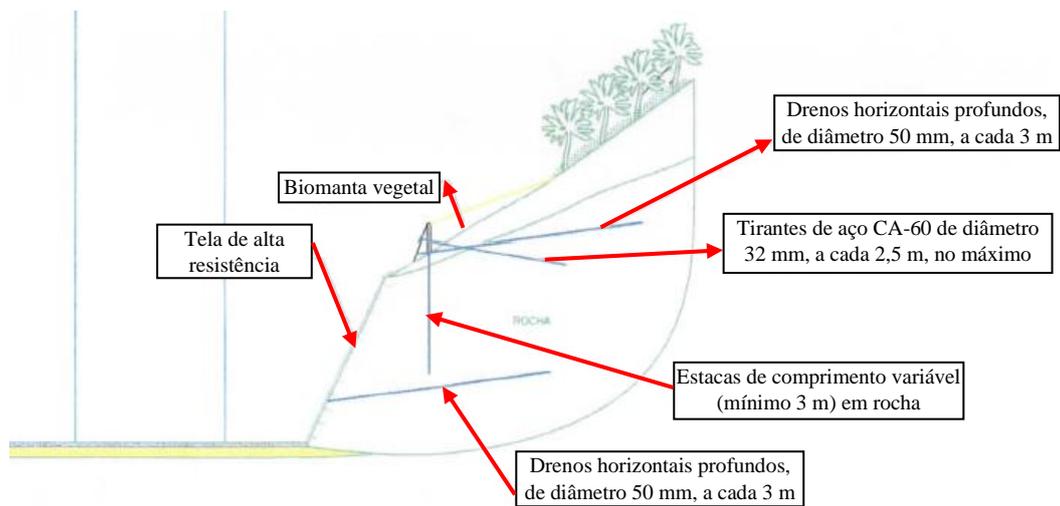


Figura 4. Vista lateral da solução aplicada à região de análise

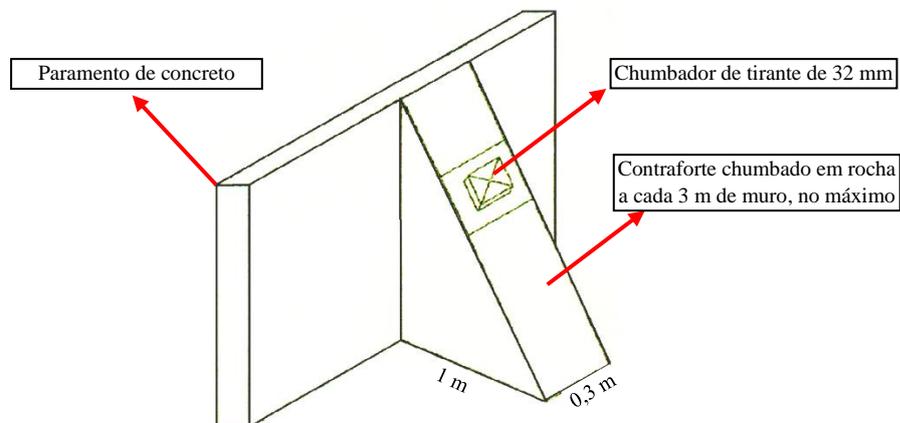


Figura 5. Vista lateral da cortina atirantada construída

Aponte a câmera do seu
smartphone para o
QR Code ao lado e salve o
evento na sua agenda.



2.2 Equipamentos utilizados

Na construção da cortina atirantada, em especial, adotaram-se os seguintes equipamentos:

- Andaimes para sustentação de alpinistas industriais e aparelhos de perfuração/injeção;
- Perfuratriz;
- Misturador duplo para calda de cimento;
- Bomba injetora de calda de cimento com estabilizador de pressão, misturador e agitador;
- Compressor.

3 Aplicação do Método Brasileiro de Dimensionamento

Após a realização de sondagens rotativas com testes SPT (Standard Penetration Test), bem como com a retirada de amostras do talude rompido, orientadas à obtenção dos parâmetros de resistência do solo pela realização de ensaios de cisalhamento, aferiu-se, como parâmetros representativos do substrato local, um peso específico saturado (γ_{sat}) de 19 kN/m³, um ângulo de atrito (φ) de 30°, uma coesão (c) de 5 kPa e uma sobrecarga (q) de 15 kN/m².

Doravante, empregou-se o Método Brasileiro de Dimensionamento (COSTA NUNES; VELLOSO, 1963) para dimensionar os esforços solicitantes, atuantes no talude a ser contido pela cortina atirantada de altura (H) igual a 4 m. Para tanto, analisou-se uma cunha representativa de solo, limitada inferiormente por um plano preferencial de deslizamento com inclinação horizontal θ (Figura 6). Tal que a seção dispunha de uma inclinação horizontal mais externa (i) de 90°, de uma inclinação horizontal dos tirantes (α) de 15° e de uma inclinação horizontal da crista do talude (δ) de 30°.

Associada à condição crítica, e conforme o método supracitado, calcularam-se o ângulo crítico mais provável do plano de deslizamento (θ_{cr}), o ângulo entre a ancoragem e o plano crítico de ruptura (β) e a carga decorrente da soma do peso da cunha e da sobrecarga (P) (Equações 1, 2 e 3). Considerando-se, nas análises, as dimensões da área transversal da cunha (A) e de seu triângulo representativo (lados AC e BC), aferíveis a partir dos parâmetros mensurados.

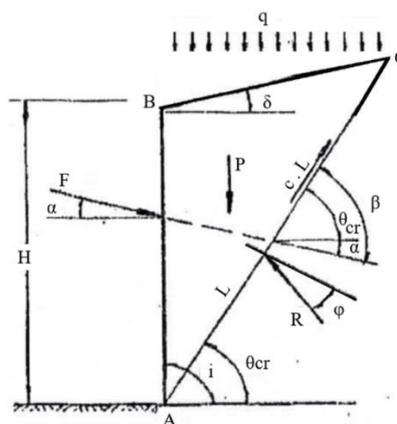


Figura 6. Método Brasileiro de Dimensionamento (Costa Nunes e Velloso, 1963)

$$\theta_{cr} = \frac{i + \varphi}{2} = 60^\circ \quad (1)$$

$$\beta = \theta_{cr} + \alpha = 75^\circ \quad (2)$$

Aponte a câmera do seu
smartphone para o
QR Code ao lado e salve o
evento na sua agenda.



$$P = A \cdot \gamma + q \cdot BC = 19,16 \text{ tf} \quad (3)$$

Obtiveram-se então o fator de segurança mínimo (FS_{min}) relativo ao ângulo crítico de deslizamento, além da fórmula paramétrica do fator de segurança associada a um ângulo θ_a arbitrário (Equações 4 e 5):

$$FS_{min} = \frac{cL}{P} \cdot \frac{\cos \varphi}{\text{sen}(\theta_{cr} - \varphi)} = 0,31 \quad (4)$$

$$FS = \frac{2c}{\gamma H} \cdot \frac{\text{sen } i \cdot \cos \varphi}{\text{sen}(i - \theta_a) \cdot \text{sen}(\theta_a - \varphi)} \quad (5)$$

Mantida a restrição $FS > 1,5$, obteve-se o maior valor possível de θ_a , igual a $35,3^\circ$ (Equação 5), o qual foi associado ao valor respectivo de FS igual a 1,51, a partir do qual calculou-se o parâmetro λ (Equação 6):

$$\lambda = \frac{FS}{FS_{min}} = 4,83 \quad (6)$$

Por fim, na análise da seção transversal da cunha para o valor de θ_{ac} calculado, obteve-se a força solicitante devida ao esforço máximo de protensão atuante (F) (Equação 7), conforme o método de Costa Nunes e Velloso (1963):

$$F = \frac{\lambda - 1}{\lambda} \cdot P \cdot \frac{\text{sen}(\theta_{cr} - \varphi)}{\cos(\beta - \varphi)} = 10,75 \text{ tf/m} \quad (7)$$

Do exposto, considerou-se, além do esforço máximo de protensão (F) de 10,75 tf/m, um esforço hidrostático adicional (F_w) de 4 tf/m, totalizando-se 14,75 tf/m atuantes. Doravante, calculou-se a quantidade necessária de tirantes para cada vão referencial de 2,5 m (Equação 8), considerado o emprego de tirantes Dywidag ST 85/105 com carga de trabalho (Q_{trab}) de 350 kN (GEORIO, 2014).

$$n = \frac{Ft \cdot e}{Q_{trab}} = \frac{14,75 \cdot 2,5}{35} = 1,06 \rightarrow 2 \text{ tirantes por vertical} \quad (8)$$

Assim, adotaram-se diversas verticais contendo 2 tirantes laterais, consecutivamente afastadas de até 2,5 m (Figura 7).

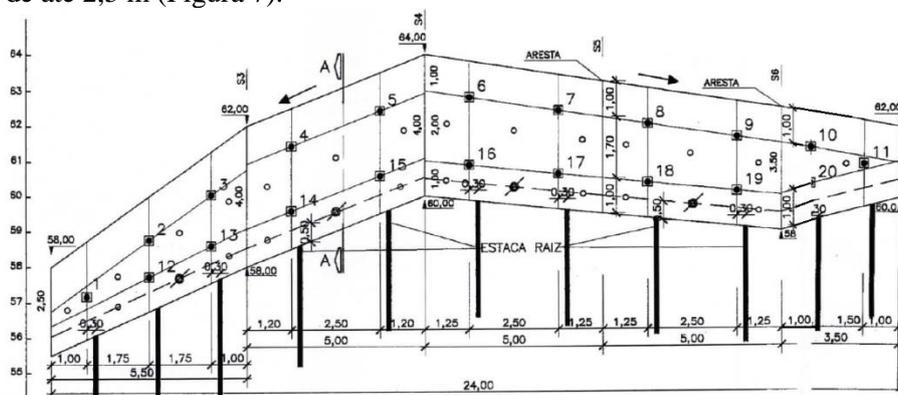


Figura 7. Vista frontal da cortina detalhada

Aponte a câmera do seu
smartphone para o
QR Code ao lado e salve o
evento na sua agenda.



A seguir, definiu-se o plano de ancoragem como uma delimitação mínima para o início do bulbo de ancoragem, o qual deve, portanto, estar situado para além deste plano - ocasião a partir da qual pôde-se definir os comprimentos dos trechos livres dos tirantes. Tendo-se estabelecido os comprimentos referenciais dos trechos ancorados implementados, iguais a 8 m em solo, 6 m em alteração de rocha e 4 m em rocha sã.

Definiram-se ainda as armações longitudinais e transversais da estrutura de arrimo, considerando a seção de aço necessária ao combate dos esforços atuantes na peça estrutural. Tendo-se, para tanto, realizado verificações complementares, relativas à eventual necessidade de previsão de armaduras de punção, de colapso progressivo e de fretagem dos tirantes.

4 Soluções complementares

Ilustram-se as demais soluções ora estabelecidas (Figura 8), tomando-se por base a seção tipo referente à estaca S4 da Figura 7.

No referido esquema, destacam-se, além dos barbacãs do paramento e dos drenos horizontais profundos instalados, mencionados no item 2.1, os detalhamentos do pé e da crista do paramento, com a disposição de canaletas acopladas à cortina, orientadas ao auxílio à recepção e à condução do escoamento pluvial da encosta. Implementaram-se ainda canaletas em degraus e caixas de passagem/descida. Não obstante, delimitou-se também a região de implemento da tela galvanizada de alta resistência e dupla torção, fixada por chumbadores de aço CA-50, à jusante da cortina, além das áreas de aposição de proteção vegetal ao longo da face exposta do talude.

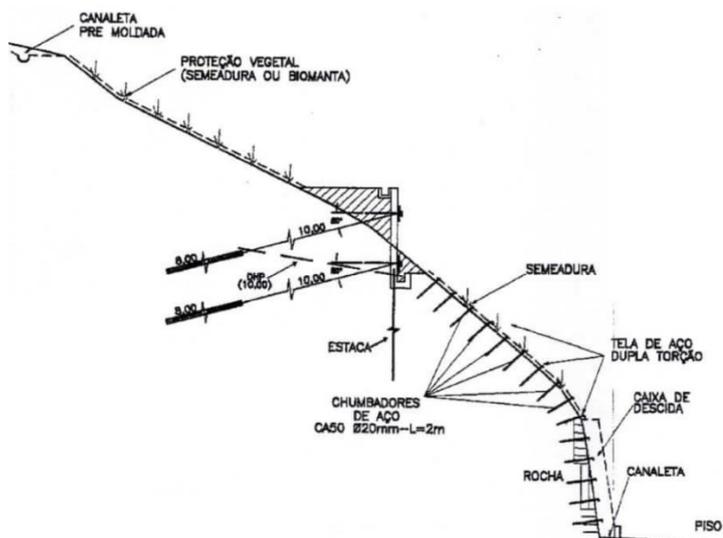


Figura 8. Seção tipo da estaca S4

5 Processo construtivo

A respeito da construção da cortina, realizadas as perfurações para a injeção de seus tirantes no terreno, os furos foram limpos e preenchidos por calda de cimento com fator água/cimento 0,5, a $f_{ck} \geq 15$ MPa, orientada desde o fundo dos furos até as respectivas extremidades, e empregando-se aditivo expansor e plastificante. A seguir, introduziram-se os tirantes, já pintados com tinta anticorrosiva, a disporem de espaçadores para centralização.

Aponte a câmera do seu
smartphone para o
QR Code ao lado e salve o
evento na sua agenda.



Prepararam-se então os tirantes para a realização dos ensaios de protensão e incorporação, inclusive com a aplicação de pintura, centralizadores, tubos de PVC e graxa nos trechos livres. Após a cura da nata de cimento e a conclusão da estrutura de contenção em concreto armado, os tirantes foram então ensaiados, protendidos e incorporados à cortina, e implementaram-se as armaduras, atendidos os cobrimentos mínimos estipulados pela NBR 6118 (ABNT, 2014) para as estruturas enterradas.

Após a conclusão dos paramentos verticais, as extremidades livres (cabeças) dos tirantes foram limpas e acopladas às peças acessórias (placas, calços, porcas e contraporcas) para a realização dos Testes de Recebimento, preconizados na norma NBR 5629 (ABNT, 2018), com a posterior incorporação de carga aos tirantes. Protegeram-se ainda as cabeças das ancoragens com argamassa.

As estacas do tipo raiz na base do paramento, por sua vez, foram dimensionadas para transmitirem ao terreno as cargas verticais oriundas da cortina. Tendo sido engastadas e ancoradas no maciço rochoso, de modo a aumentar a segurança ao deslizamento pela parte inferior do arrimo, e combatendo parte dos esforços horizontais atuantes na contenção.

6 Análise de segurança do talude contido

Empregou-se o software Slide (RocScience) para determinar o fator de segurança do trecho após a inserção da contenção projetada (Figura 9), adotando-se: para o solo coluvionar, indicado em amarelo, peso específico natural (γ_{nat}) = 18,5 kN/m³, peso específico saturado (γ_{sat}) = 19 kN/m³, coesão (c) = 5 kN/m² e ângulo de atrito (ϕ) = 30°; e para a rocha subjacente, indicada em marrom, peso específico natural (γ_{nat}) = 26 kN/m³, coesão (c) = 340 kN/m² e ângulo de atrito (ϕ) = 0°. Ainda, para uma análise mais detalhada, considerou-se uma sobrecarga de 10 kN/m² para simular os efeitos de lixo ou outros resíduos futuramente acumuláveis, e uma carga de 15 kN/m², representativa das edificações acima do talude.

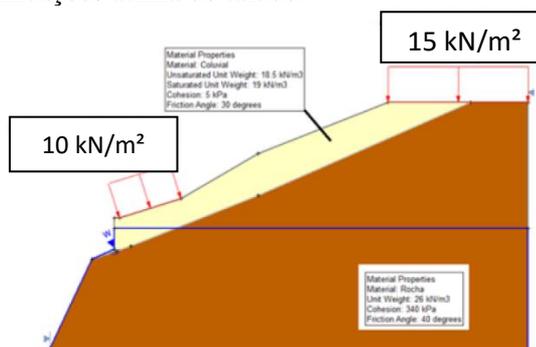


Figura 9. Delimitação de horizontes de análise de estabilidade

Doravante, mediante o referido programa, aplicado à implementação das fiadas de tirantes consideradas em projeto (na carga de trabalho de 300kN - Dywidag ST 85/105), e desconsideradas as estacas raízes na análise (situação mais desfavorável), verificou-se inicialmente o fator de segurança para ruptura global circular pelos métodos de Fellenius, Bishop e Jambu para análise de estabilidade, dada uma malha de análise de 200x200. A título ilustrativo, a Figura 10 mostra, desses resultados, aqueles obtidos pela aplicação do método de Jambu, simplificado e corrigido, com FS = 1,58 e 1,67, respectivamente.

Aponte a câmera do seu
smartphone para o
QR Code ao lado e salve o
evento na sua agenda.



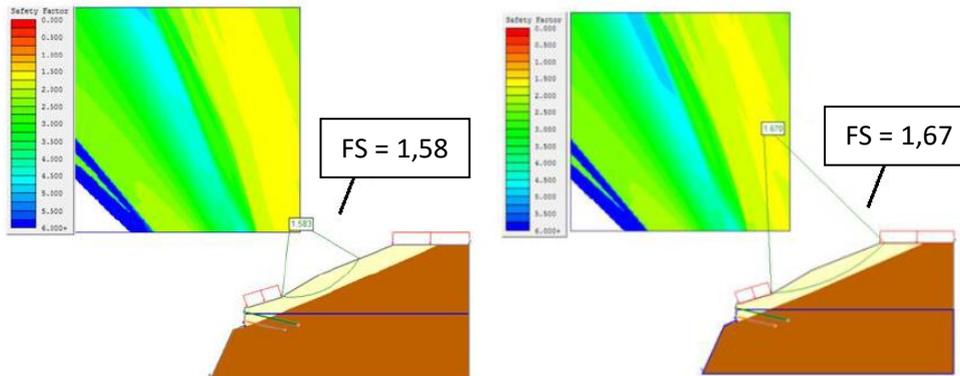


Figura 10. Análise em grid automático com ruptura circular e aplicação do método de Jambu simplificado (esquerda) e corrigido (direita)

Analisou-se ainda a possibilidade de eventuais rupturas em superfícies não circulares, além de outras passíveis de ocorrência na interface entre o solo coluvionar e a rocha, frente a possíveis escorregamentos por translação - a ocorrerem, em especial, em casos de pouca profundidade de solo, sob paralelismo a estratos mais resistentes. Para tanto, redefiniu-se a ruptura de análise para a interface do solo e rocha, tendo-se refeito as análises com auxílio dos métodos de Bishop, Jambu e Morgenstern-Price.

Em resumo, para todas essas análises, todos os resultados obtidos foram acima de 1,5, conforme preconizado pela norma NBR 5629 (ABNT, 2018).

Do exposto, haja vista os critérios adotados para execução da contenção em cortina atirantada, além das análises de estabilidade realizadas e dos resultados dos ensaios de tirantes preconizados em norma, oportunamente realizados à época, verificou-se que a solução desenvolvida representou um método eficiente para a contenção local de encosta implementada (Figura 11). Destaca-se ainda ter-se procedido a uma primorosa execução, seguindo-se as boas práticas executivas. Além do acompanhamento contínuo do projetista e do executor, com adequado amparo técnico, pautado por solução de engenharia baseada em estudos prévios minuciosos do comportamento ensaiado para o solo, em atendimento às necessidades da obra.



Figura 11. Vista superior da cortina em 2023 (tela encoberta por vegetação)

6 Conclusões

Detalhou-se o estudo de caso de contenção de um talude de solo desmoronado à retaguarda de uma área residencial em Copacabana/RJ. Apresentou-se então a solução encontrada

Aponte a câmera do seu
smartphone para o
QR Code ao lado e salve o
evento na sua agenda.



para a respectiva estabilização, a partir do emprego, sobretudo, de uma cortina atirantada ancorada lateralmente por tirantes e assentada sobre estacas raízes engastadas no maciço.

Com base nos dados *in situ*, obtidos por sondagens rotativas com testes de SPT, além de ensaios de cisalhamento, dimensionou-se a carga necessária de ancoragem e analisou-se a seção crítica de escorregamento sob uma maior precisão, tendo-se ratificado a importância do estudo preliminar do solo para a eficiência da contenção. Ainda, exposto o roteiro adotado para o dimensionamento da estrutura, com ênfase na aplicação do Método Brasileiro (Costa Nunes e Velloso, 1963), obtiveram-se pelo software Slide (RocScience) fatores de segurança mínimos locais e globais satisfatórios, acima de 1,5, e em atendimento à norma NBR 5629 (ABNT, 2018), sendo os mesmos representativos de uma maior confiança na capacidade de ancoragem da estrutura calculada.

Apresentaram-se também as demais soluções de engenharia adotadas, inclusive no que se refere à drenagem local, especialmente devido às necessidades de captação da parcela de contribuição pluvial escoada pelo talude, bem como de se prover uma melhor destinação dos efluentes diretamente provenientes da Vila Militar de Copacabana, assente à porção superior da encosta contida.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (1985). NBR 9061. *Segurança de escavação a céu aberto*. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2014). NBR 6118. *Projeto de estruturas de concreto - Procedimento*. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2018). NBR 5629. *Tirantes ancorados no terreno - Projeto e Execução*. Rio de Janeiro.

Craizer, W. (1981) *Micro-ancoragens*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 1981.

Fundação Instituto de Geotécnica do Município do Rio de Janeiro - GEORIO. (2014) *Manual Técnico de Encostas*, Rio de Janeiro.

Nunes, A. J. C., Velloso, D. A. (1963) Estabilização de Taludes em Capas Residuais de Origem Granito-Gnáissica. *2nd Pan-American Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, p. 383-394.

Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro - PUC RIO. (2018). Ftool [Software]. Versão 4.00.04. Disponível em: <<https://www.puc-rio.br/ftool>>. Acesso em: 06/06/2023.

Software Slide Rocscience. Rocscience, 2021. Disponível em <<https://13software.com.br/rocscience-slide/>> Acesso em: 21 out. 2023.

Taylor, D.W. *Fundamentals of Soil Mechanics*. John Wiley and Sons, New York, 1948.

Aponte a câmera do seu
smartphone para o
QR Code ao lado e salve o
evento na sua agenda.

