

DOI: 10.47094/COBRAMSEG2024/180

Aspectos de Projeto de Grampeamento e Entelamento contra queda de Blocos Rochosos no Contorno Viário de Florianópolis

André Querelli

Diretor Técnico, M.Sc., **Solotechnique Engenharia e Consultoria Geotécnica**, Jundiaí, Brasil, andre.querelli@solotechnique.com.br

Tiago de Jesus Souza

Diretor Técnico, D.Sc., **Solotechnique Engenharia e Consultoria Geotécnica**, Jundiaí, Brasil, tiago.souza@solotechnique.com.br

RESUMO: O contorno viário da cidade de Florianópolis é conhecido por seus desafios geotécnicos relacionados às suas encostas. No caso de obra em questão, apesar das análises clássicas apontarem poucas instabilidades no maciço, as fotos de inspeção local mostram maior fraturamento em algumas regiões do maciço. Assim, viu-se a necessidade de relizar o grampeamento de uma região do talude e fechamento com telas metálicas de alta resistência. Este artigo avalia as condições de estabilidade das rochas no corte, considerando a geometria recém executada, e apresenta o dimensionamento geotécnico do grampeamento. Os taludes do corte possuem inclinações de 1:1 (vertical:horizontal) separados por bermas com 4 metros de largura, variando em altura de 4 a 8 metros. O modelo de Mohr-Coulomb foi adotado devido à falta de uma caracterização mais detalhada do maciço rochoso e suas fraturas. Uma espessura de massa instável de 1,50 metros na face do talude foi considerada para calcular um revestimento adequado. Os grampos foram inclinados a 30° em relação à horizontal para permitir a instalação de placas de ancoragem próximas à face do talude. O fator de segurança global calculado, considerando a NBR 11682 e a redução de resistência típica do aço, é igual 1,70. Este estudo fornece informações cruciais para assegurar estabilidade do corte de estrada em questão, com implicações significativas na segurança e eficiência da infraestrutura rodoviária.

PALAVRAS-CHAVE: Mecânica das Rochas, Queda de Blocos, Grampeamento, Entelamento, Estabilidade de encostas, Cinematismos.

ABSTRACT: The bypass highway around the city of Florianópolis is known for the geotechnical challenges associated with its slopes. In this case study, although the classical analyses showed little instability in the rock mass, the on-site inspection revealed a higher level of fracture in some areas. As a result, this area had to be stepped using the soil nailing technique. This article evaluates the stability conditions of the rock in the slope, taking into account the new geometry, and presents the geotechnical design of the soil nail. The cut slopes are 1:1 (vertical:horizontal), separated by 4 m wide berms varying in height from 4 to 8 m. The Mohr-Coulomb model was used in the absence of more detailed characterisation of the rock mass and its fractures. A unstable mass thickness of 1.50 metres on the face was used to calculate a suitable lining. The ground nails were inclined at 30° to the horizontal to allow the installation of anchor plates close to the face. The overall safety factor, taking into account the NBR 11682 and the typical reduction in strength of steel, is 1.70. This study provides crucial information to ensure the stability of the road cut in question, with significant implications for the safety and efficiency of the road infrastructure.

KEYWORDS: Rock Mechanics, Rock Fall, Rock and Soil Nailing, Rock Bolt, Slope Stability, Kinematismos

1 INTRODUÇÃO

A queda de blocos é um fenômeno gravitacional frequentemente observado em algumas áreas do estado de Santa Catarina. Essencialmente, trata-se de uma descida livre de blocos a partir de pontos elevados. As causas dessas quedas podem ser variadas, incluindo mudanças térmicas no maciço rochoso, erosão provocada

pela água que resulta na perda de sustentação dos blocos, liberação de tensões decorrentes de atividades tectônicas, vibrações e outros fatores.

Propor solução para conter queda de blocos é uma tarefa complexa devido à variedade de movimentos envolvidos e a incerteza sobre os fatores os influenciam. É necessário levar em conta as características dos blocos, como tamanho, forma e densidade, além dos coeficientes de impacto entre o bloco e a encosta, tanto na direção normal quanto tangencial, e os coeficientes de atrito estático e dinâmico (Hoek, 2007).

Uma alternativa consiste no grampeado que, no caso de taludes constituídos de solos rochosos ou com rochas com intenso grau de fraturamento, além de garantir a estabilidade deste talude, faz-se necessário evitar possíveis deslocamentos de rocha. Assim, a simples adoção de grampos e chumbadores (elementos de fixação dos grampos) não é 100% eficaz, necessitando de alguma técnica de fechamento. Nos últimos anos, telas metálicas de alta resistência substituíram a técnica de concreto projetado nesta função.

Neste estudo de caso, embora as investigações geológico-geotécnicas não tenham detectado fraturas ou planos reliquias no solo da encosta, durante a execução do corte dos taludes, observou-se um alto grau de fraturamento na rocha, exigindo intervenção imediata da equipe de engenharia responsável pelo projeto geotécnico. Portanto, este artigo tem como objetivo apresentar o dimensionamento de uma estrutura de grampeamento com tela metálica de alta resistência, utilizada em uma importante via de acesso ao Contorno de Florianópolis, em Santa Catarina.

2 APRESENTAÇÃO DO CASO DE OBRA

2.1 Descrição da obra

O ativo em estudo está localizado no município de Palhoça, Santa Catarina e consiste em um corte de até 30m de altura no km 225+340 m, que decai em direção às extremidades do ativo. O corte foi projetado adotando-se taludes de inclinação 1,0(v):1,0(h) separados por bermas. Os taludes possuem alturas entre 4 e 8 metros, enquanto as bermas possuem 4,0m de largura.



Figura 1. Imagem de satélite da região em estudo.

2.2 Descrição Geológico-Geotécnica da Região

Diversas sondagens (à percussão e mistas) foram realizadas na obra como um todo. Na região dos taludes avaliados neste estudo, há uma camada inicial de 1m de espessura de argila siltosa, constituindo a serapilheira da região. Abaixo desta camada segue-se um material vermelho ora caracterizado como argila silto-arenosa, ora como silte argilo arenoso, com resistência à penetração (N_{SPT}) entre 3 e 6 golpes. Abaixo

segue-se uma camada de 2 a 3 m de silte arenoso, com N_{SPT} entre 5 e 15 golpes. De 4 a 5 metros de profundidade as sondagens encontraram o impenetrável, com um incremento abrupto da resistência do material.

Das sondagens mistas executadas, a que alcançou maior profundidade na rocha, sondou um granito cinza, de textura equigranular média a grossa desde 0,1m até 12,0m de profundidade. Os valores de designação da qualidade da rocha (RQD) variam entre 55 e 100%, sendo a mesma classificada como pouco alterada e pouco fraturada em todo o trecho sondado.

Os autores já desenvolveram muitos trabalhos e obras geotécnicas nas proximidades da área de estudo e, com isso, já possuem conhecimento geológico-geotécnico da região. A Figura 2 indica o Registro interno de Obras da Solotechnique, onde foram feito projetos ou houve atuação em consultoria Geotécnica especializada. Isso credencia o entendimento da Geologia local:

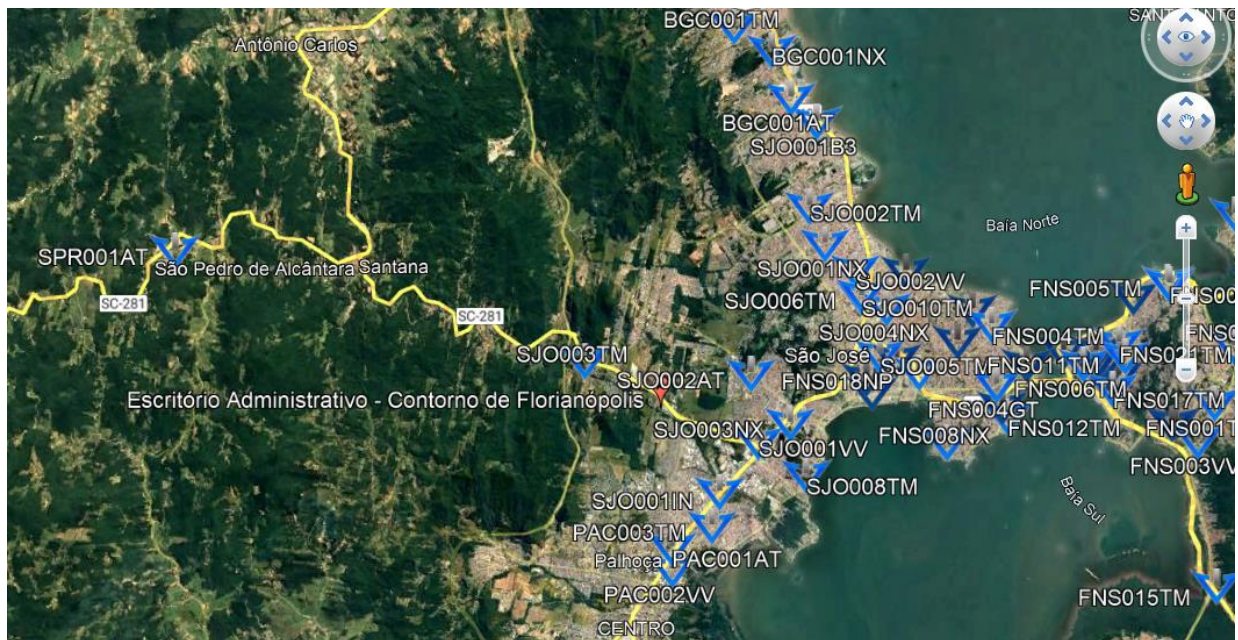


Figura 2 . Locais próximos à obra com atuação técnica dos autores

2.3 Problema Geotécnico em Questão

Apesar das análises cinemáticas clássicas sugerirem poucas instabilidades no maciço, é relevante ressaltar que tais conclusões se basearam em levantamentos de campo limitados.

A documentação fotográfica da inspeção local, como ilustrado na Figura 3, revela a existência de zonas do maciço com maior incidência de fraturamento. Em consonância com uma abordagem conservadora, foi adotada uma abordagem de atribuição de espessura para a massa instável na face do talude, a fim de permitir o cálculo preciso de um revestimento adequado.



(a)



(b)

Figura 3. Situação das rochas presentes nos taludes em análise.



(c)



(d)

Figura 3. (continuação) Situação das rochas presentes nos taludes em análise.

3 CONCEPÇÃO DO PROJETO DE GRAMPEAMENTO DA ROCHA

3.1 Sobre a Análise de Estabilidade da Rocha

Para essa etapa, foi utilizado o mapeamento geoestrutural. Foram levantadas 37 descontinuidades, número insuficiente para um tratamento estatístico. Por isso, as análises seguiram de forma determinística.

Para a verificação de deslizamento em cunha, avaliaram-se vetores de intersecção das famílias de descontinuidades. Contudo, dado o número reduzido de fraturas mapeadas, não foi possível definir claramente as famílias de descontinuidades para essa análise. Isto posto, optou-se por verificar os vetores de intersecção de todos os pares de descontinuidades possíveis no levantamento realizado. Os resultados são apresentados na Figura 4.

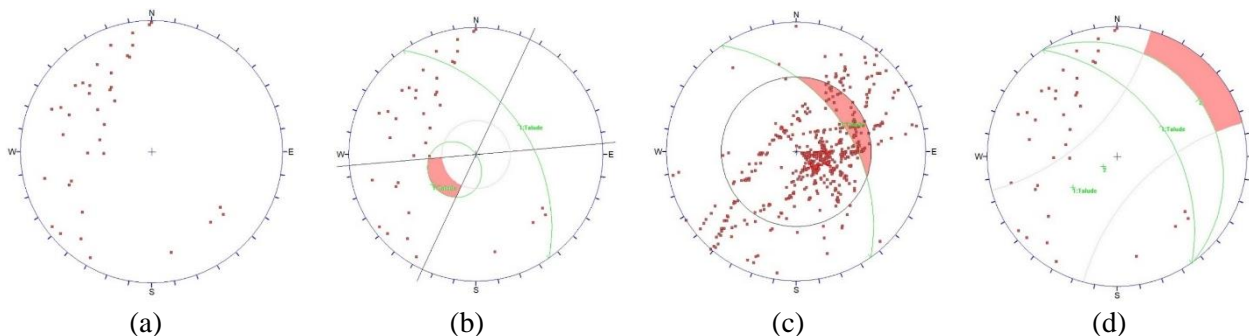


Figura 4. Estereogramas com destaques nas regiões de ruptura: a) descontinuidades, b) deslizamento planar, c) cinha 3D e d) tombamento.

Como visto, não foram encontrados indícios de rupturas possíveis por deslizamento planar (Figura 1b) ou tombamento (Figura 1d), restando as cunhas 3D como uma possibilidade de queda de blocos. Dentre as cunhas cujo deslizamento é geometricamente possível, verificou-se qual resulta na maior pressão de face para estabilização. Esta pressão é considerada em toda a face da cunha e pode ser associada a uma malha de chumbadores para se obter um reforço resultante.

A análise deste mecanismo foi realizada no software Swedge, que utiliza um método de análise cinemática para avaliar a estabilidade de taludes contra falhas em cunha, baseado nas seguintes etapas:

- Definição da geometria do talude e propriedades dos materiais;
- Identificação de famílias de descontinuidades;
- Geração de possíveis blocos de cunha;
- Cálculo do fator de segurança para cada bloco em cunha; e
- Exibição dos resultados da análise na forma de gráficos e diagramas.

As cunhas foram assumidas com 50% de preenchimento de água, algo que pode ocorrer durante precipitações mais intensas. A Tabela 1 apresenta o resumo da análise em cunha.

Tabela 1. Resumo da análise da cunha.

| | Mergulho | Direção | c' (kPa) | ϕ' (kPa) |
|----------------------------|----------------------|---------|------------|---------------|
| Descontinuidade 1 | 40° | 88° | 0 | 30 |
| Descontinuidade 2 | 76° | 349° | 0 | 30 |
| Face | 45° | 55° | | |
| Topo | 0° | 55° | | |
| Altura | 8 m | | | |
| Densidade | 26 kN/m ³ | | | |
| FS com reforço | 1,502 | | | |
| Inclinação da pressão | 30,0° | | | |
| Pressão para estabilização | 5,7 kPa | | | |

3.2 Dimensionamento Geotécnico da Contenção - premissas

3.2.1 Fator de Segurança

Os resultados obtidos a partir das análises de estabilidade devem atender aos fatores de recomendados pela norma brasileira NBR 11682 (ABNT, 2009).

De acordo com os critérios apresentados pela referida norma, foi considerado nível de segurança “médio/alto” contra perda de vidas humanas e “médio” para danos materiais e ambientais, o que resultou no fator de segurança mínimo desejável igual a 1,50. Considerando a redução de resistência típica do aço (1,15) para o grampeamento, adotou-se a consideração que fator de segurança global fosse igual ou superior a 1,70.

3.2.2 Parâmetros Geotécnicos Adotados

Com base nas observações realizadas em campo, considerou-se que a estabilidade fosse condicionada pelas fraturas existentes, que possuem resistência inferior à resistência média do maciço. Nestes casos é usual adotar-se o critério de Barton-Bandis, entretanto, dado a carência de uma caracterização mais aprofundada do maciço rochoso e suas fraturas, optou-se por usar o modelo clássico de Mohr-Coulomb. Com base na experiência em maciços graníticos semelhantes, adota-se coesão nula e ângulo de atrito de 30°. Ademais, foi considerada uma espessura de 1,5m de potenciais blocos soltos.

3.2.3 Adesão Rocha-Chumbador - grampeamento

Os grampos foram considerados inclinados em 30° em relação à horizontal, de forma a permitir a instalação das placas de ancoragem numa orientação próxima da face do talude.

No que tange o uso de chumbadores em solo, o valor de aderência ou resistência ao arrancamento costuma ser função do tipo de solo no qual o chumbador será executado. Byrne et al. (1998) apresentou faixas de aderência (ou resistência ao arrancamento) em solo que variam de acordo com o tipo e a descrição do solo. Como este caso estamos tratando do grampeamento em rochas, algumas adaptações são realizadas, mantendo-se a base teórica por meio do explicitado no item 3.1.

Assim, para os grampos em rocha, adotou-se adesão lateral no contato bulbo / rocha igual a 550 kPa minorada por um FS igual a 1,50. Este valor é reportado como um limite inferior da aderência de rochas graníticas, inclusive em consulta à base de dados do software MACRO, da Maccaferri.

Ainda que o maciço deste ativo seja de melhor qualidade e indique a possibilidade da adoção de aderências maiores, entendemos que a solução proposta envolve grampos de baixa carga que, se associados a elevadas aderências, resultarão em comprimentos de ancoragem excessivamente curtos. Isto deixaria o reforço proposto extremamente sensível a problemas executivos ou locais de baixa aderência oriundos da

heterogeneidade do maciço. Então, para se obter a resistência ao arrancamento necessária ao cálculo de estabilidade, foi adotado ainda o coeficiente de segurança de 1,50. Portanto, a força de arrancamento por metro de chumbador é obtida pela Equação 1.

$$T_{arranc} = \frac{L \cdot \emptyset_{chumbador} \cdot \pi \cdot q_s}{FS} = \frac{1,0 \cdot 0,075 \cdot \pi \cdot 550}{1,5} \approx 86 [kN/m] \quad (1)$$

Logo, os grampos em rocha devem possuir, ao menos, 7,5cm de diâmetro, sendo a aderência resultante de, aproximadamente, 86kN/m.

3.2.4 Resistência estrutural dos Grampos

Para permitir a instalação de placa e porca na face do talude, os chumbadores adotados foram constituídos por barra de aço roscada, tipo GEWI, INCO, THB ou similar, com tensão de escoamento mínima de 500 MPa e pintura anticorrosiva, dado que a cabeça dos grampos permanecerá exposta.

Para a consideração nos reforços as recomendações da NBR 6118 (ABNT, 2022) foram seguidas: i) coeficiente de minoração da resistência do aço (γ_s) igual 1,15 e ii) o coeficiente de majoração das ações (γ_f) igual a 1,40. Logo, a resistência de cálculo aceitável para as barras é dada pela Equação 2.

$$\sigma_{adm} = \frac{500}{1,15 \cdot 1,4} = 310 \text{ MPa} = 310.000 \text{ kPa} \quad (2)$$

Deste modo, tendo sido adotadas monobarras com diâmetros de 32 mm, a carga de escoamento é igual a 152 kN.

3.2.5 Dimensionamento da Estrutura e Tela de Faceamento

A análise foi realizada por ambos os softwares MACRO Studio (Maccaferri) e Ruvolum (v.1.1), disponível no site da Geobrugg.

Dado que os grampos necessitam possuir resistência estrutural de 152 kN, dividindo-se essa resistência pela área de influência obtém-se a pressão de face por meio da Equação 3.

$$\sigma_{face} = \frac{152}{2,0 \times 2,0} = 38 \text{ kN/m}^2 \quad (3)$$

Esse valor de 38 kPa é superior aos 5,7 kPa requeridos para estabilização da cunha 3D crítica verificada nos softwares, de modo que ficam satisfeitas todas as verificações realizadas.

Deste modo sistemas que apregam as seguintes especificações podem ser adotados: i) resistência à perfuração maior ou igual a 80kN, ii) resistência ao cisalhamento da chapamaior ou igual a 40kN, iii) resistência de carga ao esforço de tração paralelo ao talude maior ou igual a 10kN, e iv) a malha deve atender às resistências mínimas, tanto na vertical quanto na horizontal.

Destaca-se que no conceito de reforço proposto há uma interação tela/placa de ancoragem, de modo que o sistema empregue (tela + placas de ancoragem) sempre deve ser garantido e validado pelo fabricante para atender às especificações mínimas indicadas.

O comprimento de perfuração ($L_{perfuração}$) mínimo dos chumbadores é calculado com base na Equação 4, de modo que $L_{faixa\ instável}$ é o comprimento necessário para ultrapassar a porção instável de rocha, $L_{transição}$ é o comprimento de transição entre a porção mobilizada e a porção resistente do grampo, usualmente assumida entre 30 e 50 cm, e L_{bulbo} é o comprimento para ancoragem do grampo. Desta forma, o comprimento mínimo de perfuração resultante é dado pela Equação 5.

$$L_{perfuração} = L_{faixa\ instável} + L_{transição} + L_{bulbo} \quad (4)$$

$$L_{perfuração} = 1,5 + 0,5 + \frac{152}{86} \approx 3,75m \quad (5)$$

O comprimento total da barra também necessita de uma folga para acoplamento da placa e porca na cabeça do grampo. Assim, o comprimento da barra é dado pela equação 6.

$$L_{\text{barra}} = 3,75 + 0,25 = 4,0\text{m} \quad (6)$$

No entanto, recomendamos, em face da incerteza do mapeamento do caso em questão, indicamos a adoção de ao menos 1,5m acima do comprimento mínimo calculado e, arredondando-se para as medidas comerciais das barras. Assim, foi iniciado comprimento perfurado de 575cm com barras totais (após emenda por luva) de 600cm.

3.2.5 Considerações Adicionais relativas ao Grampeamento e Entelamento da Rocha

Além dos procedimentos usuais de grampeamento (adotados em solos grampeados, por ex.), foi indicado que o reforço dos taludes em rocha ainda atendesse às seguintes considerações:

- Perfuração em rocha com diâmetro mínimo de 7,5cm;
- Grampos com inclinação de 30° com a horizontal;
- Antes de qualquer trabalho de reforço nos taludes em rocha, realização de procedimento de bate-choco, com a remoção de todos os blocos em equilíbrio precário que se encontrem na face do talude;
- Reforço dimensionado para uma espessura instável de 1,5m de espessura. Caso verifique-se em campo a existência de blocos de dimensões relevantes ou de uma espessura instável superior a 1,5m, previmos a comunicação à projetista para avaliação de eventual reforço pontual;
- Os grampos da porção rochosa deverão ter sua locação ajustada em campo, em pontos oportunos de relevo da rocha de modo a garantir uma boa conformação da tela de alta resistência à face rochosa por meio da placa de ancoragem; e
- Deverá ser aplicado torque nas porcas das cabeças dos chumbadores de forma a garantir uma carga de incorporação mínima de 20 kN.

3.3 Projeto Elaborado

Mostramos na Figura 5, a seguir, alguns elementos de emissão do projeto supra descrito neste artigo, de elaboração da Solotechnique:

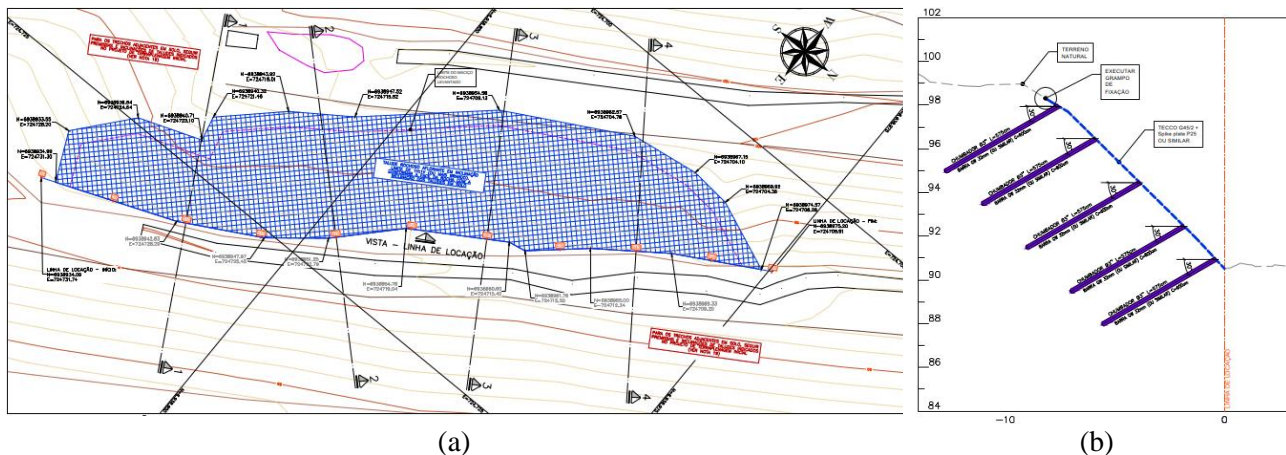


Figura 5. Projeto Elaborado em (a) planta, (b) uma seção em corte e (c) a elevação frontal.

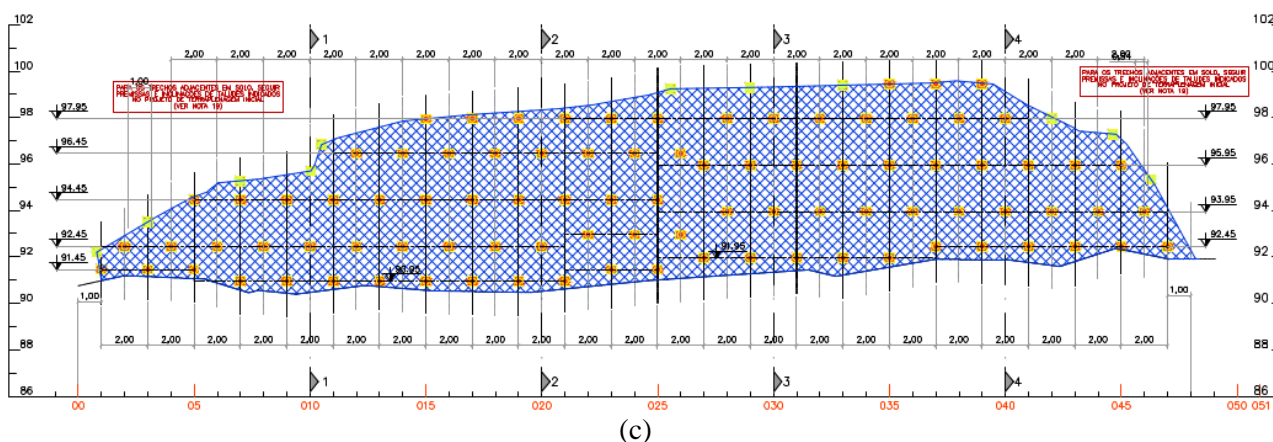


Figura 5. (continuação) Projeto Elaborado em (a) planta, (b) uma seção em corte e (c) a elevação frontal.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste estudo, frente a identificação de um intenso grau de fraturamento de uma encosta rochosa durante seu taludamento, fez-se necessário a intervenção imediata dos responsáveis técnicos pela obra geotécnica para avaliar possíveis soluções de engenharia para a problemática evidenciada.

Este artigo objetivou apresentar o detalhamento e critérios de projeto de grampeamento de rocha com telas metálicas de alta resistência. Frente à condição das rochas in situ e mapeamento geológico, considerou-se os 1,5m de espessura iniciais constituídos por blocos de rocha solto, resultando em grampos de ângulo de aplicação de 30° com a horizontal, 7,5 cm de diâmetro e comprimento mínimo de 6,00 m, dotados de monobarras de diâmetro 32mm. Este dimensionamento resultou em um fator de segurança igual a 1,70.

Esse projeto permitiu estabilidade satisfatória ao corte de estrada em questão, com implicações significativas na segurança e eficiência da infraestrutura rodoviária. As medidas de contenção já estão em fase de execução, e espera-se apresentar futuramente, em artigo complementar, o relato da sua execução, das dificuldades encontradas e da instrumentação de obra.

É fundamental destacar que as previsões e valores apresentados devem ser encarados como referências teóricas para orientação. Para calcular essas previsões, várias simplificações são feitas, e a variabilidade das propriedades do maciço e das estruturas pode resultar em diferenças em relação aos valores medidos efetivamente no campo. Além disso, a instalação de instrumentação geotécnica na contenção é uma prática altamente recomendada e deve ser considerada como um componente essencial do projeto.

AGRADECIMENTOS

A **Solotechnique** agradece à Arteris pela confiança de todos os anos de construção do Contorno de Florianópolis e pela oportunidade de desenvolvimento de projetos como o apresentado em epígrafe.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2009). NBR 11682. *Estabilidade de Encostas*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2019). NBR 6122. *Projeto e Execução de Fundações*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2022). NBR 6118. *Projeto de estruturas de concreto - Procedimento*. Rio de Janeiro.
- Byrne, R.J., Cotton, D., Porterfield, J., Wolschlag, C., Ueblacker, G. (1998). *Manual for design and construction monitoring of soil nail wall*. Repor No. FHWA-SA-96-069R. Washington, 586p.
- Hoek, E., 2007, *Practical Rock Engineering*: RocScience. (Available from the publisher at <http://www.rocscience.com/hoek/PracticalRockEngineering.asp>).