



Proposta de solução para estrutura de contenção contra queda de rochas para um talude na Região Sul de Santa Catarina

Héilton Marcon Rocha ¹,

Luiz Renato Steiner ².

Resumo: A queda de rochas e o rompimento de taludes são regidos por fatores geológicos, geomorfológicos, climáticos e pela ocupação irregular e ilegal de encostas. Há três classificações quanto ao movimento de terra causado pela instabilidade de maciços: desprendimento de terra ou rocha, escorregamento (*landslide*) e rastejo (*creep*). Além disso, as principais formas de ruptura de taludes rochosos são ruptura circular, planar, em cunha e tombamento de blocos (*toppling*). Há maneiras de evitar as rupturas de taludes por meio de estruturas de contenção, classificadas por proteções ativas e passivas, que devem atender a fatores de segurança mínimos regidos pela ABNT NBR 11682/2009. O objetivo deste trabalho foi dimensionar uma estrutura de proteção contra quedas de rochas para o maciço estudado por Zorzi e Müller (2019). As autoras classificaram um maciço rochoso localizado no bairro Morro dos Conventos na Cidade de Araranguá, através do sistema RMR. O maciço, caracterizado em famílias, obteve classificação III e IV, apresentando grandes indícios de alteração e fraturamento. Através deste estudo, e das características do local, foi dimensionado uma estrutura de proteção contra queda de rochas baseado num sistema de malhas SteelGrid MO 200, com cabos de suporte de alma de aço de diâmetro de 12 mm ancorados à crista do talude por meio de barras de ancoragem de aço CA-50 de $\phi 20$ mm. A validação do dimensionamento foi feita por meio do software MacRO Studio v3.0. Concluiu-se que a estrutura dimensionada foi satisfatória, visto que apresentou fatores de segurança superiores ao mínimo estipulado pela ABNT NBR 11682/2009.

Palavras-chave: talude rochoso; steelgrid MO 200; estabilidade de taludes.

Solution proposal for a retaining structure against rockfalls for a slope in the Southern Region of Santa Catarina

Abstract: Rockfalls and slope fracture are governed by geological, geomorphological, climatic factors and by irregular and illegal occupation of slopes. There are three classifications of soil movement caused by massifs instability: soil or rockfall, landslide and soil creep. In addition, the main forms of rock slopes failure are circular, planar, 3D wedge and toppling. There are ways to avoid slope failure through retaining structures, classified by actives and passives, which must attend minimum safety factors governed by ABNT NBR

¹ Acadêmico do Curso de Engenharia Civil, Universidade do Extremo Sul Catarinense, almeida.hmr@unesc.net.

² Mestre Professor Engenheiro Civil, Universidade do Extremo Sul Catarinense, luizsteiner@unesc.net.

11682/2009. The purpose of this article was to design a retaining structure against rock falls for the massif studied by Zorzi and Müller (2019). The authors classified a rock massif, located at Morro dos Conventos in Araranguá city, by the RMR system. The massif, divided in families, was classified as III and IV classes, showing great signs of alteration and fracturing. Through this study and the characteristics of the site, a rock fall protection system based on a mesh system was design. The SteelGrid MO 200 mesh is supported by a steel core cable with 12 mm diameter which is anchored to the slope crest by a CA-50 steel bar with 20 mm diameter. The design validation was confirmed by the MacRO Studio v3.0 software, by Maccaferri. It was concluded that the retaining structure designed was satisfactory, since the safety factors of the system was higher than the minimum safety factor stipulated by ABNT NBR 11682/2009.

Keywords: rock slope; steelgrid MO 200; slope stability.

Introdução

É comum, no Brasil, noticiar-se desastres como a queda de rochas e encostas após um grande período de chuva em determinadas regiões. Fatores como as condições geológicas, geomorfológicas, climáticas e, também, a ocupação irregular e ilegal das encostas favorecem a movimentação de massa (NUNES, 2013, p. 41). Quando movimentos de massa atingem áreas densamente populosas e/ou vias de acesso (estradas), pode ocorrer a perda de vidas humanas, prejuízos onerosos à cidade e/ou estado, além dos danos ambientais.

Há três formas de se classificar a movimentação de terra causada pela instabilidade de maciços, sejam eles rochosos ou terrosos (CAPUTO; CAPUTO; RODRIGUES, 2015, p. 431).

Primeiramente, tem-se o desprendimento de terra ou rocha, caracterizado quando uma parte do maciço, terroso ou rochoso, se solta do bloco principal, como mostra a Figura 1 (DAS; SOBHAN, 2019, p.537).

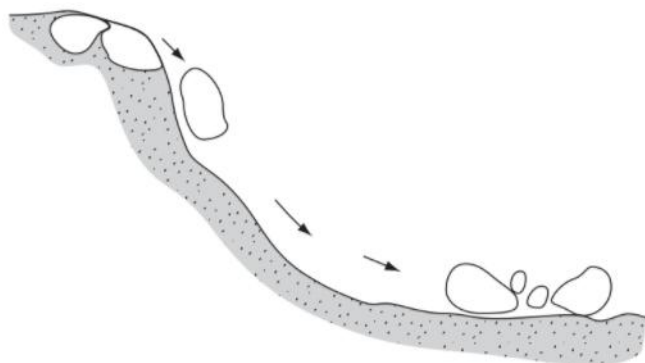


Figura 1. Desprendimento de terra ou rocha (Fonte: DAS; SOBHAN, 2019, p. 537)

Outra classificação é a de escorregamento (*landslide*), onde ocorre um rápido deslocamento da porção de maciço solta. Segundo (DAS; SOBHAN, 2019, p.548) caso a superfície de deslizamento passe acima ou pelo pé do talude, ela será caracterizada como uma ruptura de face, como exemplifica a Figura 2 (a). Porém, se a superfície rompe por um ponto abaixo do pé do talude, ocorre uma ruptura da base, como expõe a Figura 2 (b).



Figura 2. Formas de escorregamento (*landslide*): (a) escorregamento superficial, (b) escorregamento profundo (Fonte: Caputo, Caputo e Rodrigues, 2015, p.431)

E, por fim, a terceira classificação de movimento é a de rastejo (*creep*). É descrito como um deslocamento lento de uma camada superficial de solo. As velocidades variam de alguns milímetros por ano, podendo aumentar em épocas chuvosas e diminuir em épocas de seca (MASSAD, 2010, p.87). A Figura 3 demonstra este tipo de movimentação.

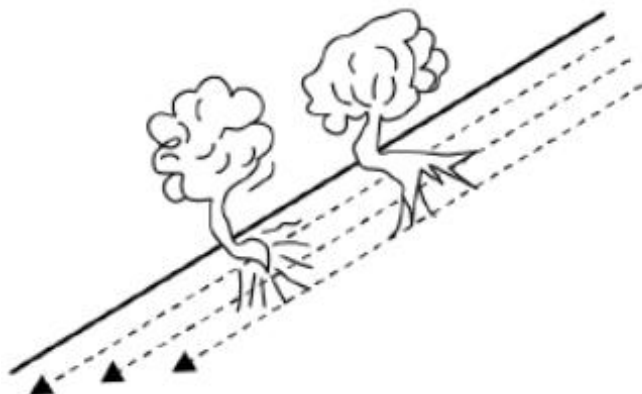


Figura 3. Movimentação de terra do tipo rastejo (creep) (Fonte: Caputo, Caputo e Rodrigues, 2015, p.431)

Conforme Nunes (2013, p. 42), há alguns fatores que condicionam os movimentos de massa, sendo eles falhas, fraturas, acamamentos, morfologia do talude e zonas de fluxo de água. Quando se trata de maciços rochosos, o principal meio de estabilização é através de descontinuidades associadas à sua direção com relação à face do talude.

O maciço rochoso, de forma geral, é tido como um meio descontínuo, apresentando uma grande diferença entre a resistência dos blocos de rocha intacta e das descontinuidades. Quando ocorre uma diminuição deste contraste, através da diminuição da resistência da rocha intacta, acaba aumentando a tensão nos blocos de rocha contínua (KANJI, 2006). Ainda, segundo Nunes (2013, p.43), a resistência das rochas pode ser afetada pelo intemperismo físico e químico, além da alteração do estado de tensões do local devido a execução de cortes, desmonte mecânico, sobrecargas e drenagem ineficiente.

As mais tradicionais formas de ruptura de taludes rochosos são: ruptura circular, ruptura planar, ruptura em cunha e tombamento de blocos (*toppling*) (NUNES, 2013, p. 43).

a) Ruptura circular: segundo Wyllie e Mah (2005, p. 177), este tipo de ruptura acontece em rochas parcialmente fraturadas ou altamente intemperizadas. Nesta ocasião, não existe um padrão estrutural fortemente definido, e a superfície deslizante irá encontrar a linha de menor resistência do talude. A Figura 4(a) expõe a ruptura circular, onde (1) indica a face do talude.

b) Ruptura planar: a ruptura planar é rara, quando comparada aos outros tipos de ruptura em taludes rochoso, pois é necessário que determinadas condições geométricas sejam

satisfeitas. O plano de deslizamento deve ser paralelo (dentro de uma margem de $\pm 20^\circ$) à face do talude, o ângulo de mergulho da superfície deslizante deve ser menor que o da face do talude e maior que o ângulo de atrito do talude (WYLLIE; MAH, 2005, p.129). A Figura 4(b) retrata a ruptura planar, onde (1) é a face do talude e (2) é o plano de descontinuidade.

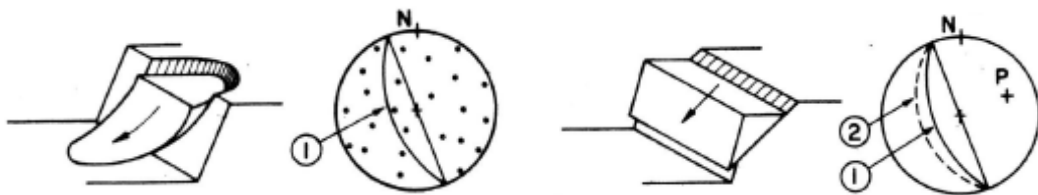


Figura 4. Forma de ruptura: (a) circular, (b) planar (Fonte: Hoek; Londe, 1974, p.39)

c) Ruptura em cunha: diferente da ruptura planar, a ruptura em cunha só ocorre quando há a presença de descontinuidades oblíquas à superfície do talude. Ou seja, dois planos de descontinuidades oblíquas devem se encontrar, formando uma linha de intersecção que irá causar o rompimento e deslizamento do talude. Para isso, o ângulo de mergulho da linha de intersecção (ψ_1) deve ser menor que o ângulo de mergulho do talude (ψ_{fi}) e maior que o ângulo de atrito médio (ϕ) dos dois planos oblíquos deslizantes, ou seja, $\psi_{fi} > \psi_1 > \phi$. A Figura 5 apresenta uma ruptura em cunha e as condições geométricas para que ela ocorra (WYLLIE; MAH, 2005, p. 155).

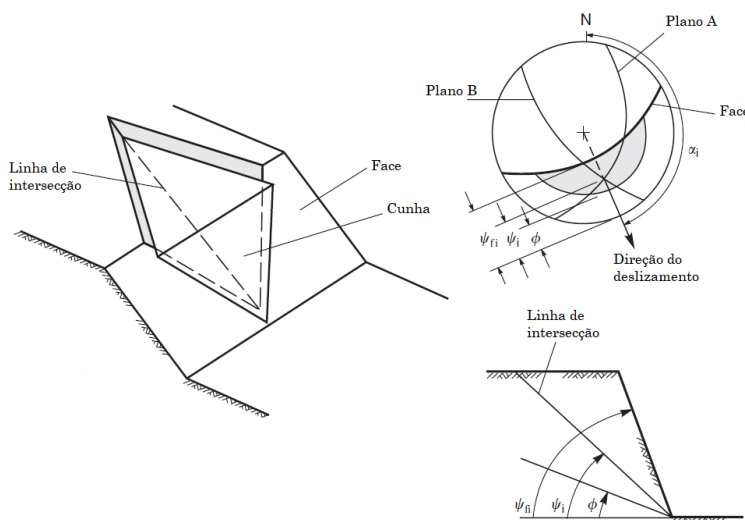


Figura 5. Ruptura em cunha e suas condições geométricas (Fonte: Wyllie; Mah, 2005, p. 155)

d) Tombamento (*toppling*): de acordo com Wyllie e Mah (2005, p. 200), tombamento se refere a um movimento de rotação de uma coluna ou bloco de rocha a partir de uma base fixa. Ortigão (2004 apud Kanji, 2006) cita que as causas deste tipo de ruptura são o empuxo horizontal gerado pela água presente nas fendas verticais, pela erosão e/ou dilatação diferencial da rocha base. Complementando, Nunes (2013, p.44) cita que rupturas por tombamento são típicas em maciços rochosos com descontinuidades verticais bem definidas, podendo tombar por esforço de flexão devido a ação da gravidade. A Figura 7 (a) apresenta uma ruptura por tombamento devido a rotação de blocos rochosos, a Figura 7 (b) ilustra o tombamento devido ao esforço de flexão e a Figura 7 (c) mostra uma combinação de ambos.

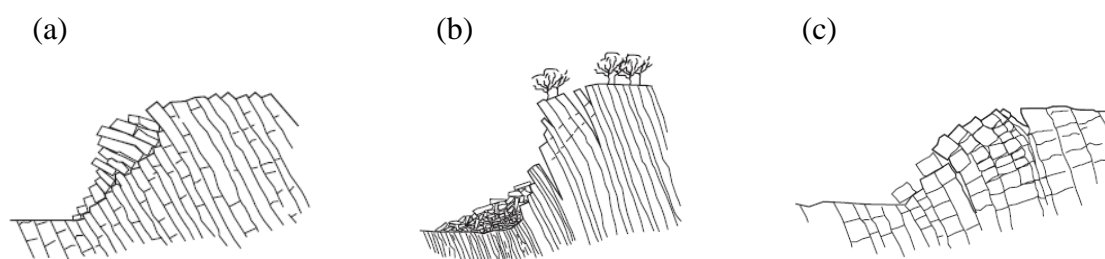


Figura 1. Tombamento por (a) rotação, (b) flexão, (c) rotação-flexão (Fonte: Wyllie; Mah, 2005, p. 202)

Para a análise de estabilidade de um talude é necessário a introdução de fatores de segurança, conforme indica ABNT NBR 11682/2009: Estabilidade de encostas. Segundo ABNT (2009), durante o estudo de segurança são desprezadas as deformações naturais que ocorrem no talude ou encosta, e o fator de segurança (FS) é diretamente proporcional a resistência ao cisalhamento do material que compõe o talude. Portanto, um maior valor de FS induz maior grau de segurança contra ruptura.

Para definir um fator de segurança mínimo para determinada situação, ABNT (2009) recomenda que seja levado em consideração o perigo de perda de vidas humanas e a possibilidade de danos materiais e ambientais, sendo que devem ser avaliadas as situações atuais e futuras, previstas ao longo da vida útil do talude. Portanto, o FS deve garantir que todas as incertezas durante o projeto e execução sejam atendidas, incluindo hipóteses sobre nível de água, sobrecargas, alterações na geometria, ação de sismo, entre outros. A Tabela 1 apresenta os fatores de segurança indicados para a análise de estabilidade interna e externa do maciço.

Tabela 1. Fatores de segurança mínimos para deslizamentos (Fonte: ABNT, 2009)

Nível de segurança contra danos materiais e ambientais \ Nível de segurança contra danos a vidas humanas	Alto	Médio	Baixo
	Alto	1,5	1,5
Médio	1,5	1,4	1,3
Baixo	1,4	1,3	1,2

Quanto aos tipos de estruturas que podem ser adotadas para a estabilização e controle de queda de rochas de um talude, realizou-se uma pesquisa no site da empresa Maccaferri, que é referência mundial no desenvolvimento de soluções para o mercado da engenharia civil, geotécnica e ambiental. Segundo Maccaferri do Brasil (2017, p.5) existem dois tipos de estratégias para combater a instabilidade superficial, as proteções passivas e as ativas, como mostra a Figura 8. A proteção passiva tem o objetivo de conter as rochas que se desprendem do talude, evitando que haja o contato com vidas humanas e obras de infraestruturas. Já a ativa evita a degradação da superfície do talude, impedindo a movimentação das rochas.

A Figura 9 traz um resumo dos tipos de intervenções da Maccaferri, separados por estratégias, para estabilização e controle de quedas de rochas, suas respectivas finalidades e aplicações.

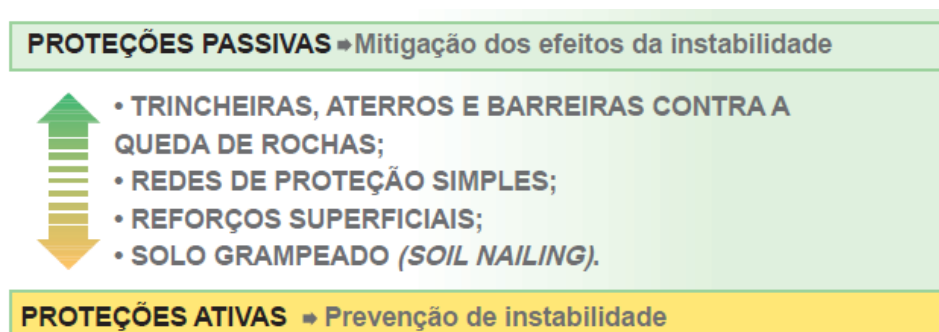


Figura 2. Estratégias contra a instabilidade superficial de taludes rochosos (Fonte: MACCAFERRI DO BRASIL, 2017, p.4)

	Tipo de intervenção	Finalidade	Aplicações típicas
PASSIVAS	Trincheiras e muros de contenção ao pé do talude.	Interceptar rochas de pequenas e grandes dimensões.	Proteção de obras de infraestrutura situadas ao pé de taludes escavados.
	Barreira de proteção contra a queda de rochas com elevada energia de dissipação.	Interceptar rochas de várias dimensões.	Proteção de obras de infraestrutura e de construção civil ao pé de taludes naturais.
	Estruturas em malha confeccionadas no local. Rede de proteção simples.	Interceptar rochas durante a queda. Controlar a queda de rochas permitindo sua acumulação ao pé do talude.	Proteção das paredes rochosas de fundos de vale, de obras de infraestrutura e construção civil, em combinação com trincheiras e/ou muros de contenção.
ATIVAS	Reforços superficiais.	Consolidar a parte superficial da rocha e contê-la no talude contra desprendimentos.	Proteção de taludes em obras de infraestrutura ou de construção civil.
	Solo grampeado (soil nailing).	Estabilizar globalmente o talude.	Estabilização de frentes de escavação.
	Consolidação profunda com chumbadores e tirantes.	Estabilizar os taludes rochosos de grandes proporções, individuais ou em grupos, suscetíveis a movimentos sísmicos.	Taludes rochosos naturais e frentes de escavações.

Figura 3. Quadro resumo dos tipos de intervenção apresentados pela Maccaferri (Fonte: MACCAFERRI DO BRASIL, 2017, p.6)

Com base no que foi discorrido, o objetivo deste trabalho é analisar os resultados obtidos por Zorzi e Müller (2019) e definir a solução de proteção contra queda de rochas mais adequada para o talude sedimentar estudado. Tendo em vista a solução mais viável, será apresentado o dimensionamento desta estrutura visando as normas vigentes.

Materiais e métodos

A presente pesquisa seguiu uma metodologia previamente definida e que está detalhada no fluxograma apresentado pela Figura 10.

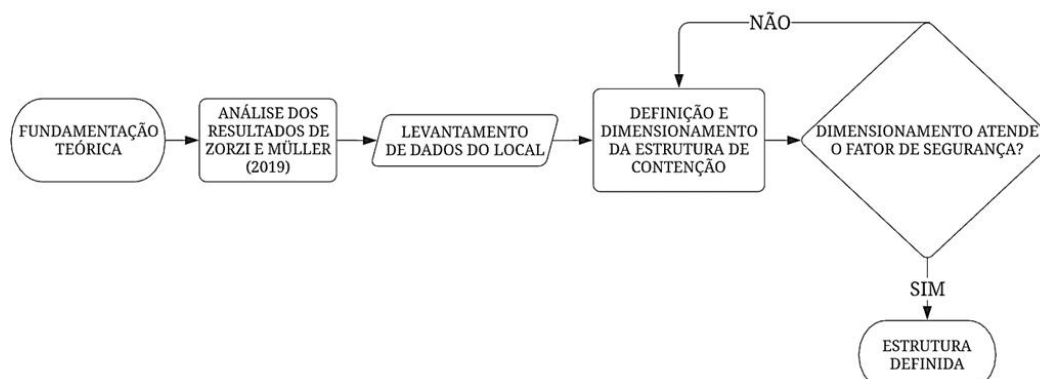


Figura 4. Fluxograma da metodologia adotada.

O maciço rochoso estudado por Zorzi e Müller (2019), exibido na Figura 11, está localizado no bairro Morro dos Conventos, na cidade de Araranguá – Santa Catarina. Segundo a pesquisa, a origem da rocha foi determinada na Formação Rio do Rasto, compreendendo o membro Morro Pelado, que é composto por camadas arenosas espessas alternadas com camadas de argila e silte mais finas.



Figura 5. Maciço rochoso alvo do trabalho de Zorzi e Müller (Fonte: ZORZI; MÜLLER, 2019, p.7)

O maciço foi classificado com base no sistema RMR (Rock Mass Rating), que é um dos mais utilizados sistemas de classificação. Basicamente, o sistema RMR atribui a qualidade do maciço rochoso através de um valor compreendido entre 0 a 100, crescente em qualidade (SOUSA, 2016, p. 4).

Segundo o autor do método, Bieniawski (1993 apud SINGH; GOEL, 2011, p.45), são considerados seis parâmetros geológicos-geotécnicos que possuem seus respectivos pesos,

onde a soma destes pesos é o RMR. Com este resultado, o maciço é enquadrado em uma das cinco classes qualitativas propostas por Bieniawski. Os seis parâmetros considerados são: resistência à compressão uniaxial do material rochoso (P1), índice de qualidade RQD (P2), espaçamento das descontinuidades (P3), condições das descontinuidades (P4), condições da água subterrânea (P5) e orientação das descontinuidades (P6). As cinco classificações do maciço rochoso propostas por Bieniawski (1993) estão apresentadas na Tabela 2.

Zorzi e Müller (2019) separaram o maciço rochoso em cinco famílias de composições diferentes, sendo que cada família possui descontinuidades distintas e, portanto, um valor de RMR. A Figura 12 retrata a disposição das fraturas definidas para representar o maciço estudado.

Tabela 2. Parâmetros de classificação do solo com base no valor RMR (Fonte: Bieniawski, 1993 apud SINGH; GOEL, 2011, p.51)

Valor RMR	Classe	Descrição do Maciço Rochoso	Período auto - portante	Vão da seção (m)	Coesão (kPa)	Ângulo de atrito
81 – 100	I	Muito Bom	20 anos	15	> 400	> 45°
61 – 80	II	Bom	1 ano	10	300 – 400	35° - 45°
41 – 60	III	Razoável	1 semana	5	200 – 300	25° - 35°
21 - 40	IV	Fraco	10 horas	2,5	100 – 200	15° - 25°
< 21	V	Muito Fraco	30 minutos	1	< 100	< 15°



Figura 6. Descontinuidades que representam o maciço rochoso (Fonte: ZORZI; MÜLLER, 2019, p.12)

Zorzi e Müller (2019) analisaram o plano das falhas, dividiram as cinco famílias conforme a localização das suas projeções estereográficas e pontuaram os pesos dos seis parâmetros para cada uma das famílias. A Tabela 3 apresenta as famílias com suas respectivas composições, os pesos atribuídos a cada parâmetro e o resultado do RMR.

Tabela 3. Composição e classificação das famílias conforme sistema RMR (Fonte: ZORZI; MÜLLER, 2019, p.17).

Família	Composição das Fraturas	P1	P2	P3	P4	P5	P6	RMR
1	1, 2, 6 e 9	7	8	15	0	10	-5	35
2	3 e 4	7	8	10	0	10	-5	30
3	5 e 7	7	8	15	0	10	-5	35
4	8	7	8	15	0	10	-5	35
5	a, b, c, d, e, f, g, h, i, j	7	8	15	10	10	-5	45

Comparando a última coluna da Tabela 3 com a primeira coluna da Tabela 2, encontra-se a qual classe cada família pertence. O resultado foi de Classe IV para as famílias 1 a 4 e Classe III para a família 5. Com isso, Zorzi e Müller (2019) concluíram que o maciço rochoso estudado apresenta grandes indícios de alteração e fraturamento.

À vista disto, e levando em consideração as características naturais do local onde este maciço está inserido, foi prevista uma estrutura de controle contra a queda de rochas. Para o auxílio do dimensionamento desta estrutura foi utilizado o software MacRo Studio v3.0 da Maccaferri. É um software gratuito e está disponível para download no site da Maccaferri.

O MacRo Studio faz a verificação do dimensionamento de uma estrutura de contenção contra quedas de rochas baseada num sistema de malhas de aço, onde tem-se duas opções de solução. A primeira seria através de um revestimento simples (vide Figura 9 – “Rede de proteção simples”), onde uma malha de aço é instalada sobre a superfície do talude a partir de um cabo ancorado na sua crista. A segunda solução é através de um sistema de revestimento cortical (vide Figura 9 – “Reforço superficial”). É um revestimento semelhante ao anterior, sendo que neste, a malha de aço é totalmente ancorada à superfície talude por chumbadores, garantindo uma maior aderência da malha (MACCAFERRI DO BRASIL, 2016, p.6).

Antes de iniciar o dimensionamento da estrutura, realizou-se uma visita em campo para coleta de algumas informações. Primeiramente, averiguou-se que os detritos de rochas que estavam soltos ao pé do talude rochoso eram de pequeno porte, cerca de 25 cm de diâmetro. Ainda nesse sentido, não foi encontrado nenhum registro de acidentes passados, que poderiam ter sido causados pelo deslocamento de rochas de maior porte do talude, o que sugere que o maciço não apresenta um risco iminente de ruptura.

Quanto ao espaço físico para a execução de uma estrutura de contenção, verificou-se que não há espaço suficiente para estruturas robustas, visto que o maciço rochoso, em sua

grande parte, encontra-se praticamente rente à estrada de acesso ao Morro dos Conventos, como ilustra a Figura 13 (a) e (b). Outra informação obtida in loco foi de que ao longo de toda parte superior do talude há presença de vegetação de pequeno a médio porte, o que ajuda a manter o maciço coeso, já que as raízes da vegetação tendem a impedir o deslocamento das rochas.

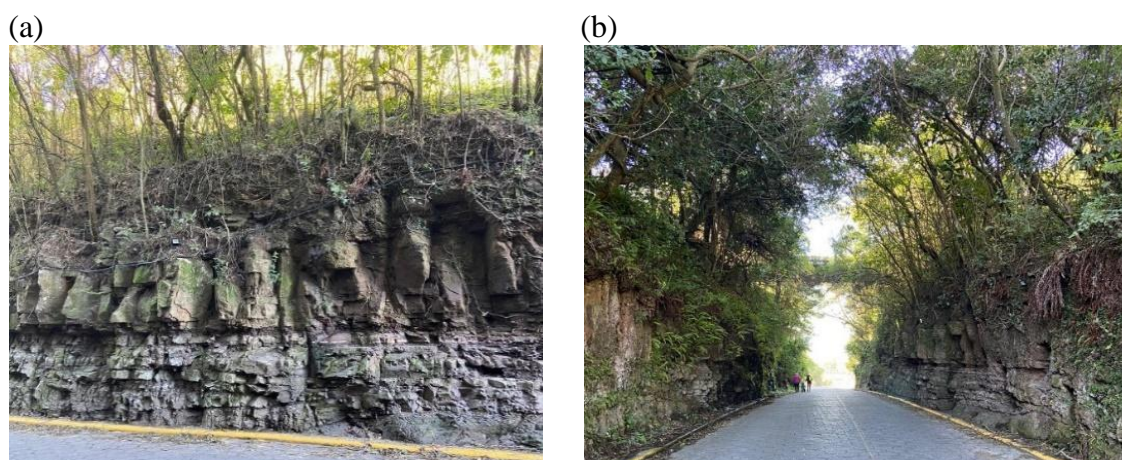


Figura 7. (a) Localização do maciço estudado referente à estrada de acesso; (b) presença da vegetação em toda parte superior do maciço.

Resultados e discussão

Em vista dos resultados encontrados por Zorzi e Müller (2019), aliados as informações retiradas do campo, a estrutura de contenção foi escolhida levando em consideração alguns fatores, como: localização, rapidez e facilidade de execução, custo e grau de segurança. Visto que o visual do local é um fator importante para região, buscou-se que a necessidade de modificação do local e do próprio talude seja a menor possível, e que a interferência na circulação de pessoas e veículos seja mínima, já que o maciço está circundando o único acesso ao bairro por estrada.

A melhor solução encontrada, com base em casos de obras semelhantes ao apresentado – vide Nunes *et al.* (2016) e demais casos presentes em Maccaferri do Brasil (2020), foi um sistema de revestimento simples por malhas de aço patenteado pela empresa Maccaferri. A malha é instalada sobre o maciço e fixada através de cabos de ancoragem na crista e no pé do talude. Os detritos que se desprendem do maciço serão contidos pela malha e direcionados para a base do talude, onde, posteriormente, deverão ser retirados com

segurança. A Figura 14 (a) ilustra a configuração do sistema e a Figura 14 (b) mostra como as forças atuam no sistema logo após o desprendimento de um bloco de rocha.

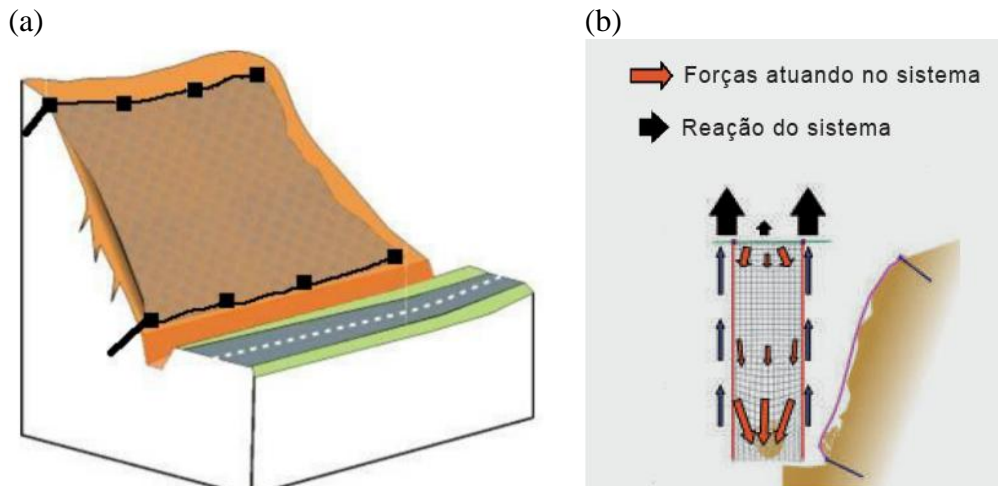


Figura 8. (a) Configuração típica de um sistema de malha de proteção simples; (b) Reação do sistema ao desprendimento de um bloco maciço (Fonte: MACCAFERRI AMÉRICA LATINA, 2018).

Para dar início ao dimensionamento do sistema de malhas, a Figura 15 traz a interface do software MacRO Studio. Há cinco abas de trabalho que devem ser preenchidas com informações sobre: projeto, talude rochoso, sistema de malha, cabo de suporte mais ancoragem e coeficientes de segurança.

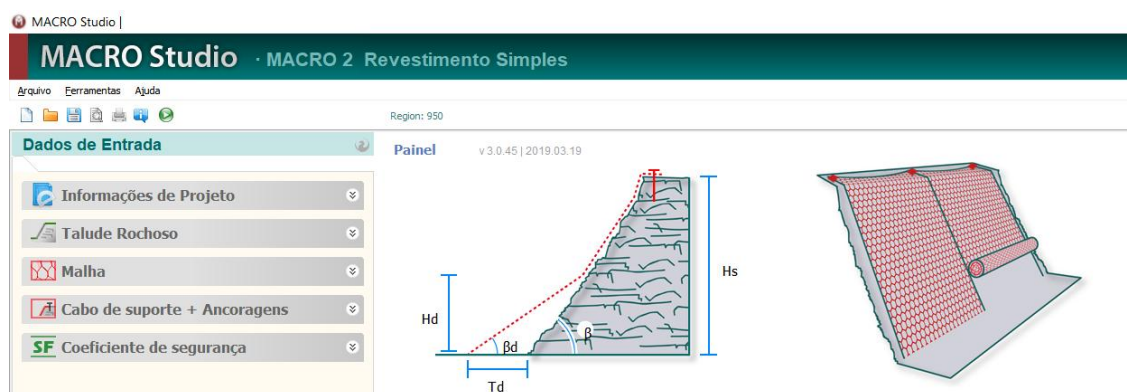


Figura 9. Interface do software MacRo Studio da Maccaferri

As informações de projeto servem para identificar o cliente e fazer a descrição da obra. A segunda aba, talude rochoso, permite que o projetista caracterize o maciço rochoso para identificar a espessura que será estabilizada pelos chumbadores. A terceira aba, sistema de malha, serve para o projetista definir o tipo de malha que será aplicado na estabilização. O

software possui um banco de dados próprio com todos os sistemas de malha produzidos pela Maccaferri. O sistema de malha é definido segundo os valores da inclinação do talude, diâmetro médio dos blocos soltos, altura do talude, resistência à tração da malha e classe de agressividade ambiental do local (MACCAFERRI AMÉRICA LATINA, 2018, p.7).

A Figura 16 apresenta os dados inseridos no software para as abas de talude rochoso e malhas.

Talude Rochoso

Inclinação do talude	B	90
Altura total do talude [m]	Hs	8.00
Altura do acúmulo de detritos [m]	Hd	1.20
Largura do acúmulo de detritos [m]	Td	0.30
Ângulo dos detritos acumulados	Bd	75.96
Ângulo de atrito dos detritos		25.00
Peso unitário dos detritos [kN/m ³]		25.14
Ângulo de atrito entre a malha e o talude		60.00

Neve

Peso unitário da neve [kN/m ³]	4
Espessura de neve [m]	0

Malha

Tipo de malha	Steelgrid MO 200
Resistência à tração da malha [kN/m]	60.00
Peso unitário da malha [Kg/m ²]	1.78

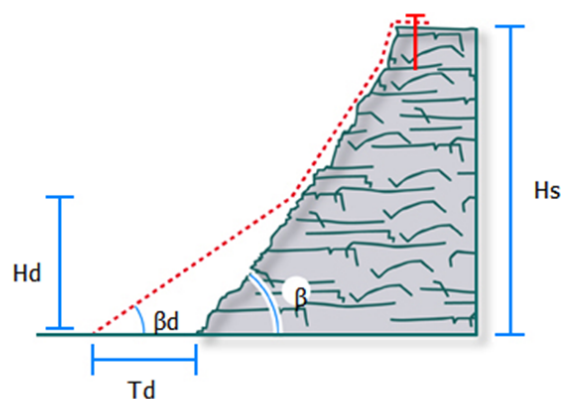


Figura 10. Dados referentes ao talude rochoso alimentado ao MacRO Studio.

O valor adotado para a inclinação (β), altura total do talude (H_s), altura (H_d) e largura (T_d) do acúmulo de detritos, assim como o peso unitário dos detritos foram calculados com base nas características do talude durante a visita e por testemunhos de rochas soltas no local. O valor do ângulo dos detritos acumulados (β_d) é calculado automaticamente por meio dos valores da altura e largura do acúmulo de detritos inseridos.

Para o ângulo de atrito dos detritos, o ideal seria a realização de ensaios de laboratório. Contudo, no caso de haver a impossibilidade da realização de ensaios laboratoriais, o software possui um banco de dados de ângulo de atrito para cada tipo de rocha. Zorzi e Müller (2019, p.7) apontaram que a origem do talude está ligada a Formação Rio do Rasto, composta predominantemente por siltitos e arenitos finos. À vista disso, utilizou-se o valor de “ φ_d ” referência do siltito, como instruído no manual de utilização do software. O valor do ângulo de atrito entre a malha e o talude (δ) é baseado no nível de regularidade da encosta, sendo:

para superfícies muito irregulares (rugosas) $\delta \geq 60^\circ$; para superfícies onduladas com algumas rochas afloradas $36^\circ \leq \delta \leq 59^\circ$; e para superfícies planas $25^\circ \leq \delta \leq 35^\circ$ (MACCAFERRI AMÉRICA LATINA, 2018, p.8). Como o talude possui uma superfície rugosa não muito acentuada, com rochas afloradas, vide Figura 13 (a), optou-se por utilizar um $\delta = 60^\circ$.

Quanto ao sistema de malhas, optou-se pela malha SteelGrid MO 200. Este sistema de proteção simples e passiva, foi escolhido por sua larga utilização em revestimento de taludes rochosos, pela facilidade de instalação, redução de custos, por ser de um material altamente resistente a corrosão e por ser indicada para taludes com altura menor que 10 m e diâmetro de blocos soltos menores que 30 cm (MACCAFERRI AMÉRICA LATINA, 2018, p.9). A malha SteelGrid MO (mono orientado) é baseada num sistema de malha hexagonal de dupla torção com cabos de aço dispostos longitudinalmente nas suas extremidades laterais (MACCAFERRI DO BRASIL, 2017, p.9).

Dando continuidade, a Figura 17 trata sobre o cabo de suporte e ancoragens, assim como as especificações da barra de ancoragem. Esta aba inicia com valores para o espaçamento entre as ancoragens. Por ser um sistema mono orientado, tem-se somente o espaçamento horizontal entre as ancoragens (Δx). O valor de 2,00 m foi definido com a intenção de manter os diâmetros dos cabos de suporte e da barra de ancoragem otimizados e dentro dos padrões comerciais. As especificações do cabo de suporte foram definidas de acordo com os cabos comumente utilizados pela empresa para esta função. A alma do cabo foi definida como sendo de aço com um diâmetro de 12 mm, tensão de escoamento de 1770 MPa com resistência à tração de 90,70 kN. Para a barra de ancoragem foi especificado barras de aço CA-50 de $\phi 20$ mm, com um diâmetro de perfuração na rocha de 50 mm com execução por aparelho de rapel.

Cabo de suporte + Ancoragens

Layout da instalação das ancoragens

Espaço Horizontal entre ancoragens [m]	2.00
Espaço Vertical entre ancoragens [m]	0.00

Δx = Espaçamento medido horizontalmente [m].
 Δy = Espaçamento medido verticalmente [m].
Distância máxima sugerida entre ancoragens: 3m x 3m.

Especificação do cabo de suporte

Diâmetro do cabo [mm]	12
Tensão de escoamento do aço [MPa]	1770
Alma do cabo	Steel
Resistência à tração do cabo [kN]	90.7

Especificação da Ancoragem

Tipo de Barra	Barra de Aço CA-50	
Diâmetro interno [mm]		0
Diâmetro externo [mm]		20.0
Espessura de corrosão [mm]		0
Tensão de escoamento do aço [MPa]		500
Tensão de adesão nata-rocha [MPa]		0.70

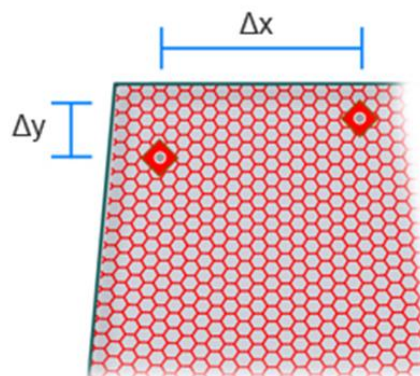


Figura 11. Dados referentes ao cabo de suporte e ancoragens alimentado ao MacRO Studio.

É importante salientar que o software faz o cálculo de corrosão segundo a norma francesa NF P 94-270 (2009) – *Geotechnical Design – Retaining Structures – Reinforced and Soil Nailing Structures*. Para o cálculo da corrosão foi definido um valor de vida útil de projeto de 50 anos em uma classe de agressividade ambiental alta, devido ao talude se encontrar em região litorânea.

Para a tensão de adensamento nata-rocha, assim como para a espessura de transição entre rocha sã e fraturada, foram definidos valores com base em Maccaferri América Latina (2018, p.11), visto que para se ter uma grande precisão destes índices seriam necessários ensaios de arrancamento. Ambos servem para garantir que o comprimento da barra de ancoragem seja maior que a porção instável do maciço.

A quinta e última aba trata sobre os coeficientes de segurança aplicados ao sistema. Por falta de uma normativa específica brasileira sobre projetos geotécnicos, o software já possui um banco de dados padrão de coeficiente de segurança baseados em normas estrangeiras e em ensaios realizados ao longo dos anos em diversos sistemas executados ao redor do mundo pela própria Maccaferri.

Inicialmente, foram definidos coeficiente de segurança do talude rochoso para as cargas variáveis e permanentes. Estes coeficientes adotados são da Tabela A.3 do *Eurocódigo 7: Projeto Geotécnico – Parte 1: Regras gerais*. O coeficiente de redução da resistência da

malha foi obtido através de ensaios de punção, em escala real e de laboratório, realizados pela Maccaferri. Os coeficientes de segurança relacionados à geometria do cabo longitudinal de topo são definidos a partir da regularidade do talude, onde um talude com morfologia regular possui coeficiente unitário (1,00) e taludes irregulares possuem coeficiente de redução de um inteiro e dez centésimos (1,10). Tem-se, ainda, o coeficiente de segurança para redução da resistência do cabo de aço, onde é sugerido por Maccaferri América Latina (2018, p.12) o valor mínimo de dois (2,00). E, por último, o fator de redução da resistência do aço, conforme ABNT NBR 8800/2008, e o coeficiente de redução da resistência entre nata-rocha. Este é definido por um inteiro e cinco centésimos (1,05), quando houve um ensaio de arrancamento para verificar a resistência entre nata-rocha, ou dois (2,00) quando o valor de resistência nata-rocha foi retirado da literatura indicada por Maccaferri América Latina (2018). A Figura 18 apresenta todos os coeficientes de segurança adotados no dimensionamento.

Coeficiente de segurança

Talude Rochoso

Coeficiente de segurança para cargas variáveis	1.50
Coeficiente de segurança para cargas permanentes	1.35

Malha

Coeficiente de redução da resistência da malha	2.50
--	------

Geometria do cabo longitudinal de topo

Coeficiente de redução na distância X	1.10
Coeficiente de redução na distância Y	1.10

Cabo

Coeficiente de redução da resistência do cabo	2.00
---	------

Tipo de Ancoragem

Coeficiente da resistência do aço	1.15
Coeficiente de redução para a adesão nata-rocha	2.00

Figura 12. Dados referentes aos coeficientes de segurança adotados no MacRO Studio.

Com base na Tabela 1, considerou-se tanto o nível de segurança contra danos materiais e ambientais quanto o nível de segurança contra vidas humanas do local do talude como sendo “alto”. Desta maneira todas as verificações dos elementos do sistema de malhas dimensionados teriam que obter um fator de segurança maior ou igual a 1,50. Além disso, em função da impossibilidade de se realizar ensaios para melhor definir alguns dos parâmetros

citados, os valores adotados da literatura foram os de cenários mais pessimistas para a estrutura, com intenção de penalizar os parâmetros e garantir maior grau de segurança ao processo. Por fim, após todas as abas do software serem alimentadas com os dados, realizou-se a verificação do dimensionamento.

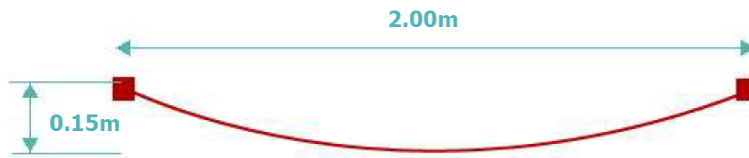
A Tabela 4 expõe as tensões solicitantes e resistentes, além dos fatores de segurança calculados pelo MacRO Studio v3.0 referente ao sistema dimensionado.

Tabela 4. Resultado das solicitações e fatores de segurança da estrutura dimensionada.

Tensão	Malha	Cabo de topo	Ancoragem Intermediária	Ancoragem lateral
Resistente (Rd)	24,00 kN/m	45,35 kN	43,86 kN	43,86 kN
Solicitante (Sd)	6,98 kN/m	28,61 kN	15,55 kN	28,61 kN
FS (Rd/Sd)	3,44	1,59	2,82	1,53

Frente aos resultados de fatores de segurança obtidos, todos foram superiores ao estabelecido (1,50). O sistema de malha obteve um FS 129% superior ao requerido, o cabo de topo 6%, a ancoragem intermediária 88% e a ancoragem lateral 2%. Visto que a malha obteve um FS superior ao dobro do necessário, poderia ser testado um sistema de malha inferior ao escolhido. Uma opção seria a malha DT (dupla torção) simples, que possui uma resistência a tração inferior a SteelGrid MO 200, o que poderia tornar o sistema ainda mais econômico. Contudo, não foi possível realizar esta verificação no presente trabalho, pois o sistema de malha adotado era o mais simples do banco de dados do software.

Com relação a ancoragem, o software ainda fornece um comprimento mínimo da barra ($\phi 20$ mm) para que o chumbamento da barra na rocha seja efetivo, ou seja, que o comprimento de ancoragem da barra seja maior que a porção instável do maciço. Este valor mínimo foi de 0,97 m, considerando um diâmetro de perfuração de 50 mm. Além disso, ele apresenta também a carga máxima admissível dos detritos e o respectivo volume que a malha suporta no pé do talude. A carga máxima admissível de detritos calculada foi de 59,23 kN/m com volume máximo de 2,36 m³. A presença dessa carga máxima de detritos na malha, através da sua distribuição de esforços - vide Figura 14 (b), acaba gerando uma espécie de catenária (flecha) no cabo de suporte. A presença dessa deformação acaba gerando as forças que serão transferidas para as ancoragens. Dito isso, o sistema também apresenta a deformação máxima atingida pelo cabo de suporte além do tamanho da corda – Figura 19.



Length of the Rope = 2.23m

Figura 13. Espaçamento entre ancoragens, comprimento da corda e deformação do cabo de suporte.

Isto posto, chega-se à conclusão que o sistema contra queda de rochas dimensionado cumpre com os objetivos ao qual foi projetado para uma vida útil de projeto de 50 anos. Lembrando que devem ser previstas manutenções preventivas constantes no sistema para a averiguação, e possível retirada, dos detritos soltos que foram contidos pela malha ao pé do talude.

A Figura 20 (a) apresenta uma obra no estado de São Paulo, num talude rochoso próximo a uma rodovia na região da cidade de Marília, onde a solução adotada foi de uma estrutura semelhante a dimensionada no presente trabalho. A Figura 20 (b) mostra a estrutura contendo os blocos de rochas soltos no pé do talude, onde, periodicamente, este material deve ser recolhido. Pode-se notar que é um sistema de execução simples, pouco robusto e que não causou danos significativos à imagem do ambiente.

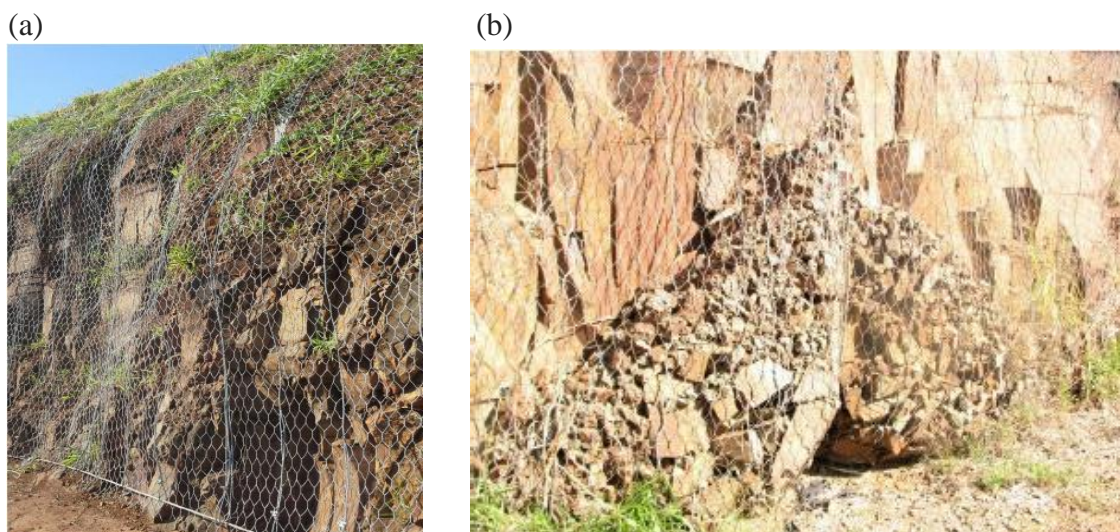


Figura 14. (a) Controle de queda de rocha de um talude na região de Marília-SP (b) Funcionamento do sistema de malhas (Fonte: MACCAFERRI AMÉRICA LATINA, 2018, p.21).



Conclusão

O presente trabalho teve como objetivo dimensionar uma estrutura de controle contra queda de rochas para o talude estudado por Zorzi e Müller (2019). As autoras classificaram um maciço rochoso da região sul de Santa Catarina através do sistema RMR. Realizou-se, então, uma pesquisa na literatura com o intuito de caracterizar um talude rochoso, seus principais tipos de ruptura e tipos de soluções que poderiam ser adotadas para a sua estabilização.

A estrutura de contenção contra quedas de rocha escolhida foi aquela que mais se adequa as características do talude rochoso estudado, a sua localização, que menos impacte visualmente o local e que forneça o fator de segurança mínimo requerido pela ABNT NBR 11682/2009. O sistema consiste em uma rede de malhas SteelGrid MO 200, com cabos de suporte de alma de aço com diâmetro de 12 mm ancorados à crista do talude por meio de barras de ancoragem de aço CA-50 de $\phi 20$ mm. Este sistema é patenteado pela empresa Maccaferri, que fornece um software para validação do dimensionamento.

Concluiu-se então, que a estrutura detalhada neste estudo foi satisfatória para a proteção da população e de danos materiais contra a queda de rochas, visto que os fatores de segurança do sistema de malhas, do cabo de suporte e das ancoragens foram superiores ao mínimo estipulado pela ABNT NBR 11682 de acordo com as características locais. Haja vista a preocupação com a poluição visual do local estudado, pois é um ponto turístico da cidade de Araranguá, entende-se que o sistema de malhas escolhido não impactará de forma expressiva a paisagem que os turistas buscam do Morro dos Conventos. Portanto, o possível impacto visual gerado será um pequeno preço a se pagar pelo elevado grau de segurança fornecido pela estrutura à população.

Citações e referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11682**: Estabilidade de encostas. Rio de Janeiro, 2009.



ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8800**: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios. Rio de Janeiro, 2008.

CAPUTO, H. P.; CAPUTO, A. N.; RODRIGUES, J. M. de A. **Mecânica dos Solos e suas aplicações: mecânica das rochas, fundações e obras de terra**. Mecânica das rochas, fundações e obras de terra. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2015. 556 p.

DAS Braja M.; SOBHAN, Khaled. **Fundamentos de engenharia geotécnica**. 9. ed. São Paulo: Cengage, 2019. 712 p. Tradução de: Principles of geotechnical engineering (9. ed.).

EUROPEAL COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **EN 1997-1**: Eurocode 7: Geotechnical design - Part 1: General rules. Brussels: CEN, 2004. 168 p. Disponível em: <<https://www.phd.eng.br/wp-content/uploads/2015/02/en.1997.2.2007-1.pdf>>. Acesso em: 11 nov. 2020.

HOEK, E.; LONDE, P. The Design of Rock Slopes and Foundations. In: CONGRESS OF THE INTERNACIONAL SOCIETY FOR ROCK MECHANICS, 3., 1974, Denver. **Anais**. Denver: ISRM, 1974. p. 12 - 13. Disponível em: <<https://www.rocscience.com/assets/resources/learning/hoek/The-Design-of-Rock-Slopes-and-Foundations-1974.pdf>>. Acesso em: 18 mar. 2020.

KANJI, M. A. Estabilidade de Taludes Rochosos em Obras Civis. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA, 13., 2006, Curitiba. **Anais**. Curitiba: ABMS, 2006. Disponível em: <http://www.portaldageotecnia.com.br/wp-content/uploads/2018/05/ESTABILIDADE-DE-TALUDES-EM-ROCHA-EM-OBRAS-CIVIS.pdf>>. Acesso em: 18 mar. 2020.

MACCAFERRI AMÉRICA LATINA (São Paulo). **Tutorial**: software MACRO 2. Jundiaí: Gruppo Industriale Maccaferri, 2018. 21 p.

MACCAFERRI DO BRASIL (São Paulo) (org.). **Sistemas contra a queda de rochas: necessidades e soluções**. Jundiaí: Gruppo Industriale Maccaferri, 2017. 20 p. Disponível em: <<https://www.maccaferri.com/br/download/tm-br-manual-obras-de-contencao-pt-feb21/?wpdmdl=7513>>. Acesso em: 15 jun. 2020.

MACCAFERRI DO BRASIL (São Paulo) (org.). **Sistemas Mac.RO**. Jundiaí: Gruppo Industriale Maccaferri, 2016. 24 p. Disponível em: <<https://www.maccaferri.com/br/download/brochure-br-sistemas-macro-pt-feb21/>>. Acesso em: 20 jul. 2020.

MACCAFERRI DO BRASIL (São Paulo). **SteelGrid®**. 2020. Disponível em: <<https://www.maccaferri.com/br/produtos/queda-de-rochas-steelgrid-e-tela-de-alta-resistencia/steelgrid/>>. Acesso em: 18 set. 2020.

MASSAD, Façal. **Obras de terra**: curso básico de geotecnia. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2010. 216 p.

NUNES, Anna Laura L. S. *et al.* Estabilização e Proteção do Morro da Mariquita: Porto Sudeste, Rio de Janeiro. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MECÂNICA DAS ROCHAS, 7.,



2016, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: SBMR, 2016. Disponível em: <<http://www.abms.com.br/anais-cobramsegsbmrgeojovem/>>. Acesso em: 18 set. 2020.

NUNES, A. L. L. da S. Convivência com Rupturas: Barreiras contra Quedas de Blocos. In: CONFERÊNCIA BRASILEIRA DE ENCOSTAS, 6., 2013, Angra dos Reis. **Anais...** Angra dos Reis: ABMS, 2013. p. 41 - 72. Disponível em: <http://www.abms.com.br/links/bibliotecavirtual/Cobrae2013/COBRAE13_Conferencias%20e%20Artigos.pdf>. Acesso em: 17 mar. 2020.

SINGH, B.; GOEL, R. K. **Engineering Rock Mass Classification**: tunneling, foundations, and landslides. Oxford: Butterworth-heinemann, 2011. 384 p. Disponível em: <https://www.academia.edu/8077630/Engineering_Rock_Mass_Classification>. Acesso em: 28 abr. 2020.

SOUSA, J. A. F. de. **A geologia da frente de túneis e suas implicações nas incertezas do cálculo do sistema Q-Barton**. 2016. 219 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2016. Disponível em: <<https://repositorio-aberto.up.pt/handle/10216/86291>>. Acesso em: 28 abr. 2020.

WYLLIE, D. C.; MAH, C. W. **Rock Slope Engineering**: civil and mining. Civil and Mining. 4. ed. Nova York: Spon Press, 2005. 456 p. Disponível em: <https://civilengineering.files.wordpress.com/2014/10/rock_slope_engineering_civil_and_mining.pdf>. Acesso em: 19 mar. 2020.

ZORZI, A. C. R. de; MÜLLER, C. R. **Aplicação do sistema RMR na avaliação de um talude sedimentar na Região Sul de Santa Catarina**. 2019. 20 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2019.