**DOI: 10.47094/COBRAMSEG2026.4/70**

# Estabilização de Taludes Rochosos e Sistema de Drenagem Superficial em Acesso à Casa de Força de Usina Hidrelétrica

Caio Duque Estrada Amendola
Líder da Célula de Infraestrutura Civil e Energia, ALTA Geotecnia Ambiental, Rio de Janeiro, Brasil, caio.amendola@altageotecnia.com

Manuella Suellen Vieira Galindo
Dir. Operações, ALTA Geotecnia Ambiental, Rio de Janeiro, Brasil, manuella.galindo@altageotecnia.com

Alvaro Viana
Diretor-Executivo, ALTA Geotecnia Ambiental, Rio de Janeiro, Brasil, alvaro.viana@altageotecnia.com

Kadson Matheus Barreiros Gomes
Geólogo, ALTA Geotecnia Ambiental, Rio de Janeiro, Brasil, kadson.gomes@altageotecnia.com

Brunella Casagrande Brunelli Santos
Engenheira Geotécnica Jr. III, ALTA Geotecnia Ambiental, Cachoeiro de Itapemirim, Brasil, brunella.casagrande@altageotecnia.com

RESUMO: O presente trabalho descreve um estudo aplicado de estabilização de taludes predominantemente rochosos adjacentes à via de acesso à Casa de Força de uma usina hidrelétrica, incluindo o desenvolvimento de um sistema de drenagem superficial complementar ao existente. Para subsidiar as análises e definir as soluções mitigadoras, foram utilizados levantamento topográfico planialtimétrico, inspeções geológico-geotécnicas detalhadas e avaliação da rede de drenagem instalada. A partir das condições mapeadas em campo e das propriedades geotécnicas do maciço, adotaram-se soluções de contenção envolvendo solo grampeado, telas metálicas com chumbadores e cortinas de encaminhamento de blocos. Para a drenagem superficial, projetou-se um conjunto de dispositivos composto por canaletas, escadas hidráulicas e caixas de passagem, implantados na porção superior do maciço para conduzir as vazões captadas a pontos específicos de deságue. Os resultados demonstram que as soluções propostas satisfazem as verificações de projeto, em conformidade com normas técnicas brasileiras aplicáveis. Ressalta-se, por fim, a importância da execução de ensaios de arrancamento para avaliar o desempenho real das contenções e aprimorar as estimativas de valores de adesão adotados na fase de projeto.

PALAVRAS-CHAVE: Estabilização de Taludes; Queda de Blocos; Telas de Alta Resistência; Solo Grampeado; Drenagem Superficial.

ABSTRACT: This paper presents an applied study on stabilization of predominantly rock slopes adjacent to an access road to a hydroelectric power plant powerhouse, including the design of a surface drainage system complementary to the existing one. To support the assessments and define mitigation measures, detailed topographic surveying, comprehensive engineering geological and geotechnical inspections, and an evaluation of the installed drainage system were carried out. Based on the field-mapped conditions and the geotechnical characteristics of the rock mass, the stabilization measures combined soil nailing, anchored high-strength wire mesh, and rockfall guiding drapery systems. Regarding surface drainage, a set of devices consisting of concrete drainage channel, stepped chutes, and junction boxes was designed and installed in the upper portion of the slope to convey the superficial water flow to predefined discharge points. The results indicate that the proposed measures meet the design verification requirements in accordance with applicable technical standards. Finally, the importance of pull-out testing is emphasized to assess the as-built performance of the anchorage systems and to refine the bond strength parameters adopted during the design stage.

KEYWORDS: Slope Stabilization; Rockfall; High-Strength Mesh; Soil Nailing; Surface Drainage.

## 1 INTRODUÇÃO

Taludes rochosos adjacentes a vias operacionais em empreendimentos hidrelétricos requerem soluções integradas de estabilização e drenagem, uma vez que processos de intemperismo, fraturamento e descompressão superficial favorecem instabilidades localizadas e queda de blocos. Em acessos a estruturas críticas, mesmo eventos de pequeno volume podem comprometer a segurança e a continuidade operacional.

Segundo Stacey (1968), diversos fatores devem ser considerados para análise da estabilidade de taludes em rocha, tais como: estruturas geológicas; o estado de tensões e as condições da água subterrânea; a resistência das descontinuidades e da rocha intacta; a geometria da escavação; as condições climáticas.

Este trabalho apresenta um estudo aplicado de mitigação de instabilidades predominantemente superficiais em taludes rochosos e de complementação de drenagem superficial, com foco em desempenho, construtibilidade e manutenção. A seleção das medidas foi baseada em inspeções geológico-geotécnicas e em base topográfica de alta resolução, permitindo setorização e definição de soluções por mecanismo predominante.

## 2 CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA E MECANISMOS DE INSTABILIDADE

O mapeamento geológico-geotécnico de taludes indicou relativa homogeneidade litológica ao longo dos trechos avaliados, com predominância de xistos micáceos foliados, caracterizados por foliação majoritariamente sub-horizontal e variação de coloração do cinza ao amarelado em função do grau de alteração. As inspeções contemplaram tanto as porções adjacentes às vias quanto os setores superiores dos taludes (Figuras 1 a 4).



Figura 1. Mapeamento geológico-geotécnico realizado nos taludes junto a via de acesso.



Figura 2. Mapeamento realizado nos trechos superiores dos taludes.




Figura 3. Caracterização tátil visual de rocha observada nos taludes junto a via de acesso.



Figura 4. Caracterização tátil visual de rocha observadas na porção superior dos taludes.

Embora os materiais compartilhem a mesma gênese, as diferenças de comportamento registradas decorrem principalmente de variações locais na densidade, orientação e persistência das descontinuidades, bem como no grau de intemperismo.

De modo geral, conforme apresenta pela Figura 5, observa-se rocha pouco alterada a moderadamente alterada nos trechos adjacentes às vias, com evolução para níveis mais intemperizados e presença de solo residual jovem nas porções superiores, refletindo controles estruturais e geomorfológicos locais (DEARMAN, 1974; HOEK E BRAY, 1981; WYLLIE E MAH, 2004).

Do ponto de vista de processos instabilizantes, a proximidade entre taludes rochosos e a infraestrutura de acesso, associada a perfis de solo pouco espessos, indica que a queda de blocos constitui o mecanismo de maior relevância em termos de risco à via. Assim, as soluções de estabilização foram definidas por trecho, considerando o tipo de material, o grau de alteração do maciço e o padrão de fraturamento observado.

Como implicações para projeto, conclui-se que as soluções de estabilização contemplaram, de forma integrada, trechos em rocha e em solo, uma vez que ambos ocorrem ao longo dos perfis de alteração. Intervenções em maciço rochoso são mais extensas em termos de área, dada a predominância de afloramentos e cortes rochosos junto às vias. Ainda que a litologia seja homogênea, o tratamento em rocha foi necessariamente setorizado, com ajuste trecho a trecho em função do grau de alteração do maciço e das características do arcabouço estrutural. Logo, essa interpretação direcionou a adoção de soluções de contenção superficial e passiva em rocha, complementadas por solução ativa em trechos em solo.

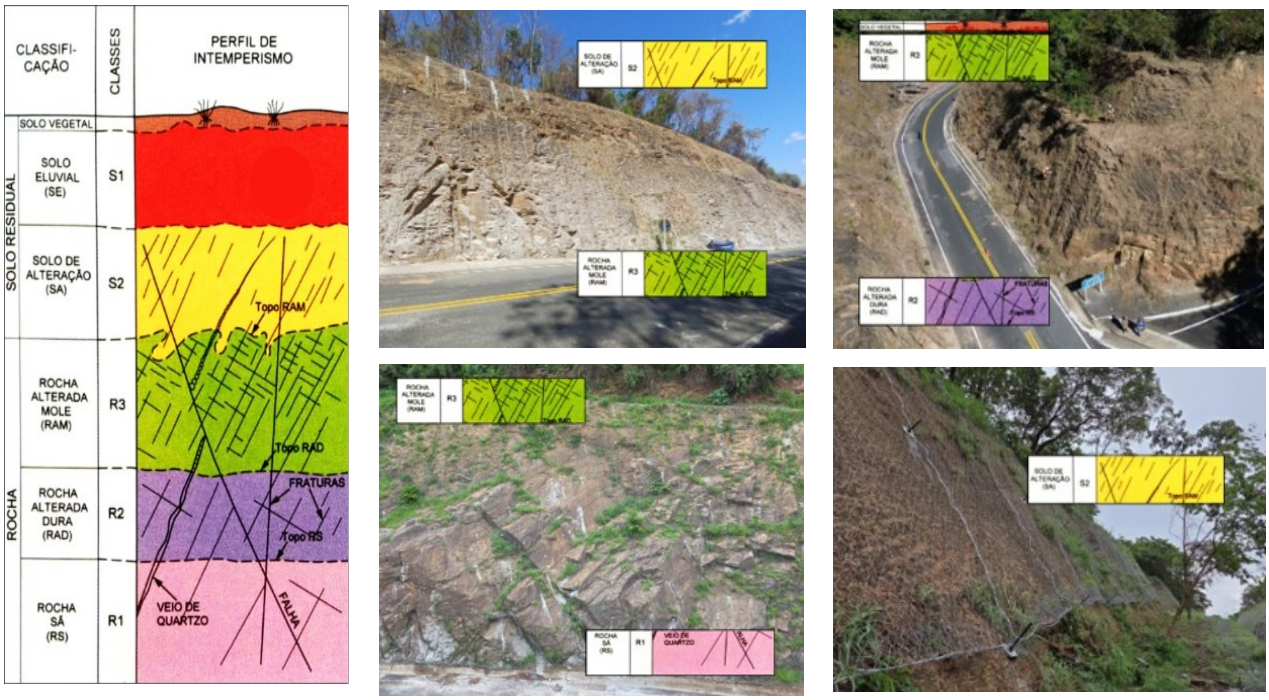



Figura 5. Classificação dos materiais observados na vistoria de acordo com o esquema de perfis de intemperismo proposto por Vaz (1996).

## 3 SOLUÇÕES DE ESTABILIZAÇÃO

Com base nas condições geológico-geotécnicas e na morfologia do terreno, foram definidas soluções integradas de contenção e drenagem superficial, com adaptação por trechos conforme o perfil de alteração e o grau de fraturamento do maciço. Nos setores com materiais mais intemperizados, adotou-se estabilização por solo grampeado com tratamento superficial em face vegetada associada a telas metálicas ancoradas, complementada por biomanta. Em trechos rochosos e/ou mais fraturados, priorizou-se telamento metálico ancorado e dispositivos de encaminhamento ou retenção de blocos. A drenagem superficial foi concebida para condução segura das águas pluviais, minimizando infiltração e erosão como medida complementar à estabilidade.

### 3.1 Solo grampeado e proteção superficial

Diante das condicionantes geológico-geotécnicas identificadas em campo, incluindo as propriedades dos materiais e os mecanismos de instabilização predominantes, adotou-se a estabilização por solo grampeado com face vegetada na bancada superior do maciço. Após a limpeza e regularização da área, o sistema foi executado por meio de perfurações no terreno, instalação de barras de aço e posterior injeção com calda de cimento, resultando em grampos com carga de trabalho especificada de 100 kN e comprimentos entre 3 e 8 m.

A premissa de desempenho do sistema está associada, de forma direta, ao comportamento na interface solo-reforço, expresso pela adesão (qs), cuja variabilidade depende de fatores executivos, como perfuração, limpeza do furo e processo de injeção, reforçando a importância do controle tecnológico por ensaios de arrancamento para verificação do desempenho em campo e calibração das hipóteses (AMENDOLA, PINTO e VIANA, 2022; PINTO, AMENDOLA e SILVA, 2024).

Para a proteção superficial, especificou-se geocomposto reforçado com malha metálica hexagonal de dupla torção, visando ao confinamento superficial, ao controle de erosão e ao suporte ao estabelecimento de cobertura vegetal. Essa solução favorece o recobrimento progressivo do talude ao longo do tempo, contribuindo para o desempenho do sistema e para a integração visual da estrutura ao ambiente, conforme indicado na Figura 6.

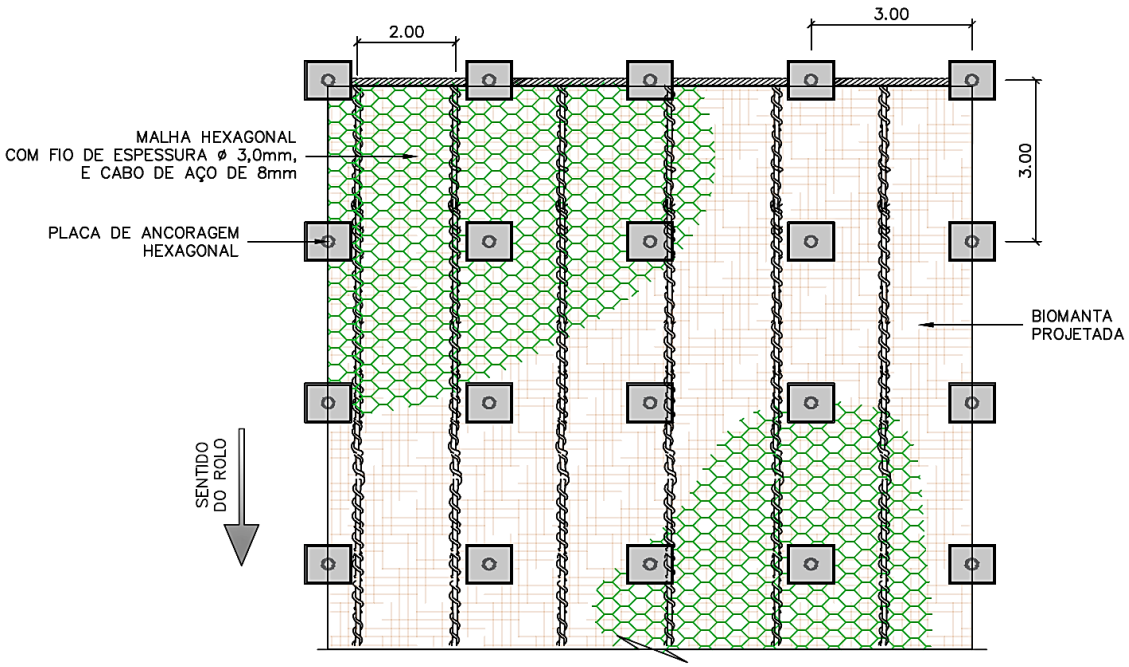



Figura 6. Esquema em vista frontal da solução de estabilização por solo grampeado com face vegetada.

### 3.2 Cortina de encaminhamento de blocos

Conforme a análise realizada, os riscos geotécnicos identificados associam-se predominantemente a processos de instabilização superficial e desprendimento de blocos isolados, não havendo indícios de mecanismos de ruptura global. Nesse contexto, adotou-se a cortina de encaminhamento como medida de mitigação para quedas de blocos rochosos, indicada para situações em que se espera baixa a moderada energia cinética dos fragmentos instabilizados (TURNER E SCHUSTER, 1996; WYLLIE E MAH, 2004).

O sistema tem por finalidade interceptar os blocos, controlar sua trajetória e conduzi-los ao longo da face do talude, no espaço entre a malha e o maciço rochoso, até uma zona de captação previamente definida na base do talude, adjacente à via. Ressalta-se que o desempenho do dispositivo depende de inspeções periódicas e da remoção dos blocos eventualmente acumulados atrás da cortina e na área de deposição, a fim de preservar a capacidade de encaminhamento e evitar sobrecargas localizadas.

A solução executiva empreada consiste em malha metálica fixada na crista do talude por cabos de aço e chumbadores ancorados no maciço rochoso, com espaçamento médio da ordem de 2,0 m, proporcionando o encaminhamento controlado dos blocos instabilizados, conforme apresentado na Figura 7.

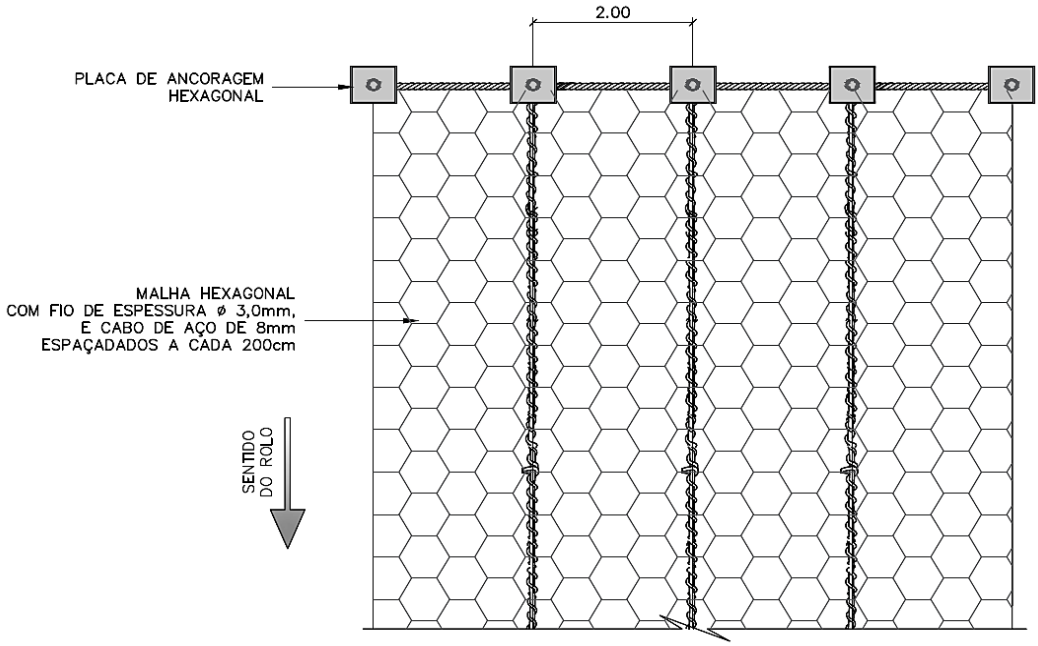



Figura 7. Esquema em vista frontal da cortina de encaminhamento de blocos rochosos.

### 3.3 Entelamento metálico com chumbadores

Visando-se estabilizar trechos de talude rochoso e reduzir o risco de deslocamento de blocos, adotou-se o telamento metálico ancorado por chumbadores (Figura 8). Trata-se de um sistema de contenção passiva, cujo mecanismo de atuação baseia-se no confinamento e na retenção de blocos potencialmente mobilizáveis por desplacamento e instabilizações superficiais, limitando sua projeção e mantendo-os aderidos à face do maciço.

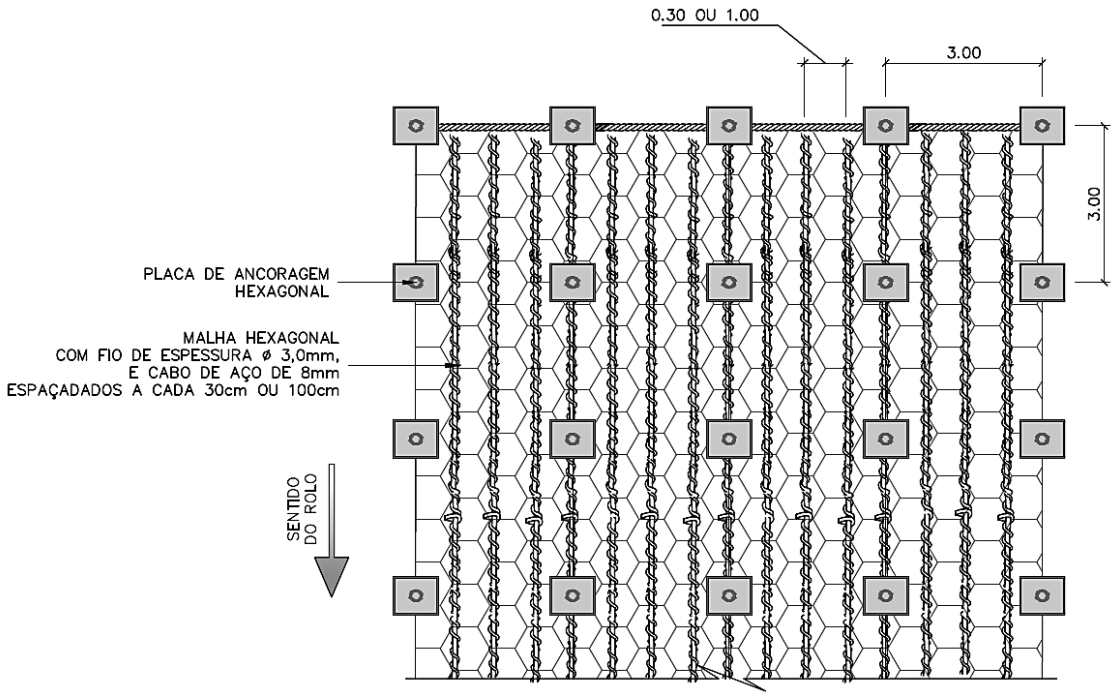



Figura 8. Esquema em vista frontal do sistema de entelamento metálico ancorado por chumbadores.

O sistema é composto por telas metálicas de alta resistência fixadas ao maciço por chumbadores ancorados, com comprimentos típicos variando entre 2 e 6 m, associados a placas de ancoragem para adequada distribuição de tensões no paramento. As junções das telas e o perímetro da área tratada são delimitados e reforçados por cabos de contorno devidamente ancorados, assegurando a continuidade estrutural do conjunto e a transferência eficiente de esforços ao maciço rochoso.

As distâncias entre os cabos de aço foram condicionadas às variações nas características das rochas, principalmente nas variações na densidade das descontinuidades e no grau de intemperismo que ocorrem localmente, coforme apresentado na Figura 9.

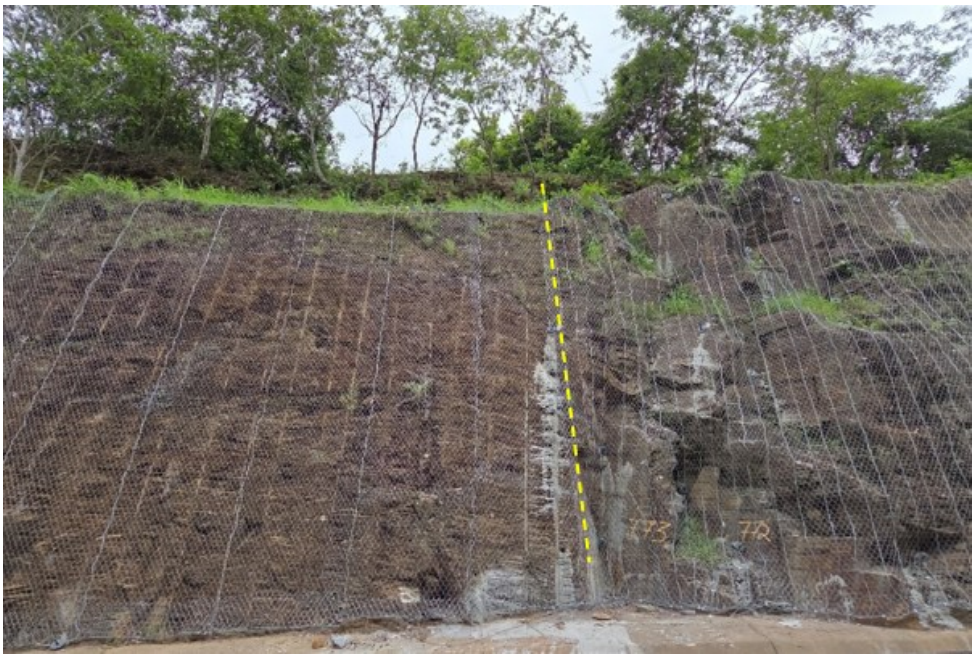


Figura 9. Destaque para trecho com diferença de densidade de descontinuidades, com maior fraturamento observada no trecho à direita em relação ao trecho à esquerda.

## 4 SISTEMA DE DRENAGEM SUPERFICIAL

O sistema de drenagem superficial é composto por dispositivos em concreto armado, incluindo canaletas retangulares, caixas de passagem e descidas hidráulicas em degraus, dimensionados para tempo de recorrência de 10 anos. Os elementos foram implantados com o objetivo de disciplinar o escoamento pluvial (DNIT, 2006).

O empreendimento apresenta um trecho crítico quanto à declividade, com extensão horizontal aproximada de 43 m e desnível da ordem de 18 m. Para mitigar essa condição, adotou-se um sistema não convencional de descidas d'água em seção retangular, interligadas por caixas de passagem e por canaletas providas de camada de material pétreo fixada à base, com o objetivo de aumentar a rugosidade do escoamento (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**).

Executou-se na base das canaletas uma camada de pedra de mão irregular, com dimensões típicas entre 15 e 20 cm, com fixação em concreto (fck ≥ 20 MPa) e recobrimento em concreto com espessura de 10 cm. O uso dessa camada visou elevar a rugosidade da canaleta, aumentando o coeficiente de Manning, típico de estruturas em concreto, de 0,022 para 0,024, conforme critérios usuais de dimensionamento e verificação hidráulica de canais revestidos.

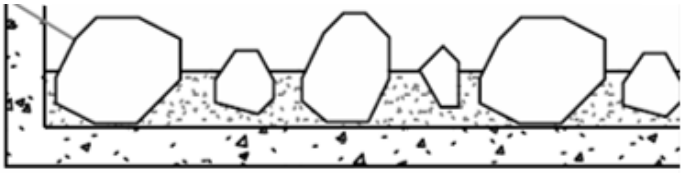


Figura 10. Croqui esquemático da fixação da camada de pedra de mão na base das canaletas.

## 5 CONCLUSÕES

O estudo evidenciou que a integração entre sistemas de contenção e drenagem superficial é determinante para o desempenho, a segurança operacional e a durabilidade de taludes em maciços heterogêneos. A setorização do maciço, baseada na caracterização geológico-geotécnica e na identificação do mecanismo instabilizante dominante, possibilitou a seleção racional de soluções, combinando medidas passivas em trechos rochosos para mitigação de quedas de blocos com soluções ativas em setores em solo, resultando em melhor adequação técnica e otimização das intervenções. De forma complementar, o sistema de drenagem superficial mostrou-se essencial para o disciplinamento do escoamento pluvial, redução de processos erosivos e preservação do desempenho global das obras.

Como recomendações, destaca-se a necessidade de controle tecnológico sistemático, com ensaios de arrancamento em chumbadores e grampos para verificação do desempenho em campo e eventual calibração de parâmetros de aderência uma vez que são determinantes na concepção e validação de estruturas grampeadas. Recomenda-se, ainda, a implementação de um plano de inspeções periódicas e manutenção preventiva do sistema de drenagem, contemplando limpeza de canaletas e caixas, remoção de materiais acumulados e vistorias pós-eventos pluviométricos, de modo a assegurar a continuidade hidráulica e minimizar riscos de degradação e instabilidades localizadas.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à ALTA Geotecnia Ambiental pela confiança depositada e pela disponibilização dos recursos necessários para a elaboração deste artigo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Amendola, C. D. E.; Pinto, J. P. C.; Viana, A. F. (2022) Resistência ao arrancamento de tirantes e microestacas em solo residual e gnaisse da Suíte Rio de Janeiro. In: Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas - VIII COBRAE, Recife, Brasil. *Anais...* ABMS. Volume único.

Dearman, W.R. (1974) Weathering classification in the characterization of rock for engineering purposes. Bulletin of the International Association of Engineering Geology, 9, p. 33–42.

Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (2006). Manual de Drenagem de Rodovias (Publicação IPR 724). Rio de Janeiro: IPR/DNIT. Disponível em: https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-manuais/vigentes/724_manual_drenagem_rodovias.pdf. Acesso em: 24 fev. 2026.

Hoek, E.; Bray, J. W. (1981) *Rock Slope Engineering,* 3rd ed. Institution of Mining and Metallurgy, London, UK.

Pinto, J. P. C.; Amendola, C. D. E.; Silva, T. P. (2024) Resistência ao arrancamento de grampos executados em solo mobilizado e solo residual no município de Duque de Caxias-RJ. In: Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica – XXI COBRAMSEG 2024, Balneário Camboriú, Brasil. *Anais...* ABMS. Volume único.

Stacey, T. R. (1968) *Stability of Rock Slopes in Open Pit Mines*. National Mechanical Engineering Research Institute, Council for Scientific and Industrial Research - CSIR. Report MEG 737, Pretoria, South Africa.

Turner, A.K.; Schuster, R.L. (eds.) (1996) *Rockfall: characterization and control.* Washington, DC: Transportation Research Board, National Research Council. (Special Report 247).

Vaz, L. F. (1996) Classificação Genética dos Solos e dos Horizontes de Alteração de Rocha em Regiões Tropicais. *Solos e Rochas*, 19 (2), p.117-136.

Wyllie, D. C.; Mah, C. W. (2004) *Rock Slope Engineering: Civil and Mining*, 4th ed., Spon Press, London, UK, 431 p.