

MAPEAMENTO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO APLICADO À CLASSIFICAÇÃO DE MACIÇOS ROCHOSOS EM TALUDE DE CORTE NA BR-470 (SALVADOR DO SUL/RS): SUBSÍDIOS PARA PROJETOS DE CONTENÇÃO PÓS-DESLIZAMENTO NAS ENCHENTES DE MAIO DE 2024 NO RS

Lucas Rafael Norenberg BARBOSA¹; Adriely Scheffer ARBOITE²

Resumo – As enchentes de maio de 2024 no Rio Grande do Sul provocaram diversos deslizamentos e quedas de barreira em rodovias da Serra Gaúcha, afetando severamente taludes rochosos de corte. Este trabalho apresenta o mapeamento geológico-geotécnico do talude localizado no km 261 da BR-470, em Salvador do Sul/RS, com o objetivo de subsidiar decisões em projetos de contenção. A metodologia envolveu a caracterização de afloramentos, descrição de descontinuidades pelo método scanline e aplicação da classificação RMR de Bieniawski. O maciço foi subdividido em cinco seções, variando de classe 2 (boa qualidade) a classe 3 (qualidade justa), com destaque para a influência da concentração de água como fator de instabilização.

Abstract – The May 2024 floods in Rio Grande do Sul triggered multiple landslides and slope failures along highways in the Serra Gaúcha region, severely impacting road cut rock slopes. This study presents the geological-geotechnical mapping of the slope located at km 261 of BR-470, in Salvador do Sul/RS, aiming to support engineering decisions for slope stabilization. The methodology included outcrop analysis, discontinuity description using the scanline method, and rock mass classification via Bieniawski's RMR system. The rock mass was divided into five sections, ranging from class 2 (good quality) to class 3 (fair quality), highlighting the role of concentrated water flow as a destabilizing factor.

Palavras-Chave – RMR, BR-470, geotecnia, deslizamento, mapeamento geológico, taludes rochosos.

¹ Geól, Msc, Arcgeo Geologia e Meio Ambiente, (51) 997019376, contato@arcgeogeologia.com.br

² Geól, Arcgeo Geologia e Meio Ambiente, (51) 999410910, arboite.adriely@gmail.com

1. INTRODUÇÃO

A partir dos eventos das enchentes de maio de 2024 no RS, observaram-se diversas quedas de barreira e deslizamentos nas rodovias da Serra Gaúcha. Dentre essas ocorrências, registraram-se sérios danos em taludes rochosos de cortes de estrada, entre os quais se destaca o talude do maciço rochoso no km 261 da BR-470, localizado no município de Salvador do Sul/RS (Figura 1). Com o deslizamento de parte desse talude, ocorreu em 01/05/2024, foi estudada a solução de contenção mais adequada. Para isso, realizou-se um mapeamento e diagnóstico geológico-geotécnico, com descrição litológica e de discontinuidades, a fim de subsidiar as equipes de engenharia na escolha da técnica mais apropriada para contenção.

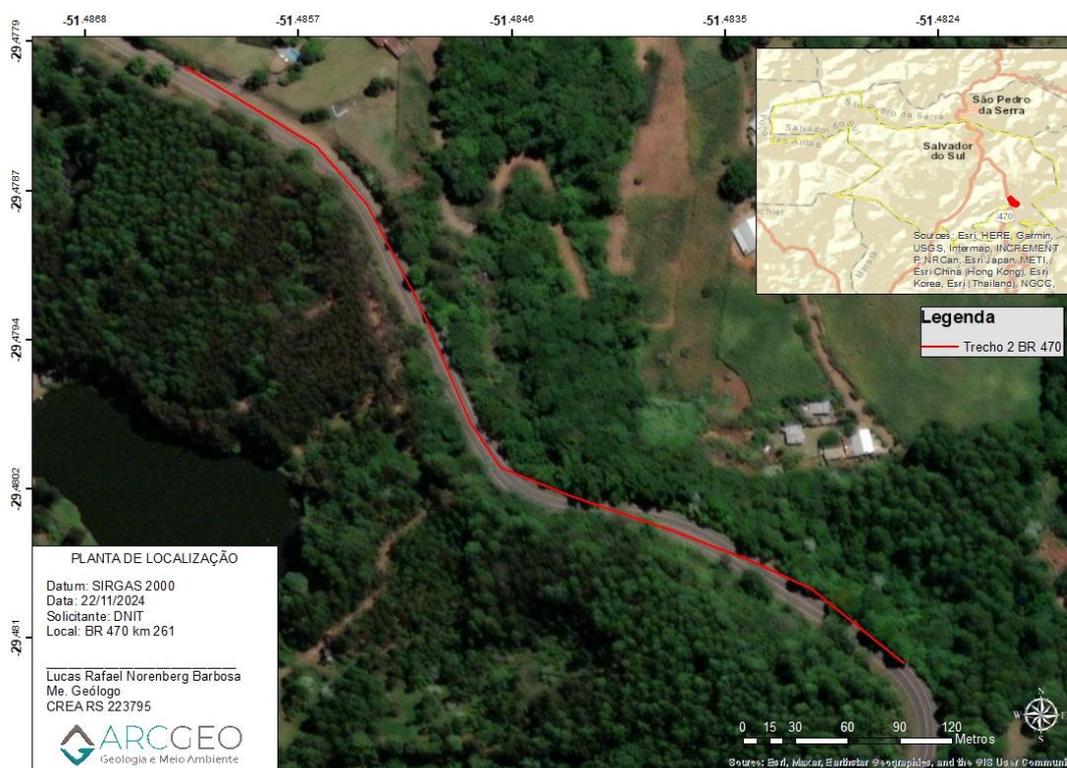


Figura 1. Localização da área de estudo.

2. METODOLOGIA

Para o mapeamento geotécnico, utilizou-se a análise dos afloramentos dos maciços rochosos presentes no local, considerando a dificuldade técnica e logística para a execução de sondagens na área de interesse. Assim, os afloramentos foram analisados por meio de técnicas de descrição litológica, avaliação do grau de alteração, resistência, e caracterização das discontinuidades através do método scanline, que contempla fatores como orientação, espaçamento, persistência, abertura, preenchimento, rugosidade e famílias de discontinuidades. O produto foi a classificação do maciço segundo o sistema RMR (Rock Mass Rating).

3. CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA DA ÁREA DE ESTUDO

O maciço apresenta entre 5 e 20 m de altura e aproximadamente 450 m de extensão, subdividido em cinco seções conforme observações de campo (Figura 2). As seções 1, 3 e 5 contêm maciços mais íntegros e menos intemperizados, enquanto a seção 4 exhibe predomínio de

saprólito. O fraturamento vertical intenso é observado na seção 1, ao passo que as seções 2 e 3 apresentam maiores espaçamentos entre descontinuidades, com blocos mais volumosos. Surgências de água concentrada ocorrem exclusivamente na seção 2 (Figura 3).

Os maciços são compostos, em sua maioria, por basaltos do Grupo Serra Geral e Formação Gramado. No entanto, há acréscimo de rochas ácidas nas seções 2, 3, 4 e 5, com presença mais constante de dacitos e riodacitos, que apresentam bandamentos, texturas de fluxo e preenchimentos. Observa-se ainda que essas rochas mais ácidas possuem grau de fraturamento menor, com menor quantidade de descontinuidades e maiores blocos únicos (Figura 4).

Quanto aos recursos hídricos, há uma saída de água proveniente da eclusa de um açude na porção superior do talude, originada por efluentes de aviários e indústrias a noroeste da área de interesse. Essa situação já está representada em cartas topográficas do Exército atualizadas, mas não constava nas cartas datadas de 1977, época em que a rodovia já existia no local. Isso pode explicar a ocorrência de quedas e deslizamentos, devido à concentração de água em um ponto não previsto no projeto original da rodovia (Figura 5).

Em relação às declividades e cotas do terreno, os levantamentos indicam talude com desnível de até 20 metros e declividade média que pode chegar a 80°. Localmente, identificam-se pontos com inclinação negativa, os quais não puderam ser detalhados neste levantamento.



Figura 2. Subdivisões das seções de mapeamento dos maciços.

A)



B)

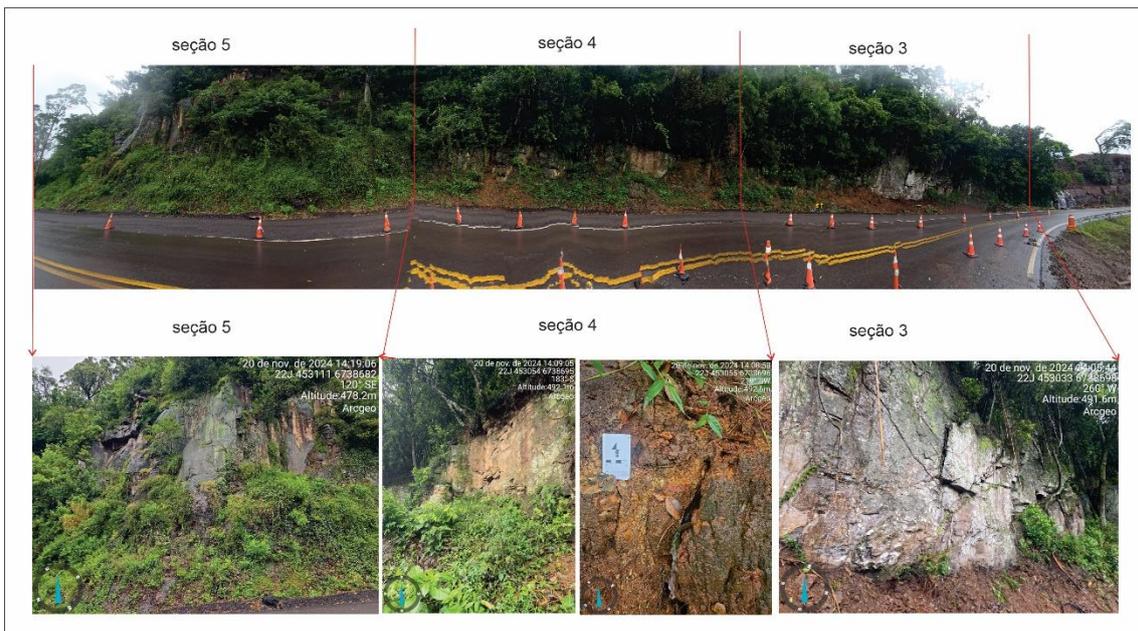


Figura 3. A) Seções 1 e 2 observadas da jusante para a montante; B) Seções 3, 4 e 5 observadas da jusante para a montante.

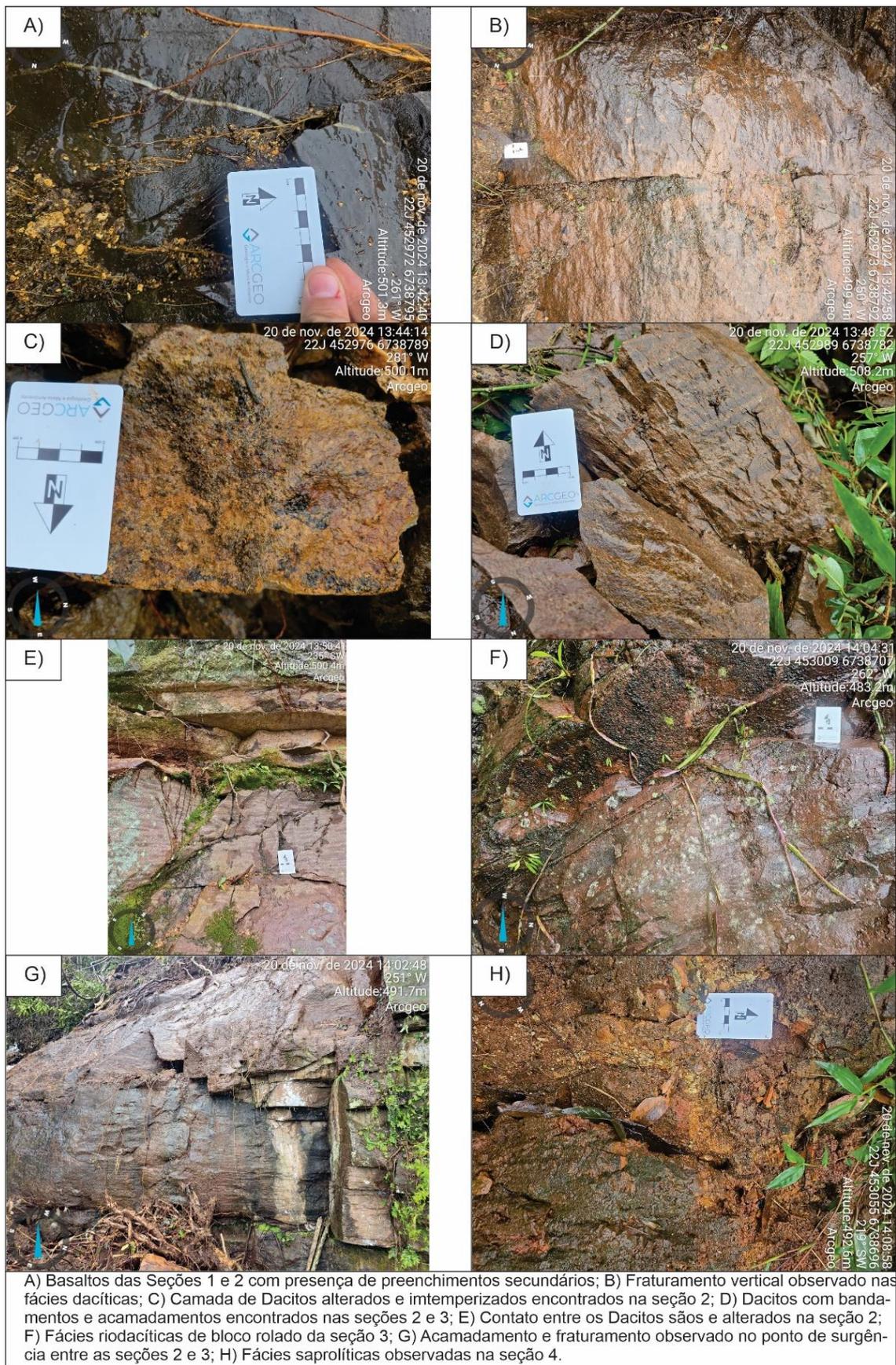


Figura 4. Amostras dos afloramentos do maciço rochoso no trecho estudado

A)



B)

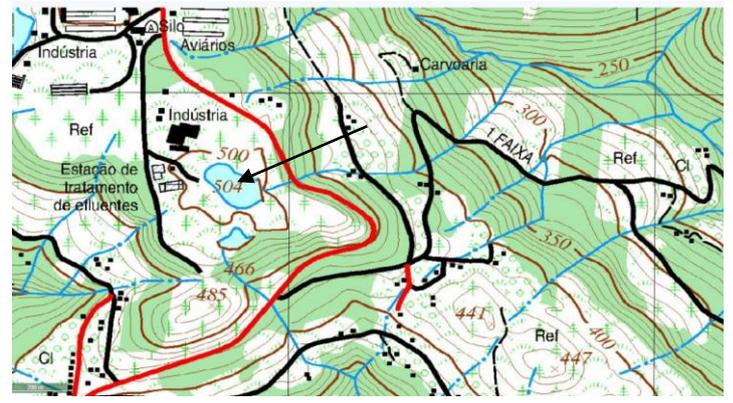
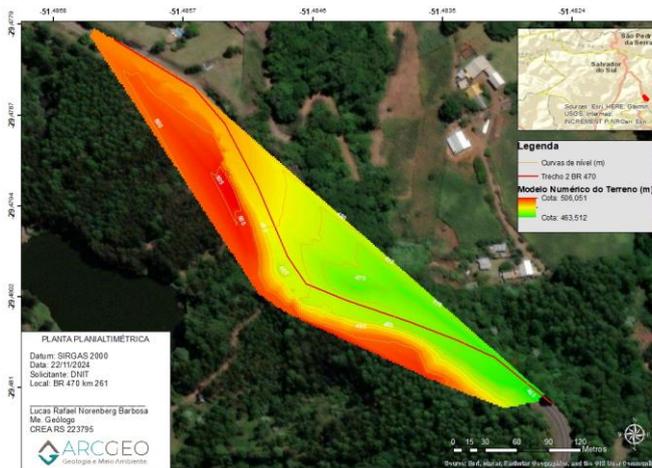


Figura 5. Cartas topográficas do exército de 1977 (A) e de 2024 (B), que mostram a inclusão do açude da indústria com a saída de água para leste que não existia anteriormente

A)



B)



Figura 5. A) Modelo Numérico do Terreno da área de estudo; B) Mapa de declividades da área de estudo

3.1 Descontinuidades

Foram identificadas diversas descontinuidades verticais, com expressivo fraturamento na forma de disjunções colunares, distribuídas em 3 (três) famílias (Família F1 direção ~045°/ mergulho ~85°; Família F2 direção ~135°/ mergulho ~75°; Família F3 direção ~270°/ mergulho ~10°). As medições de direção e mergulho foram realizadas conforme a metodologia scanline em 42 pontos, além do espaçamento, preenchimento, abertura e rugosidade, completando os critérios exigidos para a classificação RMR.

O diagrama de polos (densidade) foi gerado em software estereográfico, evidenciando as concentrações de polos correspondentes às três famílias (Figura 6). Com base nessas medições e utilizando a fórmula de Bieniawski, calculou-se o RQD do maciço em cada seção:

$$RQD = 110,4 - 3,68 \times \lambda$$

$$RQD1 = 73,6 \quad RQD2 = 84,64 \quad RQD3 = 95,68 \quad RQD4 = 73,6 \quad RQD5 = 95,68$$

Frequências:
 Seção 1 – 10
 Seção 2 – 7
 Seção 3 – 4
 Seção 4 – 10
 Seção 5 – 4

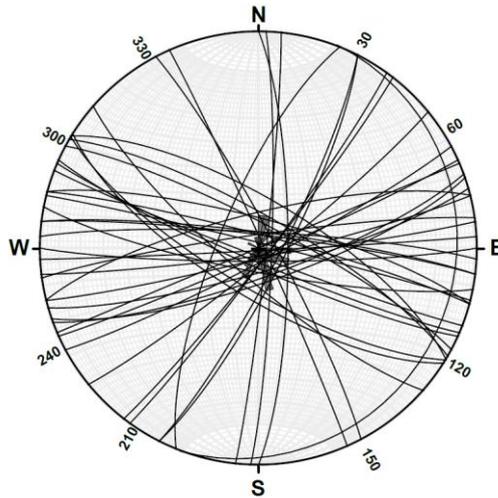


Figura 6. Diagrama de concentração de polos das discontinuidades, com definição das famílias de fraturas F1, F2 e F3.

3.2 Análise Cinemática de Estabilidade de Taludes

Com base nas orientações das discontinuidades e na geometria do talude (inclinação média de 80°), foi realizada análise cinemática para avaliação dos possíveis tipos de ruptura (planar, cunha e tombamento). Os principais resultados indicam:

- Ruptura planar ao longo da família F1 em áreas da seção 2, devido ao mergulho semelhante ao ângulo de talude;
- Ruptura em cunha formada pela interseção de famílias F1 e F2 nas seções 1 e 4;
- Tombamento relacionado à família F3 nas seções 3 e 5, considerando a orientação quase horizontal dessas fraturas.

4. CLASSIFICAÇÃO DE RMR

A partir da descrição dos maciços em afloramento e dos parâmetros obtidos com o método scanline, foi possível aplicar a classificação RMR conforme os critérios estabelecidos por Bieniawski. Os valores utilizados estão apresentados na Tabela 1.

Os somatórios de RMR foram: Seção 1 – 58, Seção 2 – 56, Seção 3 – 82, Seção 4 – 48, e Seção 5 – 82. As seções 3 e 5 foram classificadas como classe 2 (boa qualidade), enquanto as seções 1, 2 e 4 foram classificadas como classe 3 (qualidade justa).

Com base na tabela de conversão de RMR, os maciços das seções 3 e 5 possuem coesão estimada entre 300 a 400 kPa, enquanto os das seções 1, 2 e 4 variam entre 200 a 300 kPa.

Tabela 1. Classificação do RMR e RATING em cada uma das seções

CLASSIFICAÇÃO DE RMR					
	SEÇÃO 1	SEÇÃO 2	SEÇÃO 3	SEÇÃO 4	SEÇÃO 5
GRAU DE ALTERAÇÃO	100 - 250 Mpa Very Strong Rock	50 - 100 Mpa Strong Rock	100 - 250 Mpa Very Strong Rock	5 - 25 Mpa Weak Rock	100 - 250 Mpa Very Strong Rock
ORIENTAÇÃO DAS DESCONTINUIDADES	sudeste - nordeste	sudeste - nordeste	sudeste - nordeste	sudeste - nordeste	sudeste - nordeste
ESPAÇAMENTO DAS DESCONTINUIDADES	10 - 30 cm	1 - 3 m	1 - 3 m	10 - 30 cm	1 - 3 m
RQD	73,6	84,64	95,68	73,6	95,68
PERSISTÊNCIA DAS DESCONTINUIDADES	1 - 3 m	3 - 10 m	3 - 10 m	1 - 3 m	3 - 10 m
ABERTURA DAS DESCONTINUIDADES	0,5 a 1 cm	1 - 20 cm	1 - 20 cm	1 - 20 cm	1 - 20 cm
PREENCHIMENTO DAS DESCONTINUIDADES	Medium Strong rock	Medium Strong rock	Medium Strong rock	Medium Strong rock	Medium Strong rock
RUGOSIDADE	Planar rugora	Planar rugora	Planar rugora	Planar rugora	Planar rugora
ALTERAÇÃO DAS PAREDES	Fresh	Discoloured	Fresh	Decomposed	Fresh
PONTUAÇÃO RMR					
Parâmetros	SEÇÃO 1	SEÇÃO 2	SEÇÃO 3	SEÇÃO 4	SEÇÃO 5
Resistência	12	7	12	2	12
RQD	13	17	20	13	20
Espaçamento	8	15	20	8	20
Condição das descontinuidades	23	18	20	15	20
Água subterrânea	7	4	15	15	15
Orientação das descontinuidades	-5	-5	-5	-5	-5
SOMATÓRIO TOTAL	58	56	82	48	82

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir do mapeamento e da descrição geotécnica realizada no maciço rochoso, chegou-se à classificação final do RMR: classe 2 para as seções 3 e 5 e classe 3 para as seções 1, 2 e 4. Isso indica que os maciços nas seções 3 e 5 apresentam boa qualidade, enquanto os das demais

seções possuem qualidade justa. Em função disso, recomenda-se a adoção de contenções mais robustas nas seções 1, 2 e 4.

Além disso, observou-se que o principal fator de instabilização foi a presença de água concentrada em um único ponto, resultante da drenagem inadequada proveniente de efluentes industriais e agroindustriais. Tal situação reforça a necessidade de intervenções no sistema de drenagem, especialmente com a implantação de drenos horizontais profundos e escadarias hidráulicas, notadamente na área da seção 3.

A Tabela 2 resume as classificações obtidas e as recomendações técnicas propostas para cada seção do talude:

Tabela 2. Resumo das classificações RMR e recomendações por seção

Seção	Classe RMR	RQD	Qualidade do Maciço	Ações Recomendadas
1	3	73,6	Justa	Contenção ativa com drenagem superficial e profunda
2	3	84,64	Justa	Contenção com grampos e readequação da drenagem
3	2	95,68	Boa	Monitoramento e reforço de drenagem superficial
4	3	73,6	Justa	Contenção reforçada e controle rigoroso de drenagem
5	2	95,68	Boa	Manutenção preventiva e drenagem supervisionada

Recomenda-se ainda a implementação de um programa de monitoramento geotécnico contínuo, com a instalação de instrumentos como inclinômetros e piezômetros, para acompanhamento das condições de estabilidade ao longo do tempo. Tal ação é especialmente importante considerando a possibilidade de reativação de movimentos induzidos por eventos extremos de precipitação.

As informações obtidas neste estudo geológico-geotécnico são fundamentais para o embasamento técnico de soluções de engenharia mais eficazes, com vistas à estabilização definitiva do talude e à prevenção de novos deslizamentos.

REFERÊNCIAS

ABGE – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL. Geologia de engenharia. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2010. 472 p

BIENIAWSKI, Z. T. Engineering rock mass classifications: a complete manual for engineers and geologists in mining, civil, and petroleum engineering. New York: Wiley, 1989.

CAVALCANTI, M. M. Estabilização de encostas com proteção superficial e drenagem superficial e profunda. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2017.

CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2012. Escala 1:750.000.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). Dados pluviométricos históricos e recentes para o município de Bento Gonçalves - RS. Disponível em: <https://www.inmet.gov.br>. Acesso em: abr. 2025.

FERREIRA, D. R. et al. Tendência do aumento de chuvas e suas implicações na estabilidade de encostas no sul de Santa Catarina. Revista TecnoAmbiente, v. 21, n. 1, p. 45-56, 2019. Disponível em: <https://periodicos.unesc.net/ojs/index.php/tecnoambiente/article/view/5408>. Acesso em: 11 abr. 2025.

MILANI, E. J. Evolução tectono-estratigráfica da Bacia do Paraná e seu relacionamento com a geodinâmica fanerozoica do Gondwana Sul-Occidental. 2007. 255 f. Tese (Doutorado em Geociências) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

WILDNER, W. et al. Projeto Geologia do Brasil: Mapeamento Geológico da Folha Caxias do Sul (SG.22-Z-C-II). Porto Alegre: CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 2014. 148 p. Escala 1:100.000.

SOUZA, D. C.; VIEIRA, B. C.; PINTO, L. F. G. Deslizamentos induzidos por chuvas no Brasil: causas, impactos e estratégias de mitigação. Revista Brasileira de Geomorfologia, v. 19, n. 4, p. 811-829, 2018.

TUCCI, C. E. M. Hidrologia: ciência e aplicação. 5. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2018. 943 p.