

Comparação entre os Sistemas de Classificação SMR e SSPC em um Talude de Siltito Brando da Bacia do Itajaí em Gaspar - SC

Vinícius Freire Hikel

Hidrogeólogo, Water Services and Technologies, Florianópolis, Brasil, hickel.vinicius@gmail.com

Murilo da Silva Espíndola

Docente, UFSC, Florianópolis, Brasil, murilo.espindola@ufsc.br

Ian Kanji Nunes Yonezawa

Geólogo Geotécnico, DAM Projetos de Engenharia, Belo Horizonte, Brasil, ian.yonezawa@dam.com.br

Mateus Zanini Broetto

Geólogo Geotécnico, UFOP, Ouro Preto, Brasil, mateus.broetto@aluno.ufop.edu.br

RESUMO: A estabilidade de taludes rochosos é determinada pela relação entre a resistência da rocha intacta e as características estruturais do maciço. A região do Vale do Itajaí, em Santa Catarina, tem extenso histórico de deslizamentos, inclusive de rupturas planares, muitos dos quais às margens de rodovias importantes. A proposta deste estudo consistiu na avaliação da estabilidade de um talude de rocha, composto por siltito intensamente alterado, localizado às margens da BR-470 em Gaspar. Portanto, foram realizadas análises cinemáticas e por sistemas de classificação de maciços: *Slope Mass Rating* (SMR) e *Slope Stability Probability Classification* (SSPC). Com essas avaliações, foi possível investigar a influência dos fatores estruturais e da resistência da litologia na estabilidade do talude. Os resultados de SMR e SSPC foram comparados, visto que a primeira tem utilização consolidada em diferentes regiões do mundo e a segunda ainda não foi devidamente testada em contextos distintos da qual foi desenvolvida. Como avaliação preliminar, a análise cinemática indicou instabilidade para rupturas planares e em cunha, as análises SMR resultaram em valores baixos, que indicam falhas por diversos modos, enquanto que SSPC indicou a probabilidade de 70% para ruptura planar e de 95% para tombamento de blocos. Desta forma, as verificações concordam quanto à extrema instabilidade do talude, ainda que com diferenças quanto aos mecanismos.

PALAVRAS-CHAVE: Estabilidade de taludes rochosos, Análise cinemática, Slope Mass Rating (SMR), Slope Stability Probability Classification (SSPC).

ABSTRACT: Rock slope stability is determined by the relationship between the intact rock strength and the structural features of the rock mass. The Itajaí Valley region, in the state of Santa Catarina, Brazil, has a long history of landslides, including planar failures, many of which at the margins of important highways. This study aims to evaluate the stability of a rock slope, composed by highly weathered siltite, located at the margins of BR-470 in Gaspar. Therefore, Kinematic analysis, Slope Mass Rating (SMR) and Slope Stability Probability Classification (SSPC) were performed, and by these assessments, the investigation of the influence of structural features and of the intact rock strength was made possible. The results of SMR and SSPC were compared, given that the first is widely adopted throughout the world and the second was not yet properly tested in different climatic contexts than those of Europe. As a preliminary assessment, kinematic analysis indicated instability to planar and wedge failures, the SMR analyses resulted in low values, which denoted many types of failures, while the results of SSPC showed a probability of 70% for planar failures and of 95% for toppling. In this manner, the analyses agree about the extreme instability of the slope, although with differences regarding mechanisms.

KEYWORDS: Rock slope stability, Kinematic analysis, Slope Mass Rating (SMR), Slope Stability Probability Classification (SSPC).

1 INTRODUÇÃO

Desastres naturais relacionados a deslizamentos são comuns na região litorânea de Santa Catarina e no Vale do Itajaí, cujos fatores deflagrantes podem ser taludes rochosos compostos por litologias com alto grau de intemperismo e geologia estrutural desfavoráveis a estabilidade. Portanto, o entendimento de mecânica das rochas, visando a aplicação de técnicas de análise de estabilidade de taludes em maciços rochosos, é indispensável, não apenas para obras em vias de transporte, mas também para atividades de mineração, infraestrutura energética e demais trabalhos civis.

Em termos gerais, a mecânica das rochas é comandada por fatores estruturais como orientação e demais características das descontinuidades, visto que a ruptura da rocha intacta demanda muito mais energia que o deslocamento em planos de fraqueza. Todavia, como o objeto de estudo é constituído por litologia branda, onde a possibilidade de ruptura através das partes não fraturadas é maior, o grau de alteração e a influência das descontinuidades no talude devem ser verificados em conjunto e com maior cautela.

Dessa forma, esse estudo é voltado para a caracterização, classificação e análise da estabilidade de um talude rochoso, utilizando análise cinemática e três sistemas de classificação de maciços: *Rock Mass Rating* (RMR – Bieniawski, 1974), *Slope Mass Rating* (SMR – Romana, 1985) e *Slope Stability Probability Classification* (SSPC – Hack, 1998), visando avaliar as semelhanças e diferenças desses métodos.

2 ESTABILIDADE DE TALUDES ROCHOSOS

2.2 Tipos de Ruptura

Devido a sua elevada coesão, a maioria das rochas, incluindo algumas das mais brandas, são muito resistentes, o que leva aos caminhos de movimentação serem controlados pelas descontinuidades, estruturas em que a resistência ao cisalhamento ocorre praticamente pelo ângulo de atrito, gerando formas de ruptura não usuais em solos (GOODMAN, 1989).

É possível, portanto, quanto à influência da orientação relativa entre face do talude e as descontinuidades, diferenciar dois modos ideais de ruptura: em um extremo, onde a falha depende completamente das descontinuidades, e no outro, em que o rompimento independe das suas orientações e passa pela própria rocha intacta (HACK; PRICE; RENGERS, 2003). Em muitos taludes instáveis, modos e tipos múltiplos podem ocorrer em um mesmo momento ou sucessivamente, e nem todos podem ser facilmente reconhecíveis, sendo que a contribuição de cada modo e tipo à instabilidade geral deve ser quantificada (HACK; PRICE; RENGERS, 2003).

Levando-se em condireção o que foi citado acima, este trabalho opta por definir modos de ruptura quanto à dependência em relação as orientações. Em geral, os deslizamentos em maciços rochosos podem ser classificados de acordo com o modo de ruptura. Quando a orientação importa, as falhas podem ser planares, em cunha, ou por tombamento de blocos. Caso sejam independentes das orientações relativas do talude e das descontinuidades, podem ser mais ou menos rotacionais ou curvilineares. Como mencionado anteriormente, estes são os tipos ideais e puros, sendo que na prática isso nem sempre é observado.

2.3 Sistema de Classificação de Maciços Rochosos

2.3.1 *Rock Mass Rating*

A classificação geomecânica de Bieniawski (1974), denominada RMR (*Rock Mass Rating*), utiliza o RQD (*Rock Quality Designation*) em conjunto com parâmetros de resistência uniaxial da rocha intacta, espaçamento, abertura, persistência e orientação das juntas, além de fluxo de água subterrânea (FIORI; CARMIGNANI, 2013).

A classificação foi desenvolvida, principalmente, a partir de escavações subterrâneas mineiras, mas seu autor incluiu propostas para aplicá-la a fundações e taludes (TOMÁS et al, 2012; FIORI; CARMIGNANI, 2013), por meio de fatores de correção, que buscam quantificar a influência da orientação das descontinuidades na estabilidade.

O índice RQD se propõe a avaliar a qualidade de maciços rochosos e é base também para outros métodos empíricos de classificação de maciços rochosos (FIORI; CARMIGNANI, 2013). Originalmente baseado na

recuperação de testemunhos de sondagem, ele expressa o somatório de pedaços de rocha intacta maiores que 10 cm, por determinados comprimentos. Com base neste RQD convencional, métodos para a obtenção do índice a partir de observações em afloramentos foram desenvolvidos, com destaque ao de Palmström (1982) e Priest e Hudson (1976;1981), denominado RQD teórico.

O índice RMR tem valores que vão de 0 a 100, dividindo os maciços rochosos em cinco classes, desde muito bom até muito pobre, além disso também fornecem uma estimativa da coesão e ângulo de atrito interno, em relação a cada uma das classes (FIORI; CARMIGNANI, 2013). No entanto, Singh e Goel (2011) afirmam que embora essas medidas possam ser estimadas por essa classificação, a retroanálise é uma abordagem mais confiável para determinação dos parâmetros de resistência, utilizados em análises de estabilidade de taludes rochosos.

2.3.1 Slope Mass Rating

O sistema SMR (Slope Mass Rating), introduzido por Romana (1985), foi desenvolvido com base na classificação RMR (Rock Mass Rating), pois esta era de aplicação quase impossível em taludes devido à variação extrema de fatores de correção e sua falta de definição (ROMANA; TOMÁS; SERÓN, 2015).

O SMR é calculado por meio da utilização de quatro fatores de correção ao RMR básico, os quais são condicionados pelo relacionamento entre as descontinuidades que afetam o maciço rochoso e o talude, além do método de escavação (ROMANA; TOMÁS; SERÓN, 2015).

O valor de SMR indica a possibilidade de falhas similares a de solos (normalmente para valores baixos) e a quantidade de rupturas planares e em cunha (normalmente para valores mais altos). Ademais, também indica medidas de suporte a serem tomadas para taludes parcialmente instáveis (HACK, 1998)

Uma publicação com objeto de estudo relacionado ao deste trabalho, estabilidade de taludes em rocha branda, foi publicada por Calcaterra, Gilli e Iovinelli (1998). Os autores utilizaram a classificação SMR na avaliação de 16 taludes de ardósia intensamente alterados em uma área localizada a noroeste de Barcelona (Espanha). De acordo com os resultados, 80% dos taludes de corte no local situaram-se nas classes IV e V, que identificam encostas instáveis ou completamente instáveis. Sendo concluído que a metodologia corresponde bem com as condições de estabilidade observadas, e que, portanto, este método pode ser considerado uma ferramenta adequada para este tipo de estudo.

2.3.1 Slope Stability Probability Classification

O sistema SSPC (*Slope Stability Probability Classification*), introduzido por Hack (1998) se baseia em uma abordagem em três etapas, além da avaliação probabilística de mecanismos de ruptura diferentes e independentes em um talude (HACK; PRICE; RENGERS, 2003).

Hack, Price e Rengers (2003) afirmam que as propriedades das descontinuidades devem ser incluídas em cálculos de projetos de engenharia que envolvem maciços rochosos, no entanto variações nestas propriedades podem ser consideráveis mesmo ao longo de um mesmo plano de descontinuidade. Como pode haver centenas de descontinuidades em um maciço, cada uma com suas propriedades variáveis, estas, em conjunto com não-homogeneidades no material rochoso, requerem uma grande quantidade de dados para que o comportamento mecânico possa ser descrito ou calculado com acurácia.

De acordo com Hack, Price e Rengers (2003), as prioridades no desenvolvimento do SSPC foram: introdução do princípio de classificação em três etapas para descrever maciço exposto, maciço de referência e maciço do talude, avaliação de estabilidade via determinação da probabilidade de ocorrência de mecanismos de ruptura diferentes ao invés de um valor de classificação pontual, além de procedimentos simples e não ambíguos para a coleta de dados em campo.

A utilização dos conceitos: maciço exposto, maciço de referência e maciço do talude se refere a três diferentes condições de maciço. O primeiro é observado diretamente no afloramento de uma encosta, o segundo é um maciço imaginário, não perturbado e fresco nas condições pré-escavação e o último é o talude existente ou a ser escavado (HACK, 1998).

As análises de estabilidade executadas via SSPC se relacionam ao equilíbrio da estrutura, dependente e independente de orientações, onde os parâmetros de entrada incluem fatores de: resistência da rocha intacta, método de escavação, alteração, orientação das descontinuidades, espaçamento, persistência, rugosidade em

pequena e grande escala, preenchimento, carste e suscetibilidade à alteração (HACK; PRICE; RENGERS, 2003).

Uma grande desvantagem do sistema SSPC é a incapacidade de analisar a probabilidade de rupturas em cunha. Além disso, o efeito da água subterrânea na resistência ao cisalhamento das discontinuidades é negligenciado no sistema (CANAL; AKIN, 2016), ainda que Hack, Price e Rengers (2003) tenham dado justificativas para tal.

Após o levantamento dos parâmetros das discontinuidades e do talude, determina-se fatores para o cálculo da estabilidade. A estabilidade dependente da orientação é calculada por meio da relação entre os fatores TC (condição da discontinuidade) e o AP (ângulo aparente entre o mergulho do plano de discontinuidade na direção do mergulho do talude).

Quanto à avaliação de estabilidade independente de orientação, são utilizados os parâmetros de resistência da rocha intacta, alteração, espaçamento das discontinuidades e fator de condição das discontinuidades. Sendo possível obter o ângulo de atrito (SFRI) e a coesão (SCOH), que permitem o cálculo da altura máxima do talude (Hmax).

3 METODOLOGIA

3.1 Caracterização Geológico-Estrutural

Foi realizada com emprego de trena, bússola de geólogo do tipo Brunton, lupa mineralógica, martelo de geólogo e câmera fotográfica. A rocha foi descrita, principalmente, com relação ao seu grau de alteração e os tipos de discontinuidades presentes foram definidos, como acamamento sedimentar, juntas e falhas. Além disso, foi analisada a geologia estrutural, por meio de um levantamento pontual, de interesse e propósitos exclusivamente geomecânicos.

3.2 Levantamento de Descontinuidades

Quanto à obtenção dos parâmetros das discontinuidades (orientação, espaçamento, rugosidade, grau de alteração, persistência, preenchimento e umidade), foi utilizado o método de *scanline* (ISRM, 1978), no qual uma trena é disposta ao longo do talude e a distância de cada discontinuidade interceptada é marcada e identificada, juntamente com uma descrição de acordo com os parâmetros acima mencionados, em uma planilha padrão.

O método de obtenção de dados deve ser pensado de forma a atender uma determinada metodologia de análise, desta forma, o levantamento *scanline* se mostra como uma maneira adequada para técnicas mais difundidas de análise (no caso, RMR e SMR). Os dados a serem utilizados na classificação SSPC foram coletados em uma planilha própria para este propósito. Também foram utilizados gabaritos de referência para parâmetros como rugosidade, de acordo com o padrão ISRM, além de escala grande e pequena para a classificação SSPC.

Além disso, para subsidiar as análises cinemáticas, foram executados *tilt-tests* com amostras coletadas em campo, de forma a se obter uma estimativa inicial de ângulo de atrito. Uma amostra com a discontinuidade principal do talude foi retirada e separada de forma a ser composta por dois blocos, sendo feitos três testes nela e utilizada a sua média.

3.3 Análise Cinemática

O *software* Stereonet 10.1, de Cardozo e Allmendinger (2013), foi utilizado para plotagem das medidas estruturais obtidas em campo nos estereogramas, enquanto que as análises cinemáticas foram realizadas utilizando a metodologia apresentada por Lisle e Leyshon (2018), embutida no programa computacional supracitado.

3.4 Classificação do Maciço

A classificação do maciço rochoso foi realizada, por meio da utilização dos dados obtidos no levantamento de campo, de acordo com três sistemas. A classificação geomecânica RMR foi calculada e serviu de *input* para o segundo sistema de classificação SMR, cuja obtenção dos parâmetros de correção foi realizada por meio do aplicativo computacional desenvolvido por Riquelme *et al.* (2014), *SMRTool beta*. O terceiro e último método de classificação não se relaciona diretamente com os anteriores, sendo o SSPC calculado com base em uma planilha própria para obtenção de parâmetros do talude e das descontinuidades.

3.4 Integração dos Dados

Após a obtenção dos resultados de cada etapa, a integração dos dados foi feita. Os resultados quantitativos em mesmas unidades de medida, relativos aos mesmos conceitos, foram comparados diretamente e os qualitativos com base em suas similaridades ou diferenças.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Um total de quatro famílias de fraturas de interesse foram individualizadas: S0, J1, J2a e J2b (denominadas assim pois são muito similares, exercendo o mesmo papel). De modo geral, a intersecção entre as famílias S0 e J1 gera cunhas que são liberadas na porção superior, pelas juntas das famílias J2a e b.

Os resultados obtidos por meio da análise cinemática, quando vistos sob a luz das outras metodologias e dos deslizamentos pretéritos observados em campo, se confirmam para ruptura planar do plano S0 e para ruptura em cunha no cruzamento dos planos S0 e J1. No entanto, duas outras interseções são acusadas como instáveis nas avaliações em projeção estereográfica, dados que não se confirmam em campo, possivelmente devido à persistência menor das famílias envolvidas. Desse modo, esse método se mostrou bastante viável como uma verificação preliminar, principalmente devido à facilidade de execução.

Conforme exibido no Quadro 1, as análises SMR resultaram em valores de 21 a 34. De acordo com Singh e Goel (2011), taludes com somas abaixo de 20 podem se romper com muita facilidade, sendo que nenhuma encosta com valor menor que 10 jamais foi registrada, pois não existiriam fisicamente.

Nessa metodologia a família S0 condiciona o valor mais baixo de SMR obtido (20), classificado como um maciço muito ruim, completamente instável, com possíveis rupturas planares grandes e circulares, fato corroborado pelas observações em campo e nas condicionantes geométricas obtidas via análise cinemática.

Quanto à família J1, analisada isoladamente, seu valor SMR de 30 é condicionado apenas pelo RMR básico do talude, o que ocorre devido à falta de influência geométrica da orientação destas juntas em conjunto com o corte do talude, demonstrado pela análise cinemática. Onde a classe SMR é de um maciço ruim devido as características desfavoráveis dessas descontinuidades (exclusive orientação).

A respeito das famílias J2a e J2b, seus valores estão entre 34 e 30. A primeira, assim como J1, tem valor SMR idêntico ao RMR básico, em razão da sua orientação irrelevante em relação ao corte do talude, de acordo com o resultado da análise cinemática. Por outro lado, a segunda sofreu uma correção de -4 no mesmo valor inicial, resultando em 30, por causa de uma orientação desfavorável para tombamento de blocos, condição não avaliada pela análise cinemática.

A classificação SMR também possibilita a avaliação para rupturas em cunha, por meio da utilização da linha de intersecção de duas descontinuidades. Assim, a cunha S0/J1 apresentou valor de 21, igual ao obtido para a família S0, concordando com as condicionantes geométricas indicadas pela análise cinemática.

Quadro 1 – Resumo dos resultados das análises SMR. Fonte: Autores (2023).

Família	Pontuação	Classe	Estabilidade	Possíveis Rupturas
S0	21	IV	Completamente Instável	Tombamento de Blocos
J1	30	IV	Instável	Planares ou Cunhas
S0/J1	21	IV	Completamente Instável	Cunhas ou Circulares
J2a	34	IV	Instável	Tombamento de Blocos
J2b	30	IV	Instável	Tombamento de Blocos

Na análise de estabilidade SSPC independente de orientação, foi feita a estimativa de coesão e ângulo de atrito do talude, sendo obtidos 4,74 kPa e 8,63° respectivamente, valores consideravelmente mais baixo em relação aos alcançados via classificação RMR, que estabelece uma faixa de 100 a 200 kPa para coesão e de 15 a 25° para ângulo de atrito. Além disso, apesar da análise SSPC independente de orientação avaliar o talude como um todo, sem base em parâmetros de apenas uma família de descontinuidades, seu resultado de probabilidade de estabilidade de menos que 5%, é condizente com o pior cenário da avaliação SMR, que indica rupturas planares grandes ou circulares, o que pode ser visualizado na Figura 1.

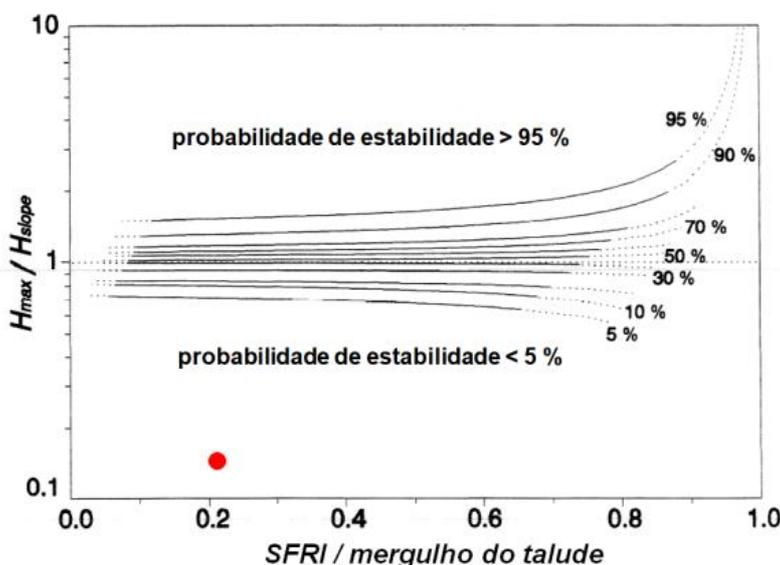


Figura 1 – Resultado da análise de estabilidade independente de orientação. Fonte: Autores (2023)

Enquanto isso, a análise SSPC dependente de orientação preliminar teve resultados semelhantes à análise cinemática, no que diz respeito às famílias de descontinuidades instáveis para deslizamento planar e estáveis para tombamento de blocos.

Conforme exibido na Figura 2, a família S0 condiciona uma probabilidade de estabilidade de 70% para o talude, destoando do obtido via SMR, por causa da utilização do RMR básico, onde a nota do maciço foi muito reduzida devido ao peso duplo do espaçamento, parâmetro que é praticamente repetido no RQD. Na análise de ruptura planar SSPC, apenas as condições das descontinuidades (rugosidade, preenchimento e carste) da família S0 e sua orientação são avaliadas, enquanto a SMR utiliza mais fatores e não apenas da descontinuidade que condiciona a ruptura.

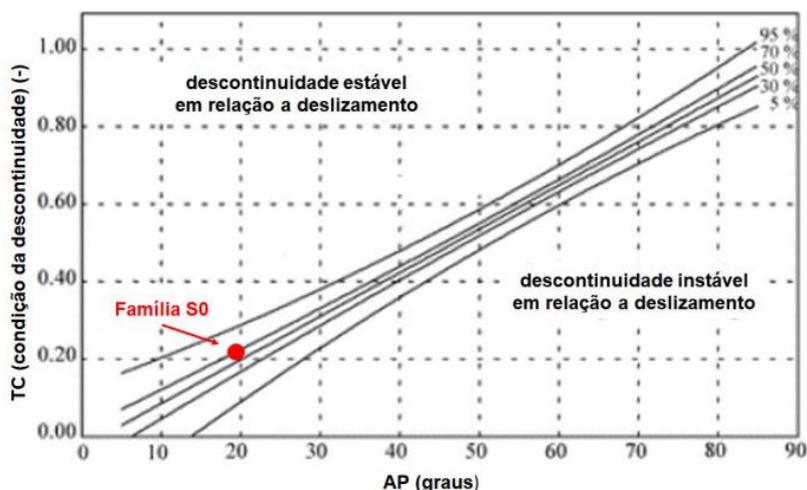


Figura 2 – Resultado da análise de estabilidade dependente de orientação, para a família S0. Fonte: Autores (2023)

Quanto à análise de tombamento de blocos da família J2b, a classificação SSPC resultou em uma probabilidade de 95% de estabilidade, o que pode ser visualizado na Figura 3. Esse resultado é novamente discrepante em relação à avaliação SMR, onde o maciço é instável para tombamento de blocos, conforme parâmetros J2b. Vale ressaltar que tais feições não foram identificadas em campo.

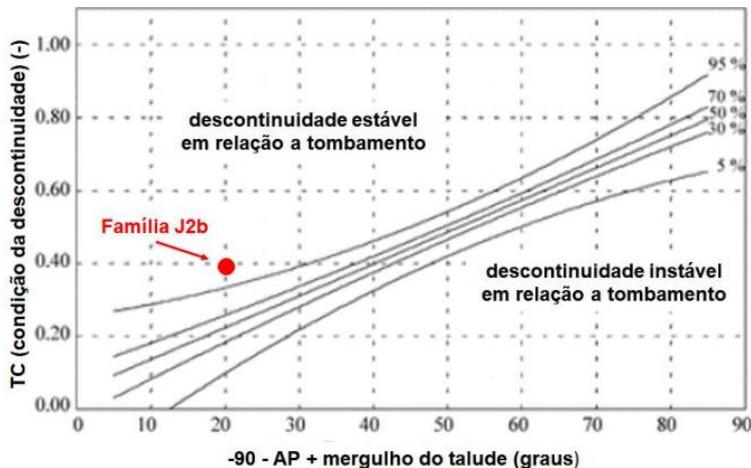


Figura 3 – Resultado da análise de estabilidade dependente de orientação, para a família J2b. Fonte: Autores (2023)

5 CONCLUSÕES

Em suma, os resultados obtidos apresentam um bom alinhamento quanto a suas indicações de estabilidade, exceto nos dois casos apresentados por último.

O questionamento de até que ponto as disparidades entre SSPC e SMR indicam fragilidade em metodologia merece mais estudo. Em termos práticos, a primeira, por meio da análise independente de estabilidade, indica que o talude não se encontra em condições de se manter firme, objetivo em última instância de qualquer avaliação geomecânica. Em termos de alinhamento com o que se observou em campo, a segunda se mostrou mais apropriada, concordando com a conclusão de Moon, Russel e Stewart (2001) sobre a aplicação dessa metodologia em taludes de rocha branda. De toda forma, qualquer dos métodos executados de forma correta parecem responder à questão da estabilidade do talude.

Quadro 2 – Resumo e comparação dos resultados. Fonte: Autores (2023)

Condição	Análise Cinemática	RMRb	SMR	SSPC	Ocorrência em Campo
Ruptura Planar- S0	Instável	Não avaliado	Totalmente instável	Completamente instável	Sim
Ruptura Planar- J1	Estável	Não avaliado	Instável*	Estável	Não
Ruptura Planar- J2a	Estável	Não avaliado	Instável*	Estável	Não
Tombamento de Blocos J2b	Não avaliado	Não avaliado	Instável	Instável	Não observado
Cunha S0/J1	Instável	Não avaliado	Totalmente instável	Não avaliado	Sim
Ruptura Circular/Independente de Orientação	Não avaliado	Não avaliado	Possível	< 5%	Sim
Estimativa de Coesão	Não avaliado	100 a 200 kPa	Não avaliado	4,74	Não se aplica
Estimativa de Ângulo de Atrito	Não avaliado	15 a 25 °	Não avaliado	8,63	Não se aplica

*Instabilidade devido a RMRb baixo, sem influência da orientação da descontinuidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BIENIAWSKI, Z. T. *Geomechanics classification of rock masses and its application in tunneling*. In: Proc. 3rd Int. Congress on Rock Mechanics. 1974.
- CALCATERRA, D.; GILI, J. A.; IOVINELLI, R. *Shallow landslides in deeply weathered slates of the Sierra de Collcerola (Catalonian Coastal Range, Spain)*. Engineering geology, v. 50, n. 3-4, p. 283-298, 1998.
- CANAL, A.; AKIN, M. *Assessment of rock slope stability by probabilistic-based Slope Stability Probability Classification method along highway cut slopes in Adilcevaz-Bitlis (Turkey)*. Journal of Mountain Science, v. 13, n. 11, p. 1893-1909, 2016.
- CARDOZO, N.; ALLMENDINGER, R. W. 2013. *Spherical projections with OSXStereonet*. Computers & Geosciences, v. 51, no. 0, p. 193 - 205, doi: 10.1016/j.cageo.2012.07.021
- FIORI, A. P.; CARMIGNANI, L. *Fundamentos de mecânica dos solos e das rochas*. Oficina de Textos, 2013.
- GOODMAN, R. E. *Introduction to rock mechanics*. New York: Wiley, 1989.
- HACK, R. *Slope stability probability classification: SSPC*. 1998.
- HACK, R.; PRICE, D.; RENGERS, N. *A new approach to rock slope stability—a probability classification (SSPC)*. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, v. 62, n. 2, p. 167-184, 2003.
- ISRM (International Society for Rock Mechanics) (1978) *Suggested Methods for the Quantitative Description of Discontinuities in Rock Masses*. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts, 15, 319-368, 1978.
- LISLE, R. J.; LEYSHON, P. R. *Técnicas de projeção estereográfica para geólogos e engenheiros civis*. Editora da UFSC. 2018
- MOON, V.; RUSSELL, G.; STEWART, M. *The value of rock mass classification systems for weak rock masses: a case example from Huntly, New Zealand*. Engineering geology, v. 61, n. 1, p. 53-67, 2001.
- PALMSTRÖM, A. *The volumetric joint count—a useful and simple measure of the degree of rock jointing*. Proc. 4th Int. Cong. Int. Assoc. Eng. Geol, v. 5, p. 221-228, 1982.
- PRIEST, S. D.; HUDSON, J. A. *Estimation of discontinuity spacing and trace length using scanline surveys*. In: International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts. Pergamon, 1981. p. 183-197.
- RIQUELME, A.; TOMÁS, R.; ABELLÁN A. SMRTTool beta. *A calculator for determining Slope Mass Rating (SMR)*. Universidad de Alicante. Website: <http://personal.ua.es/en/ariquelme/smrtool.html> (26/06/2019). License: Creative Commons BY-NC-SA. 2014
- ROMANA, M. *New adjustment ratings for application of Bieniawski classification to slopes*. In: Proceedings of the international symposium on role of rock mechanics, Zacatecas, Mexico. 1985.
- ROMANA, M.; TOMÁS, R.; SERÓN, J. B. *Slope mass rating (SMR) geomechanics classification: thirty years review*. In: 13th ISRM International Congress of Rock Mechanics. International Society for Rock Mechanics and Rock Engineering, 2015.
- SINGH, B.; GOEL, R. K. *Engineering rock mass classification: tunneling, foundations, and landslides*. Waltham, MA: Butterworth-Heinemann, 2011.
- TOMÁS, R.; CUENCA, A.; CANO, M.; GARCÍA-BARBA, J. *A graphical approach for slope mass rating (SMR)*. Engineering Geology, v. 124, p. 67-76, 2012.