DOI: 10.47094/COBRAMSEG2026.4/39

Avaliação e gestão de risco de quedas rochosas em ponto de visitação ecoturístico, Mato Grosso, Brasil.

Guilherme Passos Ribas
Eng. Geólogo, MecRoc, Belo Horizonte, Brasil, guilherme.ribas@mecroc.com.br

Ramon Danilo de Souza
Eng. Geólogo, MecRoc, Belo Horizonte, Brasil, ramon.souza@mecroc.com.br

Rodrigo Cesar Padula,
Eng. Geólogo, UnderControl, Belo Horizonte, Brasil, rodrigopadula2002@yahoo.com.br

João Paulo Monticelli
Geólogo, MecRoc, Belo Horizonte, Brasil, joao.paulo@mecroc.com.br

Alexandre Gontijo
Eng. Minas, MecRoc, Belo Horizonte, Brasil, alexandre.gontijo@mecroc.com.br

RESUMO: O ecoturismo brasileiro enfrenta o desafio de oferecer experiências seguras diante de ameaças como quedas rochosas e enxurradas em cachoeiras. Este estudo apresenta um fluxo de trabalho integrado para avaliação e gestão de riscos geológico-geotécnicos, aplicado a um estudo de caso no Centro-Oeste do Brasil. A metodologia seguiu seis etapas: (a) levantamento prévio (histórico de eventos, uso turístico e condicionantes geomorfológicas); (b) inspeção de campo para reconhecimento de feições instáveis, classificação preliminar e priorização de áreas críticas; (c) captura da realidade e ensaios *in situ* (produtos 2D/3D georreferenciados, mapeamento estrutural digital, esclerometria e avaliação JRC-JCS); (d) ensaios laboratoriais para caracterizar resistência e calibrar parâmetros; (e) análises de estabilidade por equilíbrio limite para identificar blocos críticos; (f) estimativa de alcance/atingimento dos blocos e avaliação desse risco. Os resultados foram consolidados em mapas e relatórios, com protocolos operacionais que combinam medidas estruturais e não estruturais, rotinas de monitoramento e gatilhos de interdição. A integração entre captura da realidade, investigação, calibração e modelagem reduziu incertezas, encurtou prazos de resposta e entregou subsídios diretamente aplicáveis à operação e à comunicação de risco em atrativos ecoturísticos.

PALAVRAS-CHAVE: Quedas rochosas, Ecoturismo, Ameaça, Mapeamento estrutural, Diagnósticos de riscos.

ABSTRACT: Brazilian ecotourism faces the challenge of providing safe experiences in the presence of hazards such as rockfalls and flash floods in waterfall settings. This study presents an integrated workflow for assessing and managing geological–geotechnical risks, applied to a representative case study in Central-West Brazil. The methodology comprised six sequential steps: (a) preliminary assessment (event history, tourism use, and geomorphological controls); (b) field inspection to identify unstable features, perform preliminary classification, and prioritize critical areas; (c) reality capture and in situ testing (georeferenced 2D/3D products, digital structural mapping, Schmidt hammer testing, and JRC–JCS joint condition assessment); (d) laboratory testing to characterize strength and calibrate field-derived parameters; (e) limit-equilibrium stability analyses to identify critical blocks; and (f) runout/reach estimation and risk evaluation. Results were consolidated into maps and reports, together with operational protocols combining structural and non-structural measures, monitoring routines, and closure triggers. Integrating reality capture, investigation, calibration, and modeling reduce uncertainty, shortened response time, and delivers decision-support outputs directly applicable to operations and risk communication in ecotourism attractions.

KEYWORDS: Rockfall, Ecotourism, Hazard, Structural mapping, Risk analysis.

1 INTRODUÇÃO

O turismo em áreas naturais — em especial o turismo de aventura e o ecoturismo — tem crescido no Brasil, impulsionado pela busca por experiências ao ar livre. Esse crescimento, contudo, traz como requisito central a gestão de segurança em ambientes dinâmicos e sujeitos a processos naturais. Nos últimos anos, eventos amplamente divulgados evidenciaram essa vulnerabilidade, como o tombamento flexural em Capitólio (MG), em 8 de janeiro de 2022, com vítimas (Figura 1a), desmoronamentos de rochas brandas em falésias como na Praia da Timbaú (RN) (Figura 1b) e quedas rochosas em atividades de escalada, como o caso da Pedra da Divisa (SP) (Correio Braziliense, 2021). Nesse contexto, ameaças geológicas devem ser avaliadas caso a caso, considerando condicionantes locais e adotando rotinas de avaliação de risco tecnicamente fundamentadas (DN 500, ABGE 2026). Entre as principais ameaças geológico-geotécnicas em atrativos naturais destacam-se movimentos gravitacionais de massa (p.ex., quedas, tombamentos, deslizamentos e corridas) e processos hidrológicos, como enxurradas em cachoeiras. Esses fenômenos abrangem desde ocorrências localizadas — como quedas controladas por descontinuidades — até eventos de maior magnitude e alcance, como deslizamentos e corridas, frequentemente associados a gatilhos pluviométricos, em especial chuvas rápidas e intensas (Hungr et al., 2014).

Nesse cenário, é primordial a realização de avaliações de risco em atrativos ecoturísticos por meio de métodos qualitativos (p.ex., matrizes de perigo–consequência) e/ou quantitativos (p.ex., probabilidade de ruptura, de alcance/atingimento e de exposição). Tanto em obras de infraestrutura quanto em empreendimentos turísticos, é comum combinar essas abordagens de forma progressiva: inicia-se com avaliações qualitativas para triagem e priorização de setores críticos e, quando viável, evolui-se para investigações mais detalhadas e análises quantitativas, amparadas por soluções analíticas e/ou por análises de estabilidade. Essa integração tende a reduzir incertezas e fortalecer a tomada de decisão, sobretudo em cenários com alta exposição do público e presença de infraestrutura (Ferrari et al., 2017; Mineo et al., 2018; San et al., 2020; Sarro et al., 2025; Monticelli, 2025).

Em nosso estudo apresentamos e discutimos um fluxo de trabalho para avaliação e gestão de riscos geológico-geotécnicos em um atrativo ecoturístico no Centro-Oeste do Brasil. A abordagem combina inspeções de campo, captura da realidade por VANT, mapeamento estrutural, caracterização geomecânica, análises de estabilidade e mapeamento de perigo/risco, com foco em quedas rochosas e enxurradas como processos ameaçadores prioritários. Essas atividades sustentaram um diagnóstico progressivo dos riscos na área de estudo, de modo a fornecer aos empreendedores e gestores turísticos uma base técnica para compreensão das condições de segurança do local, priorização de intervenções, técnicas de monitoramento, definição de medidas de mitigação e rotinas de gestão compatíveis com o uso recreativo do principal ativo natural deste empreendimento turístico.



Figura 1. Exemplos de casos de quedas rochosas no Brasil em áreas ecoturísticas: a) Capitólio-MG e Praia de Timbaú-RN.

2 CONTEXTO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO

A área de estudo, localizada no estado de Mato Grosso, situa-se na borda sul do Cráton Amazônico, no domínio da Faixa Paraguai Norte, cinturão orogênico associado à colisão entre os blocos Amazônico, São Francisco–Congo e Paranapanema durante a Orogenia Brasiliana/Pan-Africana (≈550–500 Ma). Essa evolução condicionou uma bacia de antepaís com sedimentação Neoproterozóica a cambriana, na qual se destaca o

Grupo Alto Paraguai, composto (da base para o topo) pelas formações Raizama, Sepotuba e Diamantino. Depósitos estes siliciclásticos com intercalações carbonáticas (Bandeira et al., 2007).

No ponto turístico analisado, afloram rochas da Formação Raizama, unidade Ediacarana–Cambriana que recobre discordantemente os carbonatos do Grupo Araras e registra deposição de um paleoambiente flúvio-costeira, com registros alternando entre meta-arenitos/pelitos. Os meta-arenitos são, em geral, claros, bem selecionados e com cimentação carbonática (Bandeira et al., 2007). Do ponto de vista geológico-estrutural, o setor é marcado por deformação compressiva Neoproterozóica, com dobras de alto ângulo, falhas inversas e fraturamento associado. As principais descontinuidades na Formação Raizama apresentam direção preferencial NE–SW, com mergulho para SE, e conjuntos secundários NW–SE com mergulhos variados.

3 METODOLOGIA

A metodologia consistiu em um fluxo de trabalho desenvolvido pela equipe MecRoc para integrar etapas de campo, aquisição e processamento de dados, mapeamento estrutural, caracterização geomecânica e análises de estabilidade e risco em maciços rochosos fraturados, aqui aplicado a um atrativo de turismo de aventura. Abordagens semelhantes têm sido empregadas em contextos ecoturísticos envolvendo falésias, parques, ilhas e sítios de escalada (Mineo et al., 2018; San et al., 2020; Sarro et al., 2025; Monticelli, 2025). O fluxo de atividades é sintetizado na Figura 2.

Inicialmente, foram realizadas inspeções de campo no atrativo e em áreas adjacentes para reconhecimento geológico-geotécnico, caracterização do uso turístico e identificação da infraestrutura associada. Nessa etapa, foram mapeadas litologias, zonas de alteração, evidências de instabilidade e padrões de descontinuidades, permitindo uma triagem qualitativa do perigo, a priorização de setores críticos e a definição de alvos para levantamentos remotos. Na ausência de dados prévios, a avaliação preliminar seguiu Ferrari et al. (2017), subsidiando a seleção de setores com potencial de instabilidade para investigações detalhadas.

Definidos os setores críticos, foram executados aerolevantamentos com drones para aquisição de imagens e geração de produtos georreferenciados, como ortomosaicos, modelos de superfície, nuvens de pontos e malhas 3D. Essa etapa permitiu obter dados com rapidez e alta densidade, reduzir a exposição da equipe em áreas instáveis e garantir base geométrica compatível com as análises geotécnicas. Foram utilizados DJI Matrice 300 RTK, com câmera Zenmuse P1 e sensor Zenmuse L1 em setores com cobertura vegetal, além de Mavic 3 RTK para levantamentos de detalhe.

Os dados foram processados para geração de modelos tridimensionais georreferenciados do talude. O mapeamento de descontinuidades, incluindo orientação, espaçamento e extensão de traços, foi realizado no ShapeMetriX 3D (3GSM®), seguido de tratamento estatístico e definição das famílias sistemáticas de juntas. Com base nesses resultados, foram conduzidas análises cinemáticas considerando a geometria do talude, as famílias de descontinuidades e o ângulo de atrito de pico estimado, de modo a verificar a possibilidade de rupturas planares, em cunha e por tombamento.



Figura 2. Fluxograma metodologico implementado pela equipe MecRoc Engenharia.

A caracterização geomecânica combinou ensaios de campo e laboratoriais para estimar a resistência ao cisalhamento ao longo das descontinuidades. Foram realizadas campanhas de esclerometria com esclerômetro tipo N em superfícies rochosas acessadas por corda pela equipe MecRoc, certificada para trabalhos em altura, além da coleta de amostras para ensaios de resistência à compressão uniaxial. A correlação entre os índices de rebote e a RCU subsidiou a calibração dos parâmetros adotados nas análises.

Por fim, as rupturas potenciais identificadas foram avaliadas por equilíbrio limite, com estimativa do fator de segurança. A resistência ao cisalhamento ao longo de descontinuidades rugosas foi estimada pelo critério de Barton e Choubey (1977), com parâmetros obtidos em campo e laboratório. O diagnóstico de risco considerou a probabilidade de desprendimento, a interação com o relevo e o potencial de atingimento das áreas

de visitação. Para a delimitação das zonas de perigo, foi empregada a metodologia GIDES (Pimentel e Santos, 2018), integrando critérios topográficos, dados de campo e informações de gabinete. Os produtos obtidos subsidiaram a proposição de medidas estruturais e não estruturais para mitigação e gestão do risco de quedas rochosas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Inspeção e diagnóstico preliminar

As inspeções de campo no atrativo com queda d'água evidenciaram condicionantes geológico-estruturais favoráveis à instabilização do maciço rochoso e à ocorrência de quedas de blocos. A queda, com aproximadamente 60 m, está inserida em contexto deformacional associado ao flanco de uma sinclinal e a uma zona de falha, o que tende a intensificar o grau de fraturamento. No paredão e no entorno do poço foram observados blocos de diferentes dimensões, sugerindo episódios sucessivos de ruptura, além de blocos emergentes e submersos na base (Figura 3). Esse arranjo, combinado à altura do talude e ao fraturamento, é compatível com cenários de queda de blocos, sobretudo durante ou após chuvas intensas, quando a saturação das descontinuidades e o aumento de vazão podem atuar como gatilhos na movimentação de blocos.



Figura 3. Diagnóstico preliminar de perigo (sem dados prévios): a) area fonte e seu b) depósito de blocos.

Como diagnóstico preliminar e expedito, aplicou-se a abordagem de Ferrari et al. (2024), concebida para identificação rápida do perigo mesmo na ausência de dados prévios detalhados. Conforme esse método, a presença de blocos acumulados, blocos ainda "em posição" no maciço e cicatrizes de destacamento são indicadores diretos de magnitude e atividade de quedas rochosas. No local, a recorrência desses elementos e a evidência de desplacamentos em múltiplas escalas sustentam a classificação preliminar de perigo moderado a alto para quedas rochosas, justificando a priorização das etapas de captura da realidade, mapeamento estrutural e análises de estabilidade desse local prioritariamente em detrimento de outras áreas turísticas do empreendimento.

Do ponto de vista operacional, a visitação ocorre em grupos guiados, com permanência típica da ordem de dezenas de minutos no poço, concentrando usuários no espelho d'água e em margens próximas. O uso de coletes é obrigatório, e a segurança depende principalmente da condução dos guias e da delimitação efetiva das áreas de permanência, aspectos diretamente relevantes para reduzir a exposição em setores potencialmente atingíveis por blocos que podem se desprender do maciço rochoso.

4.2 Geração de modelos tridimensionais, mapeamento estrutural e análises cinemáticas

Com os modelos 3D georreferenciados consolidados (Figura 4a-c), realizou-se o mapeamento estrutural diretamente na superfície digital, extraindo orientações (direção/mergulho) das descontinuidades e agrupando-as em famílias, com registro de atributos quando observáveis (ex.: comprimento dos traços, espaçamento e atitude) (Figura 4d-e). Essa abordagem assegura consistência entre feições mapeadas e a trama estrutural do maciço rochoso onde cachoeira está situada, fornecendo a base para as análises cinemáticas e de estabilidade por equilíbrio limite.

O mapeamento estrutural e análise dos polos em estereogramas indicou três famílias principais de descontinuidades presentes no maciço rochoso, além de ocorrências aleatórias. As atitudes médias observadas foram, F1: 076°/85°, F2: 340°/40° e F3: 162°/56° (Figuras 4d-e). As famílias F1 e F2 correspondem a conjuntos de cisalhamento, moderadamente persistentes e rugosos, por vezes alterados, enquanto F3 representa o acamamento metassedimentar, basculado tectonicamente e em concordância com o contexto regional. Para a face do talude, apesar da geometria irregular, adotou-se uma orientação representativa média de 310°/75°, e um ângulo de atrito arrojado ($\varphi = 30°$) para a análise dos possíveis mecanismos de ruptura deste talude, como a ruptura planar, em cunha e por tombamento. Os resultados indicaram predominância de rupturas em cunha e tombamentos diretos, com ocorrência secundária de ruptura planar, enquanto o tombamento flexural mostrou-se cinematicamente improvável para o setor analisado.

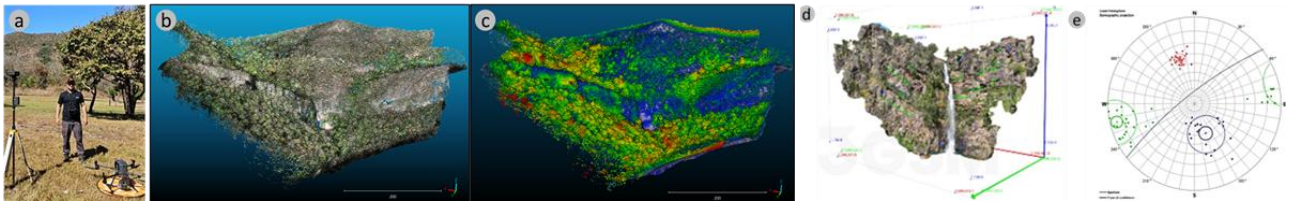


Figura 4. Captura da realidade geotécnica: a) equipamentos utilizados, b) nuvem de pontos, c) classificação dos pontos, d) mapeamento estrutural, e) estereograma das famílias de descontinuidades.

4.3 Ensaios geomecânicos de campo e de laboratório

Os ensaios de esclerometria apresentaram boa coerência conforme variabilidade geológica dos planos amostrados ao longo do talude rochoso. As superfícies investigadas em campo exibiram valores finais de repique entre 48 e 73. Em laboratório, os ensaios de resistência à compressão uniaxial (RCU) foram realizados com blocos coletados na base da cachoeira. Conforme sugestão da ISRM (1979), as RCU foram corrigidas para diâmetro equivalente de 50 mm (Hoek e Brown, 1980), permitindo calibrar a resistência de forma padronizada e reprodutível do litotipo analisado.

Os resultados de campo e laboratório foram integrados para estabelecer correlações físico-mecânicas (Figura 5d). O comportamento é típico de rocha intacta de alta resistência e baixa deformabilidade quando sã a levemente alterada, contudo é observada uma tendência de redução de resistência compatível com progressão de alteração nas amostras ensaiadas em laboratório bem como estimadas com dados de campo (Figura 5d). Por consequência, a degradação físico-mecânica da rocha e descontinuidades é esperada com o intemperismo. Essa tendência foi considerada de forma conservadora nas análises de estabilidade, com recomendação de ampliação amostral da condição de alteração dos blocos ensaiados para reduzir incertezas.

Entretanto, os parâmetros estimados dessas correlações foram utilizados para estimar atrito residual e a resistência das paredes das descontinuidades, alimentando o critério de Barton e Choubey (1977) nas análises de equilíbrio limite, em conjunto com o mapeamento das famílias de descontinuidades aflorantes do maciço rochoso. Essa abordagem manteve rastreável o encadeamento entre ensaios, calibração de parâmetros e adoção de critérios e fatores de segurança empregados na análise de estabilidade e identificação de blocos críticos (baixo fator de segurança).



Figura 5. Campanhas de ensaios geomecânicos: a-b) levantamento de campo por acesso vertical (Irata n°1 e 2 - MecRoc Engenharia) e c-d) análise laboratorial.

4.4 Análises de estabilidade por equilíbrio limite

A partir do aerolevantamento foi gerado um MDT/MDS de alta resolução (Figura 5b), empregado como base geométrica no RocSlope 3D para modelagem do talude rochoso e execução das verificações por equilíbrio limite (Figura 6a). A geometria tridimensional permitiu representar a irregularidade do paredão e sua relação com o pé do talude, reduzindo simplificações típicas de seções 2D. Sobre essa geometria, as famílias de descontinuidades foram incorporadas, com posição e tamanho definidas no mapeamento estrutural, de modo a compor os conjuntos de planos que delimitam blocos e controlam os mecanismos potenciais de ruptura (Figura 6b-c). As verificações por equilíbrio limite foram conduzidas utilizando o critério de resistência ao cisalhamento de Barton e Choubey (1977), por ser mais representativo para descontinuidades rugosas em vários graus de alteração. Os parâmetros JCS (resistência das paredes da junta) e atrito residual (φr) foram estimados com base nos valores e estado de alteração observado em campo. Adicionalmente, adotou-se postura conservadora ao tratar a anisotropia metassedimentar como uma descontinuidade potencialmente persistente e com coesão nula, passível de delimitar blocos de rocha

Com base no conjunto de evidências de alteração e heterogeneidade do maciço, foram definidos três cenários de propriedades geotécnicas para as descontinuidades: (i) condição favorável, representando rocha fresca a pouco alterada (φr ≈ 28°; JCS ≈ 300–500 MPa; JRC ≈ 12); (ii) condição intermediária, associada a descontinuidades moderadamente alteradas (φr ≈ 23,7°; JCS ≈ 100–300 MPa; JRC ≈ 12); e (iii) condição desfavorável, representando estado muito a completamente alterado (φr ≈ 19,4°; JCS < 100 MPa; JRC ≈ 12). Esses intervalos são compatíveis e representam a redução progressiva de resistência com o avanço do intemperismo, podem assim ser um dos mecanismos principais no desprendimento de blocos e cunhas do maciço rochosos da cachoeira. No cenário favorável, a maioria das geometrias de blocos identificadas não alcança condição crítica (FS acima do limiar de referência adotado), sugerindo relativa estabilidade quando as superfícies estão em melhor condição mecânica. Entretanto, essa resposta contrasta com a evidência de blocos acumulados na base do talude observada em campo, indicando que as condições atuais e/ou episódicas (p.ex., saturação, degradação localizada) tendem a se aproximar dos cenários intermediário e desfavorável.

Nos cenários intermediário e desfavorável, o modelo identificou diversos blocos críticos com FS frequentemente < 1,3 (Figura 6b-c), compatíveis com instabilidades controladas por descontinuidades sob redução de resistência. Os volumes estimados variaram de 0,1 a 1,5 m³, abrangendo desde desprendimentos localizados até blocos com potencial de maior impacto, sobretudo no cenário mais desfavorável. Em termos de mecanismo, os blocos críticos concentram-se em configurações coerentes com a cinemática previamente indicada (predominância de cunhas e tombamentos diretos, com ocorrência secundária de planar), reforçando a consistência entre triagem geométrica e verificação por equilíbrio limite.

Em síntese, a integração entre geometria 3D, mapeamento estrutural e parâmetros calibrados por ensaios sustenta a interpretação de que a degradação progressiva das descontinuidades é um fator-chave para explicar o padrão de instabilidade observado no setor da cachoeira (Figura 3). Além de qualificar os cenários de instabilidade, os resultados fornecem base técnica para: (i) hierarquizar setores e blocos com maior criticidade, (ii) orientar medidas de mitigação estruturais e não estruturais, e (iii) subsidiar o diagnóstico de perigo e risco integrado à operação do atrativo.



Figura 6. Analise de estabildiade por equilíbrio limite: a) geometria da cachoeira, b) fator de segurança e c) magnitude dos blocos criticos.

4.5 Diagnósticos de riscos qualitativos

As análises de estabilidade por equilíbrio limite, considerando os cenários adotados, identificaram vários blocos críticos no talude rochoso, com potencial de desprendimento na área-fonte e alcance até setores de visitação. Em função disso, procedeu-se ao diagnóstico de risco, integrando os resultados de estabilidade ao mapeamento espacial de perigo e exposição. Seguindo as diretrizes do GIDES, os produtos foram organizados em mapas e plantas georreferenciadas, incorporando o uso turístico e a infraestrutura existente como elementos expostos (Figura 7). A área-fonte de quedas rochosas foi delimitada a partir de critérios topográficos aplicados ao modelo de terreno de alta resolução (declividade e altura de afloramentos), combinados com inspeções de campo e com a evidência de escarpas ativas destacadas pelas análises de estabilidade (Figura 6). A área-fonte resultante estende-se por cerca de 500 m ao longo do talude em maciço rochoso fraturado.

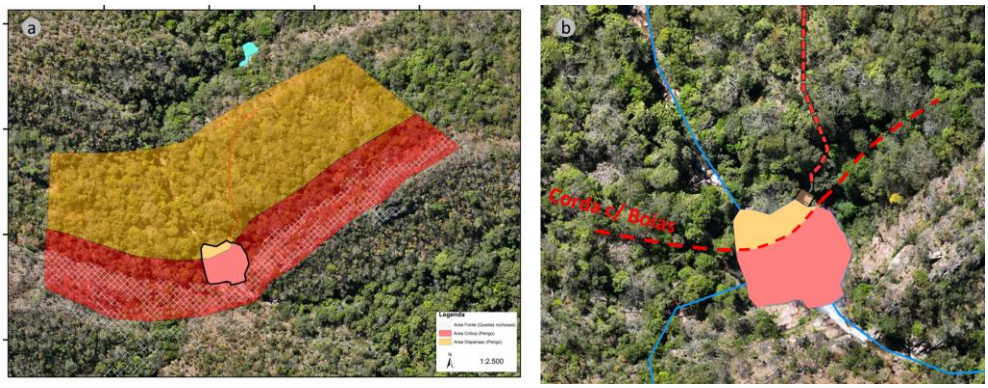


Figura 7. Diagnóstico de riscos: a) mapa de perigo para quedas rochosas e b) medidas estruturais indicadas.

A jusante da escarpa, definiu-se uma zona crítica de impactos imediatos até aproximadamente 30 m do pé do talude, seguida por uma zona de dispersão, representando o corredor de trânsito e deposição de blocos e permitindo estimar o alcance máximo das trajetórias (Figura 7). A integração entre o mapa de perigo e a exposição dos elementos antrópicos indicou predominância de perigo alto a muito alto e, consequentemente, risco alto a muito alto em setores onde áreas de banho e infraestruturas, uma vez que estas se sobrepõem às zonas crítica e de dispersão. De forma preliminar e imediata, um cordão com boiais foi recomendado como medida estrutural básica para evitar a exposição de elementos antrópicos na área crítica a quedas de blocos. Entretanto,

5 CONCLUSÃO

As ameaças principais ao uso turístico do local são quedas rochosas e enxurradas/cabeças d'água. A condição do maciço, mecanismos e estabilidade. Ensaios de campo e laboratório indicam rocha competente quando sã a pouco alterada, porém com tendência de degradação por intemperismo, o que reduz gradativamente a resistência das descontinuidades. O maciço fraturado permite rupturas planares, em cunha e tombamento, coerentes com observações de campo e análises em modelo 3D. No equilíbrio limite, com parâmetros calibrados e cenários favorável–desfavorável, foram identificados blocos críticos, com FS frequentemente < 1,3 no cenário mais desfavorável, compatíveis com a dinâmica regressiva e depósitos na base do talude.

O diagnóstico de risco geológico-geotécnico foi fundamental para delimitar a área-fonte e suas porções críticas para a estabilidade de blocos, bem como a zona de impactos imediatos e área de dispersão em casos de rupturas, indicando que parcela relevante da visitação pode estar exposta a trajetórias e alcance de blocos, isto é, com risco alto a muito alto. Enxurradas podem ainda agravar este cenário por aumento de energia hidráulica e remobilização de material do leito do rio, exigindo monitoramento conjugados (vazão-pluviometria) e protocolos de alerta/fechamento por gatilhos dos referentes variáveis.

O estabelecimento de estratégias para conviver com este risco e a implementação de plano de gestão e controle do terreno, combinando: (i) controle de exposição (delimitação e capacidade de carga), (ii)

comunicação e capacitação (guias e sinalização), (iii) manutenção preventiva (abatimentos periódicos) e (iv) monitoramento remoto com gatilhos operacionais; é inerente para os operadores turísticos.

AGRADECIMENTOS

A MecRoc agradece ao operador ecoturístico pelo apoio às atividades e aos parceiros e desenvolvedores dos programas ShapeMetriX 3D (3GSM®) e Rocscience Inc., utilizadas neste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Correio Braziliense, 2021. Pedra se solta e mata estudante durante escalada. https://www.correiobraziliense.com.br/brasil/2021/11/4960302-pedra-se-solta-e-mata-estudante-durante-escalada.html (accessed 3.9.25).

Hungr, O., Leroueil, S., Picarelli, L., 2014. The Varnes classification of landslide types, an update. Landslides 11, 167–194. https://doi.org/10.1007/s10346-013-0436-y

American Society for Testing and Materials. (2005). Standard test method for determination of rock hardness by rebound hammer method. ASTM International.

Aydin, A. ISRM Suggested Method for Determination of the Schmidt Hammer Rebound Hardness: Revised Version.International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, v. 46, n. 4, p. 627–634, 2009. DOI: 10.1016/j.ijrmms.2008.01.020

Bandeira, J. B. C. da S. Jr., Nogueira, A. C. R., Petri, S., Riccomini, C., Trindade, R. I. F., Sial, A. N. (2007). Depósitos litorâneos neoproterozóicos do Grupo Alto Paraguai no sudoeste do Cráton Amazônico, região de Mirassol d'Oeste, Mato Grosso. Revista Brasileira de Geociências, 37(3), 595–606.

Barton, N., Choubey, V. (1977). The shear strength of rock joints in theory and practice. Rock mechanics, 10(1), 1-54.

Hoek, E., E. T. Brown (1980). Underground Excavations in Rock. London: IMM. The Institution of Mining and Metallurgy, 527 p.

Pimentel, J., Santos, T.D., 2018. Manual de Mapeamento de Perigo e Risco a Movimentos Gravitacionais de Massa - Projeto de Fortalecimento da Estratégia Nacional de Gestão Integrada de Desastres Naturais - Projeto Gides. CPRM/SGB.

Norma ABGE 500/ no prelo: Inspeção geológico-geotécnica em áreas de ecoturismo. Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental, ABGE. Série 500 Ecoturismo /Turismo de aventura.

Monticelli, J. P. (2025). A geotechnical methodology for risk assessment in adventure tourism: the case of climbing. Tese de Doutorado, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. doi:10.11606/T.18.2025.tde-10122025-161116.

San, N.E., Topal, T., Akin, M.K., 2020. Rockfall Hazard Assessment Around Ankara Citadel (Turkey) Using Rockfall Analyses and Hazard Rating System. Geotech Geol Eng 38, 3831–3851. https://doi.org/10.1007/s10706-020-01261-1

Mineo, S., Pappalardo, G., Mangiameli, M., Campolo, S., Mussumeci, G., 2018. Rockfall Analysis for Preliminary Hazard Assessment of the Cliff of Taormina Saracen Castle (Sicily). Sustainability 10, 417. https://doi.org/10.3390/su10020417

Sarro, R., Rossi, M., Reichenbach, P., Mateos, R.M., 2025. From rockfall source area identification to susceptibility zonation: a proposed workflow tested on El Hierro (Canary Islands, Spain). Nat. Hazards Earth Syst. Sci. 25, 1459–1479. https://doi.org/10.5194/nhess-25-1459-2025

Ferrari, F., Giacomini, A., Thoeni, K., Lambert, C., 2017. Qualitative evolving rockfall hazard assessment for highwalls. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences 98, 88–101. https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2017.07.013