

Avaliação geotécnica de balneários no município de Diamantina, Minas Gerais

Geotechnical assessment of balnearies in Diamantina, Minas Gerais

Walter dos Reis Junior, IGC/UFMG e Instituto de Ciência e Tecnologia/UFVJM

walter.reis@ict.ufvjm.edu.br

<https://orcid.org/0000-0002-5667-3875>

Maria Giovana Parisi, IGC/UFMG

mgparizzi18@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0001-5616-9540>

Resumo

Diamantina (MG) atrai turistas com suas serras, trilhas e cachoeiras, situadas em balneários desenvolvidos sobre rochas metassedimentares, com predomínio de quartzitos de composições variadas, pertencentes ao Supergrupo Espinhaço e Grupo Macaúbas, controlados por sistemas de fraturas nas direções N-S, NW-SE e E-W. Esses atrativos podem apresentar perigos devido à instabilidade dos maciços rochosos. Por esta razão, este estudo classifica qualitativamente o perigo nessas áreas. A metodologia abrangeu a caracterização geomecânica das rochas e suas descontinuidades, a identificação de indícios de processos geodinâmicos e cenários de iminente deflagração de movimentos de massa. Foram avaliados 23 balneários, sendo considerados 15 de perigo geológico baixo, 2 de perigo moderado, 4 de perigo alto e 2 de perigo muito alto. Salienta-se que esta análise tem caráter temporal, já que as condições dos balneários se modificam com o tempo, exigindo monitoramento constante. Os resultados são muito relevantes para a região como instrumentos de gestão, auxiliando na implementação de ações voltadas à mitigação e controle dos perigos geológicos, como sinalizações dos cenários de perigo aos visitantes.

Palavras-chave: Perigo geológico, Atrativos naturais, avaliação geotécnica, balneários.

Abstract

Diamantina (MG) attracts tourists with its mountains, trails, and waterfalls, located in bathers' areas developed on metasedimentary rocks, predominantly quartzites of varied compositions, which belong to the Espinhaço Supergroup and Macaúbas Group. These areas are controlled by fracture systems oriented in the N-S, NW-SE and E-W directions. These attractions may present hazards due to the instability of rocky masses. For this reason, this study qualitatively classifies the hazard levels in these areas. The methodology included geomechanical characterization of the rocks and their discontinuities, identification of evidence of geodynamic processes and analysis of scenarios with imminent mass movement. A total of 23 balnearies were analysed, of which 15 were classified as having low geological hazard, 2 moderate, 4 high, and 2 very high. It is emphasized that this analysis has a temporal nature, as the conditions of the balnearies

<https://doi.org/10.5281/zenodo.15554826>

change over time, requiring continuous monitoring. The results are highly relevant for the region as management tools, assisting in the implementation of actions aimed at mitigating and controlling geological hazards, such as signaling hazard scenarios to visitors.

Keywords: geological hazard, natural attractions, geotechnical assessment, balnearies.

1. Introdução

Com a evolução da morfologia das paisagens de uma região pela intensificação do intemperismo e erosão, além da atuação de diversos outros fenômenos da dinâmica superficial, as encostas são modificadas constantemente, alterando também suas condições de estabilidade. Materiais geológicos, como rochas e solos, apresentam características e comportamentos geotécnicos muito variados. Quando associados a agentes, naturais ou não, podem deflagrar diferentes processos geodinâmicos, submetendo as adjacências a riscos geológicos. As condições regionais como geologia, geomorfologia e clima exercem grande influência na estabilidade de rochas e solos frente a processos da dinâmica superficial (Sobreira, 1991). Contudo, deve-se ressaltar também as características inerentemente ligadas aos materiais geológicos, como natureza e composição de rochas e solos, estado de confinamento, intensidade de intemperismo, descontinuidades, coesão, condição de poro-pressão, resistência mecânica, entre outros (Reis Junior, 2016). Pode-se considerar que os principais processos atuantes na construção de paisagens são erosão, assoreamento, inundações, subsidências, colapsos e movimentos de massa (Infanti Jr e Filho, 1998), sendo estes os de maior ocorrência no território brasileiro (Augusto Filho, 1995). Macedo e Bressani (2013) salientam a importância de documentos adequados e atualizados que descrevam as características geomecânicas e considerações no tocante a suscetibilidade e aos perigos geológicos no uso dos solos.

Macedo e Mirandola (2018) comentam sobre o reconhecimento da importância da gestão de riscos geológicos, embasando-se nas ações da Organização das Nações Unidas (ONU), a partir de 1994, com iniciativas visando prevenção e redução de desastres físicos. A avaliação geológico-geotécnica das áreas ocupadas ou utilizadas pelo Homem é de grande relevância, subsidiando a prevenção e mitigação de riscos físicos. Tal procedimento abrange aquisição de informações que objetivam a determinação da probabilidade de determinados eventos, magnitude e as potenciais consequências (UNO, 2009). Tominaga (2007) reitera que a necessidade de adotar ações

adequadas de prevenção e gestão de risco para mapeamento de perigos geoambientais em esfera municipal é urgente.

O acidente ocorrido em Capitólio – Minas Gerais, no início de 2022, alertou sobre a necessidade da realização de estudos geológico-geotécnicos nos atrativos turísticos naturais. Neste contexto, diversas ações emergenciais para o reconhecimento, identificação e avaliação de riscos geológicos nesses lugares foram realizadas, destacando-se as campanhas do Serviço Geológico do Brasil – CPRM, como Pedrazzi et al., (2022), Barros et al., (2022), Oliveira et al., (2022) e Silva et al., (2022).

O município de Diamantina, em Minas Gerais, tem grande importância histórica, sendo considerado patrimônio mundial pela UNESCO, em 1999. A cidade também conta com um grande e variado patrimônio natural, que está situada na Serra do Espinhaço, reconhecida como Reserva Mundial da Biosfera pela UNESCO, em 2005 (IABS e RBSE 2017). Diante da intensa atividade turística nos balneários no município de Diamantina, é relevante a realização de estudos dos perigos geológicos nessas áreas, para que além da gestão desses espaços, também haja a devida sinalização e indicação das potencialidades dos atrativos geoturísticos visitados. Nesse contexto, objetivou-se realizar uma avaliação geológica-geotécnica nos principais balneários da cidade, visando a qualificação de perigos.

2. Caracterização da área de estudo

Os balneários analisados estão concentrados na porção sul do município de Diamantina, nos distritos Sede, Mendanha, Guinda, Extração, Conselheiro Mata e no Povoado do Vau (Quadro 1 – Figura 1), inserindo-se no Alto Vale do Rio Jequitinhonha.

Quadro 1 – Balneários visitados.

Balneário	Localização
Balneário abaixo da ponte do Acaba Mundo	Extração
Balneário entre os rios Pinheiro e Jequitinhonha	Mendanha
Barragem de Curralinho	Extração
Complexo cachoeiras da Raiz e Tombadouro	Conselheiro Mata
Cachoeira Bicas	Caminho dos Escravos (Parque Biribiri)
Cachoeira da Florença	Povoado do Vau
Cachoeira da Sentinela	Parque Estadual do Biribiri
Cachoeira da Toca	Distrito Sede
Complexo cachoeiras das Andorinhas e Bambá	Distrito Sede
Cachoeira das Fadas	Conselheiro Mata
Cachoeira do Pai Rocha	Caminho dos Escravos (Parque Biribiri)
Cachoeira do Sotter	Caminho dos Escravos (Parque Biribiri)
Cachoeira do Telésfero	Conselheiro Mata
Cachoeira do Vó Toninho	Caminho dos Escravos (Parque Biribiri)
Cachoeira dos Cristais	Parque Estadual do Biribiri
Cachoeira dos Remédios	Extração
Cachoeira Santa Apolônia	Mendanha
Complexo da Água Limpa	Parque Estadual do Biribiri
Lagoa Azul	Guinda
Poço do Estudante	Parque Estadual do Biribiri
Poço Verde	Caminho dos Escravos (Parque Biribiri)
Ribeirão das Pedras	Vila de Biribiri
Ribeirão do Inferno	Distrito Sede

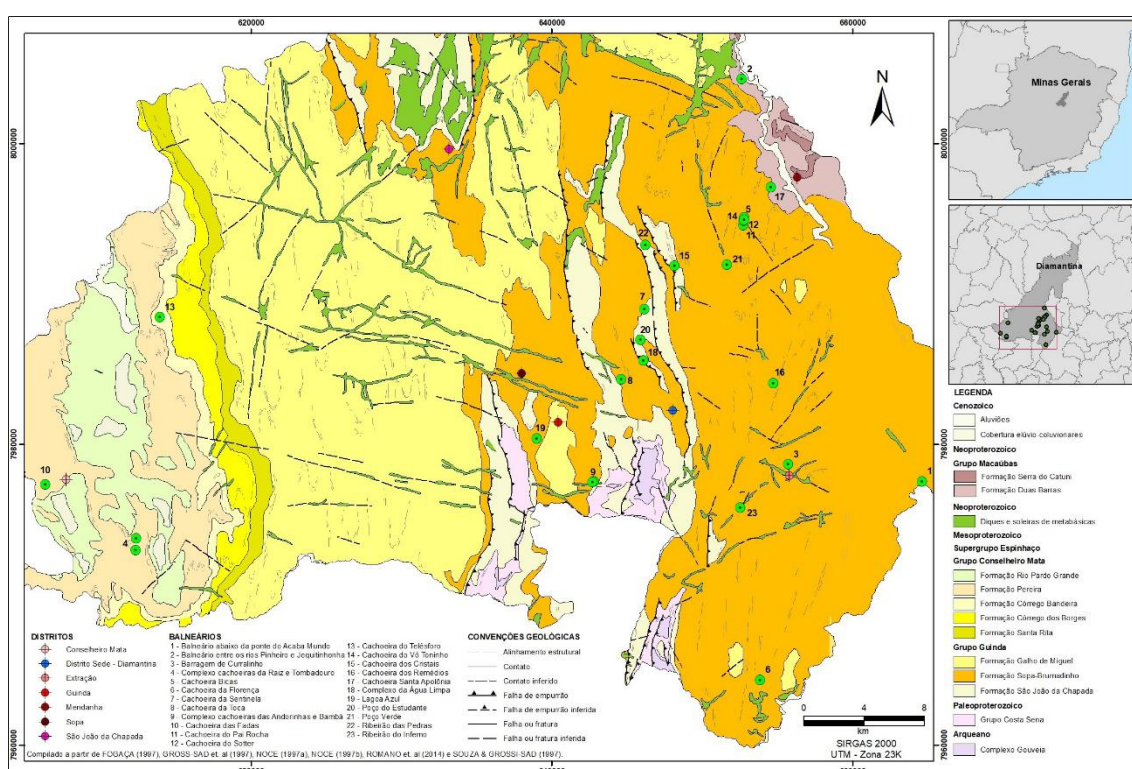
Fonte: elaboração própria.

A cidade desenvolveu-se sobre uma grande variedade litológica. Seu arcabouço geológico constitui-se por rochas do Complexo Gouveia, sucedidas por sequências proterozóicas, predominantemente metassedimentares, correspondentes aos supergrupos Rio Paraúna, Espinhaço e São Francisco. Além de intrusões metabásicas pós-Espinhaço e coberturas cenozoicas (Figura 1). Os atrativos turísticos naturais visitados estão majoritariamente inseridos no contexto das formações São João da Chapada, Sopa-Brumadinho, Córrego Bandeira, Córrego Pereira (Supergrupo Espinhaço) e Duas Barras (Grupo Macaúbas).

Os litotipos que constituem o Supergrupo Espinhaço ocorrem na maior parte do município. Nas porções central e oeste podem ser descritas oito formações definidas por Pflug (1968). As formações São João da Chapada, Sopa-Brumadinho e Galho do Miguel, que compõem o Grupo Guinda (Almeida-Abreu, 1993), ocorrem na porção central do município. O Grupo Conselheiro Mata (Dossin et al., 1985) é constituído pelas formações Santa Rita, Córrego Bandeira, Córrego dos Borges, Córrego Pereira e Rio Pardo Grande. Suas unidades ocorrem mais a oeste da cidade. A Formação São João da Chapada é constituída por quartzitos micáceos, geralmente grossos, associadas a lentes de metaconglomerados polimíticos e metabrechas quartzíticas, filito hematítico e xistos verdes (Fogaça, 1997; Noce, 1997b). Filitos, quartzo-filitos, quartzitos, metaconglomerados polimíticos e xistos verdes (níveis variados de metavulcanitos

básicos) compõem a Formação Sopa-Brumadinho. As unidades do Grupo Conselheiro Mata ocorrem em faixas N-S, na porção ocidental de Diamantina. A Formação Córrego Bandeira caracteriza-se por alternância não uniforme de filitos/metassiltitos e quartzitos finos (Fogaça, 1997). Os quartzitos da formação subjacente gradam para os quartzitos puros da Formação Córrego Pereira, porém no topo da unidade são descritos quartzitos feldspáticos.

Figura 1. Mapa geológico simplificado da porção sul do município de Diamantina e localização dos balneários analisados.



Fontes: Fogaça (1997); Grossi-Sad et al. (1997); Noce (1997a); Noce (1997b); Grossi-Sad (1997).

O Grupo Macaúbas ocorre no centro leste do município, sendo representado na área pelas formações Domingas, Duas Barras, Serra do Catuni e Chapada Acauã. Na Formação Duas Barras ocorrem quartzitos de granulação média a grossa e mal selecionados, às vezes arcossianos, e metarenitos com quantidades variadas de matriz, chegando a quase ausência dessa, com intercalações menores de microconglomerados polimíticos (Fogaça, 1997; Grossi-Sad et al., 1997).

A região é caracterizada por relevo muito acidentado, marcado por elevações e espigões de rochas nuas, que se apresentam intensamente fraturadas e falhadas, que permite a rede de drenagem esculturar a paisagem segundo as direções tectônicas e

estruturais, gerando uma ampla ocorrência de escarpas, linhas de cumeada e grandes desníveis topográficos (Saadi, 1995; Valadão, 1998 in Silva, 2012; Almeida-Abreu et al., 2005).

O Supergrupo Espinhaço está estruturado, na porção central do município de Diamantina, por um importante sistema de falhas de empurrão e zonas de cisalhamento com direção geral N-S e por amplas dobras, de eixos próximos a N-S, abertas com vergência para W (Fogaça e Schöll, 1984; Noce, 1997b). Dossin et al. (1984) descrevem a estruturação, para oeste, em anticlinais e sinclinais abertos sucessivos. Na porção mais oriental, os sistemas de falhas de empurrão e zonas de cisalhamento se apresentam mais desenvolvidos, o que mascara parte dos amplos dobramentos (Fogaça, 1997). Segundo Noce (1997b) são observadas zonas de cisalhamento subverticais entre NE-SW e E-W, cortando as estruturas anteriores. Particularmente, os quartzitos evidenciam o sistema de fraturamento da unidade, com predominância da direção E-W. Fogaça (1997) salienta que, especialmente no setor oriental, predomina fraturas com mergulho para leste.

Destaca-se uma foliação, cuja direção média varia entre N5°W e N10°W, com mergulhos moderados para nordeste, porém em zonas próximas às falhas inversas é possível observar um incremento progressivo do mergulho de até 70°. Noce (1997b) salienta que as rochas do Supergrupo Espinhaço apresentam mergulhos, em torno de 45° para leste, sobretudo próximo ao contato com o Grupo Macaúbas.

Segundo Noce (1997b) a estruturação do Grupo Macaúbas, na porção ocidental de sua área de afloramento em Diamantina, exhibe dobras relativamente abertas, com orientação entre N-S e ENE-WSW. As estruturas planares que caracterizam essas rochas, acamadamentos e foliações, apresentam o máximo para medidas de foliação próxima de N-S, mergulhando para E. A xistosidade orienta-se segundo NNE-SSW, com mergulho de 30° para leste. Nos filitos, xistos e quartzitos micáceos também é descrita uma clivagem ardósiana, de direção média N30°E e com mergulhos variáveis para noroeste.

3. Materiais e métodos

A etapa inicial de elaboração da avaliação geotécnica consistiu na obtenção de informações bibliográficas para a análise preliminar das áreas avaliadas. Posteriormente, foram realizados trabalhos de campo, entre os meses de outubro de 2022 e abril de 2023, em 23 balneários indicados pela Secretaria de Turismo de Diamantina (SECTUR), de acordo com a relevância turística e local dos atrativos.

A caracterização dos balneários envolveu a descrição das propriedades geomecânicas dos maciços rochosos, identificação de indícios de ocorrência de processos geodinâmicos e cenários de iminente deflagração de movimentos de massa.

Um maciço rochoso pode ser considerado como o conjunto formado pela rocha intacta e as descontinuidades que a seccionam. Dessa forma, para caracterizá-los foram descritos parâmetros, tais como, orientação, espaçamento, persistência, abertura, rugosidade, preenchimento, percolação de água, estado de alteração e resistência das paredes dessas estruturas, conforme diretrizes propostas pela ISRM (2014), como descrito a seguir.

a) Orientação: mediu-se a atitude das descontinuidades, bem como a orientação das encostas e paredões.

b) Espaçamento: relaciona-se ao espaçamento modal entre descontinuidades de uma mesma família de junta ou fratura.

c) Persistência: refere-se à continuidade do plano de descontinuidade de acordo com o observado em escala de afloramento.

d) Abertura: representa a distância perpendicular entre as paredes adjacentes de uma mesma descontinuidade, pode estar preenchida ou não por outros materiais.

e) Rugosidade: consiste na mensuração das irregularidades do relevo da descontinuidade.

f) Preenchimento: corresponde ao material que preenche a abertura, ou seja, separa as paredes da mesma.

g) Percolação de água: avaliação da intensidade do fluxo de água e umidade livre observáveis em descontinuidades individuais ou ainda no maciço como um todo.

h) Estado de alteração e resistência das paredes: estimativa do grau de intemperismo da rocha intacta nas paredes de descontinuidades e análise da resposta do material rochoso ao ser percutido.

A interação entre os parâmetros apresentados, bem como o número de famílias de descontinuidades geomecânicas, condiciona o grau de fraturamento dos maciços rochosos. De um modo geral, quanto maior for a quantidade de sistemas de descontinuidades e persistência, e menor o espaçamento, maior será o grau de fraturamento. Ou seja, maior será a quantidade de blocos rochosos formada e menores serão estes, além de tornar o comportamento do maciço cada vez mais isotrópico.

Outro aspecto importante no condicionamento de processos geodinâmicos e

formação de blocos rochosos é a relação angular entre a orientação das descontinuidades e dos paredões que compõem os balneários. A interseção destas estruturas planares pode gerar condições geométricas para a deflagração de movimentos de massa, como deslizamentos planar, quedas e tombamentos de blocos.

Neste contexto, buscou-se identificar blocos delimitados e/ou isolados, cuja descontinuidade que define sua base estivesse desconfinada, ou seja, esteja exposta e com sentido de mergulho subparalelo às encostas, possibilitando futura movimentação. Também, observou-se a ocorrência de lascas ou colunas rochosas condicionadas por descontinuidades com elevado ângulo de mergulho e sentido contrário às encostas.

Ainda foram identificados indícios de instabilidade e movimentação nesses terrenos, como cicatrizes de escorregamentos, degraus de abatimento, trincas e blocos rochosos caídos e/ou rolados. Para estes volumes de material geológico se descreveu dimensão, grau de arredondamento e imbricamento.

Para a classificação de perigo geológico associado a cada balneário se utilizou parcialmente e com algumas modificações a metodologia proposta pelo Projeto GIDES (Pimentel e Santos, 2018). Os procedimentos são empregados na elaboração de cartas de perigo e risco a movimentos gravitacionais e se baseiam em critérios topográficos e indícios de instabilidade na determinação dos tipos de movimentos gravitacionais passíveis de ocorrência em uma área de estudo, uma vez que os mecanismos de ruptura em diferentes processos geodinâmicos são distintos. A primeira etapa se relaciona a levantamentos da base de dados e definição da área de estudo. Já na fase seguinte são aplicados os critérios topográficos para a identificação de perigo potencial e delimitação de áreas suscetíveis a deflagração (área crítica - AC) e/ou atingimento relativas (área de dispersão - AD) a deslizamentos planar e circular, fluxo de detritos e queda de blocos. São atribuídas quatro classes de perigo a movimentos de massa: P1 (perigo baixo), P2 (perigo moderado), P3 (perigo alto) e P4 (perigo muito alto). Em síntese, tal qualificação está baseada na intensidade e dimensão de registros de depósitos de movimentos de massa anteriores e dos indícios de instabilidade dos terrenos. A etapa final corresponde a análise do risco, na qual se deve relacionar os resultados da fase anterior ao grau de vulnerabilidade das edificações suscetíveis a serem atingidas pelos processos geodinâmicos analisados.

Faz-se necessário esclarecer o conceito de perigo geológico, que pode ser definido como a possibilidade de ocorrência de um processo geodinâmico que possa gerar dano

financeiro, humano e/ou material em um determinado período de tempo. Embora as definições de perigo e risco sejam muito semelhantes, salienta-se que ao se tratar de risco, os danos possíveis devem ser mensurados. Contudo, essas áreas por não apresentarem ocupação permanente, a circulação de turistas cria uma situação de risco temporário e variável, de acordo com a quantidade de visitantes, uma vez, que o risco geológico é função do perigo e dos prováveis danos. Sob essa ótica, quanto maior o volume de frequentadores, maior será o grau de risco associado ao atrativo natural.

Diante à diferença entre a ocupação e finalidade do uso das áreas dos balneários e seu caráter mais pontual, as etapas relacionadas a delimitação das áreas críticas e de dispersão não foram executadas, dessa forma, não se justifica o emprego dos critérios topográficos, bem como a qualificação de risco, que se baseia em ocupações urbanas. Portanto, levou-se em consideração como diretrizes apenas as orientações relacionadas a qualificação de perigo baseadas em indícios de instabilidade nos balneários, além de algumas características das famílias de descontinuidades geomecânicas descritas. Dessa forma, estabelece-se os seguintes cenários de perigo geológico:

Baixo – Os balneários não apresentam feições de instabilidade e embora possa haver raros e pequenos depósitos gerados por antigos movimentos de massa, a possibilidade de futura deflagração é baixa. Nesses locais, espera-se observar maciços rochosos com descontinuidades fechadas, sem indícios de considerável percolação de água e colonização vegetal, grau de fraturamento baixo e com mergulhos contrários aos taludes. Esta condição geométrica permite que os possíveis blocos formados estejam assentados sobre estrutura planar confinante, impossibilitando movimentação. Podem estar relacionadas a áreas sem grandes quebras topográficas e ocorrência de maciços rochosos em seu entorno, reduzindo a probabilidade de outros processos geodinâmicos.

Moderado – Estes atrativos naturais não apresentam conspícuas feições de instabilidade e ainda que ocorram depósitos sedimentares gerados por movimentos de massa pretéritos, a suscetibilidade a tais processos geodinâmicos é moderada. Mesmo que possam ser observados blocos rolados, estes são muito angulosos e, de modo geral, bastante imbricados, reduzindo a probabilidade de rolamento. Nesses locais, podem ser observadas famílias de descontinuidades do tipo junta ou fratura, com aberturas variadas, além da xistosidade e acamamento, sem indícios de considerável percolação de água e colonização vegetal. Contudo, pode haver cenários isolados suscetíveis a movimentação de blocos rochosos em áreas de difícil acesso aos visitantes.

Alto – Nestes locais são observados relevantes indícios de instabilidade e depósitos sedimentares gerados por movimentos de massa anteriores, a suscetibilidade a movimentos de massa é alta. Observam-se descontinuidades abertas, intensa percolação de água e colonização vegetal, além de um elevado grau de fraturamento. Podem ser identificados inúmeros blocos rochosos que já sofreram movimentação e/ou estão em situação de iminente queda, contudo, podem estar assentados em descontinuidades com mergulho contrário aos paredões das cachoeiras. De modo geral, estão relacionados a vales encaixados.

Muito alto – As feições de instabilidade são patentes, observam-se depósitos gerados por movimentos de massa anteriores e cicatrizes de escorregamentos. A probabilidade de ocorrência desses processos geodinâmicos é muito alta. Comumente, as estruturas que seccionam os maciços rochosos são muito abertas, caracterizadas por elevado grau de fraturamento, colonização vegetal e intensa percolação, apresentando sinais de surgência de água. De modo geral, estão relacionados a paredões rochosos verticalizados. Podem ser descritos inúmeros blocos caídos e/ou em situação de movimentação iminente, como calhaus sem sustentação e blocos assentados em descontinuidades desconfinadas, cujo plano de base mergulha no mesmo sentido que as paredes do balneário.

Os 23 atrativos turísticos naturais avaliados apresentam áreas de visitação muito distintas, alguns muito restritos, devido a grandes quebras topográficas e vales muito encaixados, e outros abrangendo áreas mais amplas. Dessa forma, para os balneários de maior extensão, optou-se por indicar pontualmente as situações de perigo geológico mais elevado em um contexto geral de perigo mais baixo.

4. Resultados e discussões

Os balneários analisados se desenvolveram em substrato rochoso composto por quartzitos, metaconglomerados e filitos, controlados por diferentes sistemas de descontinuidades geomecânicas, que correspondem à planos de fraqueza estrutural. Estruturas como acamamento, foliação e, principalmente, fraturas compartmentam maciços rochosos, intensificando a fragmentação das rochas e, portanto, interferem em propriedades, como a permeabilidade, o que possibilita uma maior percolação de água e consequente aumento no grau de alteração das rochas. Dessa forma, há redução de

parâmetros geomecânicos dos maciços, tais como coesão e ângulo de atrito interno, conduzindo cenários de instabilidade.

Os atrativos turísticos, em sua maioria, estão associados a quartzitos. Estes litotipos são constituídos, majoritariamente, por quartzo, conferindo à rocha elevada resistência ao intemperismo. De modo geral, os maciços analisados apresentam textura granoblástica, leve alteração e elevada resistência mecânica, entre 100 a 150 Mpa. Eventualmente, registra-se a ocorrência de cristais de mica, originando uma foliação incipiente. Entretanto, a estratificação e as fraturas são as estruturas relevantes para o comportamento geomecânico dos maciços rochosos, devido a formação de blocos. Os metaconglomerados possuem características muito similares aos quartzitos e ocorrem intercalados ou como transição de uma rocha para outra. Quando localizadas nesses cenários, as vertentes dos balneários comumente possuem considerável suscetibilidade a rolamentos, quedas e tombamentos de blocos, sobretudo em regiões com vales fechados e paredões rochosos íngremes. Já os filitos são ricos em minerais planares, como sericita e muscovita, o que os torna altamente suscetíveis ao intemperismo e mecanicamente pouco resistentes. Sua foliação metamórfica característica pode condicionar escorregamentos planares e em cunha, tombamentos e deslocamento de blocos. A tipologia do processo geodinâmico passível de deflagração é dependente das relações angulares entre a face das vertentes e orientação das discontinuidades. Ressalta-se que os maciços rochosos analisados ora eram compostos somente por quartzitos, ora por uma intercalação entre as litologias citadas. A fragmentação dessas rochas ocasiona a formação de tálus na base e no entorno das encostas. Esses depósitos são caracterizados por grande variedade granulométrica e sedimentos mais angulosos, conferindo ao material uma maior permeabilidade e, por conseguinte, elevada suscetibilidade a movimentos de massa, como escorregamentos e rastejos.

Os principais processos geodinâmicos identificados foram rolamento, tombamento, queda de blocos e, subordinadamente, escorregamentos rotacionais. O quadro 2 sintetiza a classificação de perigo dos balneários avaliados.

Quadro 2. Classificação de perigo geológico nos balneários vistoriados.

Balneário	Processos geodinâmicos	Grau de perigo
Balneário abaixo da ponte do Acaba Mundo	Tombamento de blocos	Baixo
Balneário entre os rios Pinheiro e Jequitinhonha	Tombamento de blocos	Baixo
Barragem de Curralinho	-	Baixo
Complexo cachoeiras da Raiz e Tombadouro	Queda de blocos	Baixo
Cachoeira Bicas	Queda de blocos	Baixo
Cachoeira da Florença	Tombamento e rolamento de blocos	Moderado
Cachoeira da Sentinela	Queda de blocos	Baixo
Cachoeira da Toca	Queda de blocos e escorregamento circular	Muito Alto
Complexo cachoeiras das Andorinhas e Bambá	Tombamento e queda de blocos	Muito Alto
Cachoeira das Fadas	Queda de blocos	Alto
Cachoeira do Pai Rocha	Queda de blocos e escorregamento	Alto
Cachoeira do Sotter	Queda de blocos	Alto
Cachoeira do Telésforo	Rolamento de blocos	Baixo
Cachoeira do Vó Toninho	Queda de blocos	Baixo
Cachoeira dos Cristais	Desplacamento de bloco	Baixo
Cachoeira dos Remédios	Queda de blocos e escorregamento	Alto
Cachoeira Santa Apolônia	Queda e rolamento de blocos	Moderado
Complexo da Água Limpa	Solapamento da margem	Baixo
Lagoa Azul	Escorregamento	Baixo
Poço do Estudante	Queda de blocos	Baixo
Poço Verde	Queda de blocos	Baixo
Ribeirão das Pedras	-	Baixo
Ribeirão do Inferno	-	Baixo

Fonte: Elaboração própria, com adaptação do Projeto Gides (Pimentel e Santos 2018), na coluna de Grau de Perigo.

4.1. Perigo baixo – P1

Quinze balneários foram classificados como de perigo baixo. Embora esses atrativos naturais estejam em contextos litológicos semelhantes, há diferenças marcantes nos parâmetros utilizados para a qualificação de perigo nestes locais.

Em alguns casos, trata-se somente de leitos de rios e córregos, caracterizados por assoalhos rochosos ou canais recobertos por sedimentos de granulometrias muito variadas. Nas margens não são observados grandes maciços rochosos com descontinuidades muito abertas, colonização vegetal ou indícios de intensa percolação de água, além de serem áreas sem grandes quebras topográficas. Esses cenários podem ser observados nos balneários sob a ponte do Acaba Mundo, Ribeirão do Inferno, Ribeirão das Pedras, Barragem de Curralinho e entre os rios Pinheiro e Jequitinhonha. De maneira análoga, a Lagoa Azul se estabeleceu em uma antiga lavra garimpeira, rodeada por grande volume de material arenoso e em sua cabeceira podem ser observadas encostas compostas por quartzito puro, da Formação Sopa-Brumadinho muito intemperizado, porém, sem indícios de qualquer tipo de movimentação, contudo, registram-se feições de erosão linear.

O Poço Verde e as cachoeiras Bicas e Vó Toninho, no Caminho dos Escravos, Poço do Estudante no Parque Estadual do Biribiri (PEBi) e as cachoeiras do Telésforo, da Raiz e Tombadouro, no distrito de Conselheiro Mata, apresentam forte controle

estrutural e variáveis graus de compartimentação. Embora sejam observados blocos delimitados e/ou isolados nesses maciços rochosos, em sua maioria, estão assentados sobre alguma família de descontinuidades, cujo mergulho é contrário as paredes das cachoeiras, de modo que a movimentação de blocos se torna impossibilitada. Contudo, podem ser descritos diversos blocos nos leitos das drenagens associadas, além de situações pontuais suscetíveis a tombamento e/ou rolamento de blocos. Todavia, esses cenários que sugerem perigo maior, estão inseridos em pontos de difícil acesso ou inacessíveis aos visitantes.

As cachoeiras da Sentinela e dos Cristais, as mais frequentadas no PEBi, são balneários que abrangem uma ampla área de visitação, sendo compostos por vários níveis topográficos. Dessa forma, são descritas mais detalhadamente.

A Cachoeira da Sentinela está esculpida em quartzito puro, da Formação São João da Chapada, e é composta por três patamares, separados por duas quedas d'água. O poço inferior (Figura 2A) é alimentado por uma por uma cachoeira, cuja parede tem aproximadamente 10 metros de altura e forma escalonada. A estrutura metassedimentar mais proeminente corresponde ao acamamento ainda preservado, contudo este mergulha em sentido contrário a orientação do paredão.

Na porção superior desta cachoeira, três sistemas de fraturas se tornam mais evidentes, indicando maior grau de fraturamento, entretanto, blocos rochosos individualizados são raros. É possível observar um bloco individualizado no topo à esquerda da parede, delimitado por descontinuidades abertas e colonização vegetal. Neste cenário, há possibilidade de rolamento de blocos, caso se desprenda do maciço rochoso.

No lado direito da cachoeira (em relação ao sentido do rio), embora não estejam delimitados blocos rochosos, um sistema de fratura, subparalelo à orientação da parede, condiciona a formação de prismas de rochas, que podem sofrer tombamento, entretanto, caso haja a deflagração do processo (Figura 2A), a área atingida é pouco acessível aos turistas.

O poço principal possui um paredão verticalizado com cerca de 3 metros de altura (Figura 2B). Parte do poço está encaixado em uma pequena incisão, formada entre a parede da cachoeira e um grande bloco rochoso, já movimentado e estável. Acima deste, são observados diversos blocos soltos (Figura 2C) que podem se movimentar em direção ao poço, entretanto estão repousados sobre planos sub-horizontais a levemente

inclinados em direção ao poço. Nos poços superiores (Figura 2D) da Cachoeira do Sentinela não foram identificadas situações que gerem risco aos visitantes.

Figura 2. Cachoeiras classificadas como perigo baixo.



(A) Poço inferior da Cachoeira do Sentinela e lascas de rochas (indicado por seta vermelha) na porção inferior direita com baixo perigo de tombamento (B) Vista frontal do poço principal da Cachoeira do Sentinela (C) Blocos soltos (indicado por seta vermelha) acima do poço principal com perigo de rolamento (D) Vista do patamar superior da Cachoeira do Sentinela (E) Vista da Cachoeira dos Cristais (F) Poço superior da Cachoeira dos Cristais (G) Placas rochosas (indicado por seta vermelha) com elevado perigo a deslocamento e queda de blocos (H) Vista dos poços inferiores adjacentes ao acesso a Cachoeira dos Cristais.

Fonte: elaboração própria.

A Cachoeira dos Cristais é composta por três patamares (Figura 2E), um poço bem restrito na porção mais elevada da área, o poço principal, mais frequentemente visitado, e uma sequência de pequenas quedas d'água que seguem o curso da drenagem. O acesso a estes locais não apresenta situações de perigo aos turistas.

Na porção superior, um pequeno poço (Figura 2F) está encaixado em quartzito bastante recristalizado com muitos veios de quartzo, características que conferem a rocha uma elevada resistência mecânica e ao intemperismo.

Nas paredes mais ocidentais, as principais estruturas, que compartimentam o maciço, são foliações e planos de acamamento que mergulham em sentido contrário a estas paredes. Estes sistemas de descontinuidades são pouco persistentes e bem fechados, portanto, não são verificados blocos rochosos delimitados que possam se movimentar. Em algumas áreas, bem restritas, o maciço é muito fraturado, individualizando pequenos blocos, que não ultrapassam 12 cm de extensão, porém, ocorrem em paredes com cerca de 1 metro de altura, representando um cenário de perigo basicamente inexistente.

Na porção superior esquerda das paredes da queda d'água que alimenta o poço principal, são identificados pequenos blocos soltos, cujo tamanho é condicionado pela interação dos sistemas de descontinuidades geomecânicas (fraturas, foliações e acamadamento). Contudo, não há potencial de atingir áreas frequentadas do balneário.

Na porção inferior esquerda, é possível observar um bloco ainda preso, superior a um metro de extensão, entretanto, caso haja seu desprendimento do maciço, este cairá de pequena altura. Já na porção direita da queda d'água não há indicações de perigo de queda de blocos ou outros movimentos de massa.

Observa-se, contudo, na porção logo abaixo da queda d'água um elevado potencial de deslocamento de lascas rochosas (Figura 2G), condicionadas pela foliação/acamamento das rochas que compõem este maciço e influenciada por intensa percolação de água e eventual colonização vegetal.

Nos patamares inferiores (Figura 2H) ao poço principal, na margem norte da drenagem é possível identificar sistemas de descontinuidades geomecânicas que condicionam a formação de blocos, contudo a possibilidade de rolamento é baixa, visto que os fragmentos rochosos formados estão assentados sobre uma descontinuidade sub-horizontal.

Existem dois acessos para a Cachoeira dos Cristais, mas esses não apresentam situações de perigo aos turistas.

4.2. *Perigo moderado – P2*

Dois balneários foram classificados como de perigo moderado. As diferenças mais relevantes dos balneários supracitados são a abertura das descontinuidades, ocorrência de blocos isolados, indícios de instabilidade e movimentação de blocos um pouco mais evidentes.

O complexo é constituído pela Cachoeira Santa Apolônia e o leito do rio que dá acesso ao atrativo turístico, ambos compostos por uma sequência de quartzitos e metaconglomerados, das formações Sopa-Brumadinho (Supergrupo Espinhaço) e Duas Barras (Grupo Macaúbas). No topo da cachoeira existe uma barragem de concreto (Figura 3A), para barramento de água. Contudo se observa percolação de grande fluxo de água no contato entre a construção de concreto e rochas, que contribui para a redução da estabilidade da estrutura.

O maciço rochoso é bastante fraturado, condicionando a formação de blocos rochosos. Na lateral direita, observa-se grandes blocos e matacões de metaconglomerado e quartzito (Figura 3B). Na encosta baixo da barragem há a presença de inúmeros blocos rochosos formados pelos sistemas de descontinuidades geomecânicas (Figura 3C). O poço a jusante da cachoeira (Figura 3D) não apresenta em seu entorno blocos em situação que possa gerar algum perigo geológico aos visitantes.

No caminho para acessar a cachoeira, ao longo do leito do rio, outros processos geodinâmicos que podem oferecer perigo aos banhistas são percebidos, como queda de blocos, tombamentos, além escorregamento planar, deslizamento de terra e deslocamento.

Figura 3. Cachoeiras classificadas como perigo geológico moderado.



(A) Vista frontal da Cachoeira Santa Apolônia, em Mendanha. Evidencia a percolação de água no contato entre a barragem de concreto e as rochas (indicado por seta vermelha) (B) Blocos e matacões de metaconglomerado e quartzito formados na lateral direita da cachoeira (C) Maciço rochoso estruturalmente compartimentado, formando blocos de diversos tamanhos (D) Poço a jusante da Cachoeira Santa Apolônia. Não apresenta situações de perigo aos banhistas (E) Vista frontal da Cachoeira da Florença, no Povoado do Val (F) Blocos rochosos na porção esquerda da Cachoeira da Florença (G) Matacão de quartzito na porção central da cachoeira (indicado por seta vermelha) (H) Vista superior do poço abaixo da Cachoeira da Florença.

Fonte: elaboração própria.

A Cachoeira da Florença corre sobre um maciço rochoso constituído por quartzito. Verifica-se vários degraus neste atrativo natural (Figura 3E). Lateralmente, observa-se vertentes, mais elevadas que a cachoeira, onde registra-se diversos blocos angulosos, também de quartzito. Embora a compartimentação do leito do curso d'água não seja

muito intensa, existem em ambos os lados blocos angulosos de grandes dimensões, bastante imbricados (Figura 3F).

Na porção superior da cachoeira são registrados muitos blocos grandes deslocados. Ainda, nesse setor um grande matacão se encontra encaixado na porção central no atrativo (Figura 3G). Há possibilidade de tombamento, na parte superior. A cachoeira alimenta um poço, que em seu entorno não ocorrem situações que gerem perigo aos visitantes (Figura 3H).

4.3. *Perigo alto – P3*

As cachoeiras do Pai Rocha e Sotter, no Caminho dos Escravos, Cachoeira das Fadas, em Conselheiro Mata e Cachoeira dos Remédios, em Extração, foram classificadas como de perigo alto. De um modo geral, são balneários marcados por descontinuidades muito abertas, colonização vegetal e preenchimento úmido ou com alguma surgência de água, blocos isolados, evidências conspícuas de movimentação do terreno e de instabilidade no maciço.

O paredão da Cachoeira das Fadas (Figura 4A) é composto por quartzito intercalado a metaconglomerado, da Formação Córrego Pereira, e possui aproximadamente 20 metros de altura. O maciço rochoso apresenta uma estrutura dobrada, do tipo dobra sinclinal, cujo eixo mergulha em sentido contrário a queda d'água. De um modo geral, o paredão da queda d'água é bastante compartimentado por diversos sistemas de descontinuidades geomecânicas. Ao redor do poço podem ser observados muitos blocos rochosos angulosos de diversos tamanhos, que sofreram queda livre ou rolamento (Figura 4B). A quantidade de blocos no entorno da área é evidência de que tais processos são comuns e que há elevado perigo de queda blocos na área. Destaca-se que na descida de acesso ao poço também ocorrem inúmeros blocos. O poço está inserido em uma área topográfica mais baixa na região, dessa forma, também se registra paredões rochosos em frente ao poço, com as mesmas características estruturais do maciço da cachoeira (Figura 4C).

Na descida que dá acesso a Cachoeira dos Remédios, observa-se blocos angulosos de quartzitos de grandes dimensões e indícios de movimentação, gerando perigo de queda de blocos nesta trilha. A encosta é constituída por quartzito, da Formação Sopa-Brumadinho, pouco alterado e há grande variação no padrão de fraturamento do maciço rochoso, portanto apresenta forte controle estrutural.

Registra-se um sistema de descontinuidade, de mergulho contrário a parede, com grande abertura, percolação e colonização vegetal (Figura 4D). Percebe-se que o porte da vegetação é bastante variável. Na porção central da queda d'água não se observa blocos delimitados e/ou soltos, entretanto, na lateral direita são identificados diversos blocos soltos e cavidades geradas por quedas de blocos menores, caracterizando um elevado perigo de queda (Figura E). Nesta porção, o quartzito apresenta diferentes graus de alteração, devido a uma variação local de resistência ao intemperismo, culminando maior desagregação em algumas camadas em detrimento de outras.

Figura 4. Cachoeiras classificadas como perigo alto.



(A) Vista frontal da Cachoeira das Fadas. Ocorrem blocos rochosos no paredão da queda d'água (B) Blocos caídos ou rolados no entorno do poço (C) Paredão rochoso muito compartimentado, que apresenta blocos isolados suscetíveis a queda e inúmeros de blocos caídos no entorno do poço (D) Vista da Cachoeira dos Remédios, com notável compartimentação estrutural, percolação e colonização vegetal (E) Paredão direito da queda d'água. Nota-se intensa formação de blocos e indícios de queda (F) Formação de placas rochosas na base de encosta com elevado perigo de deslocamento (G) Patamar superior da Cachoeira dos Remédios.

Fonte: elaboração própria.

A encosta em frente ao poço é composta por blocos rochosos de diversos diâmetros, material oriundo da alteração do quartzito e solo preenchendo as discontinuidades, percebe-se também indícios de grande percolação de água e consequente intensa colonização vegetal. Essa porção representa elevado perigo de queda de blocos e deslizamentos. Na base da vertente, o acamamento do quartzito condiciona deslocamento (Figura 4F). Em grande parte do vale ocorrem blocos de diversas dimensões. Na parte superior da cachoeira existem diversos blocos de grandes dimensões (Figura 4G), porém, sem perigo de queda no poço.

4.4. *Perigo muito alto – P4*

A Cachoeira da Toca e o Complexo Bambá e Andorinhas foram classificadas como perigo muito alto. De um modo geral, são balneários marcados por discontinuidades muito abertas, colonização vegetal e preenchimento úmido ou com evidente surgência de água, blocos caídos, intensa formação de blocos e evidências marcantes de instabilidade mecânica dos maciços rochosos.

Na porção superior da Cachoeira da Toca, patamar acima da queda d'água há vários pequenos poços. Pode-se observar na área mais distante da queda d'água um baixo perigo a queda de blocos. No topo da cachoeira há formação de blocos, porém, o acamamento mergulha contrariamente a cachoeira.

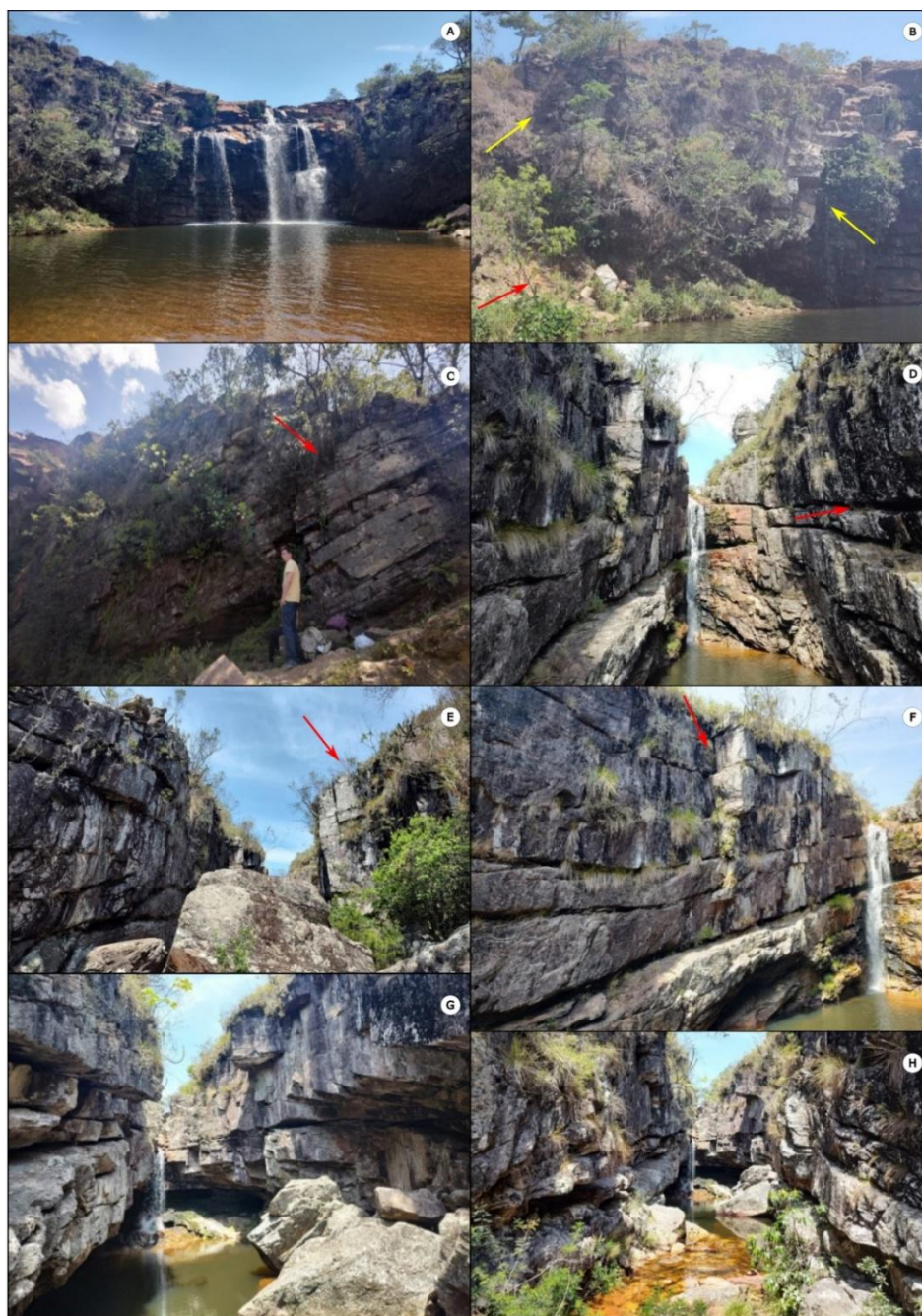
O maciço rochoso que compõe a Cachoeira da Toca (Figura 5A) está muito compartimentado, devido a intenso controle estrutural. Constitui-se por quartzito puro, intercalado a filito, da Formação Sopa-Brumadinho. Na parte superior do paredão, devido ao fraturamento, observa-se blocos soltos com suscetibilidade de queda ou tombamento. A possibilidade de queda varia de acordo com a orientação da discontinuidade que gera a base dos blocos formados. Alguns estão assentados, outros desconfiados e caso se desprendam, será deflagrado um processo geodinâmico. Os maiores blocos são registrados no topo da cachoeira e os menores blocos se encontram na porção intermediária do paredão. Na descida da cabeceira ao poço principal pela

direita, ocorrem afloramentos com muitos fragmentos com elevado perigo que queda de pequenos blocos. Nesta porção pode ser observado que parte do maciço já está deslocada (Figura 5C). Características similares são registradas na margem direita do poço, onde se observa uma maior intensidade de intemperismo, fraturamento do maciço rochoso e colonização vegetal. Quando se analisa a margem esquerda do poço, observa-se um maciço muito compartimentado, evidências de queda de blocos e cicatrizes de escorregamento circular. Próximo ao paredão há diversos cenários de elevado perigo a queda de blocos (Figura 5B).

O acesso às cachoeiras Bambá e Andorinhas se dá por trilha, parte do percurso tangencia a encosta rochosa. Nota-se a ocorrência de lascas e blocos soltos de quartzito no paredão, ainda podem ser observadas indícios de deslocamentos, segundo descontinuidades subhorizontalizadas. O complexo de cachoeiras desenvolve-se em uma sequência composta por metaconglomerado, filito e quartzito, da Formação Sopa-Brumadinho, controlado por um sistema de descontinuidade geomecânica de direção E-W.

A Cachoeira do Bambá possui dois poços, o primeiro é um pouco mais amplo e menos profundo. Em sua porção direita, nota-se alguns blocos soltos, contudo, caso haja movimentação, não há perigo de atingimento da área frequentada. Entretanto, o paredão de quartzito adjacente se encontra bastante compartimentado por três conjuntos de descontinuidades geomecânicas, com um sistema de fraturas subhorizontalizadas mais evidente por sua abertura, intensa exfiltração de água e colonização vegetal. Essas características condicionam a redução da estabilidade da parede rochosa, podendo deflagrar queda de blocos, como demonstrado por diversos indícios. Na parede esquerda, há redução da intensidade de percolação e colonização vegetal, entretanto, ainda é possível observar blocos delimitados que podem cair.

Figura 5. Cachoeiras classificadas como perigo muito alto.



(A) Vista frontal da Cachoeira da Toca (B) Lateral esquerda da queda d'água, onde é possível observar blocos caídos formando um depósito de tálus, diversos blocos rochosos suscetíveis a queda no paredão (indicado por setas amarelas) e Cicatriz de escorregamento circular na base da encosta (indicado por seta vermelha) (C) Afloramento, na margem direita do poço, muito fraturado, intensa alteração, colonização vegetal e indícios de movimentação (indicado por seta vermelha) (D) Vista frontal do poço principal da Cachoeira do Bambá. Evidencia-se descontinuidades muito abertas, devido a intemperismo diferencial relacionado a intercalação de filitos no maciço rochoso (E) Vista dos paredões adjacentes ao poço principal. Registra-se a suscetibilidade de tombamento na parede esquerda da cachoeira (indicado por seta vermelha) (F) Maciço rochoso muito fraturado. Nota-se a ocorrência de blocos soltos de iminente queda (indicado por seta vermelha) (G) Cavidade adjacente a queda d'água, blocos caídos e formação de tetos de quartzito com lascas instáveis na parede esquerda da Cachoeira das Andorinhas (H) Vista frontal da entrada da Cachoeira das Andorinhas.

Fonte: elaboração própria.

No poço principal, o padrão estrutural que controla o fraturamento do maciço se mantém. O maciço rochoso é caracterizado por uma alternância de quartzito e finas camadas de filito, que por menor resistência ao intemperismo e erosão, marca o maciço com descontinuidades subhorizontalizadas de ampla abertura (Figura 5D). Registra-se uma coluna rochosa (Figura 5E), na porção intermediária deste poço, com abertura em torno de 10 cm e com sinais de instabilidade.

Com o intemperismo diferencial, os blocos de quartzitos perdem sustentação e podem cair em queda livre ou tombar. No topo do paredão esquerdo pode ser observado um grande bloco, cuja base corresponde a um plano que mergulha em sentido ao poço (Figura 5F).

A cachoeira e a drenagem se desenvolveram segundo um sistema de fraturas subverticalizado, que inclusive condiciona a formação dos paredões adjacentes ao poço principal e também a deflagração de determinados processos geodinâmicos, como tombamentos.

A parede direita está apoiada em filito, com mergulho concordante ao do quartzito, assim como as intercalações. A evolução da alteração da base do paredão pode provocar a perda de sustentação, como observado na base da parede, podendo deflagrar um tombamento em direção ao poço.

A parede atrás da queda d'água, embora muito compartimentada, não exhibe blocos rochosos isolados. Na parede direita do poço é possível observar diversos blocos soltos. É evidente a ocorrência de coluna rochosa instável sustentada somente por um bloco rochoso, na porção central do poço. As fraturas se encontram muito abertas, registra-se colonização vegetal e indícios de movimento, mesmo que pequena.

O acesso para a Cachoeira das Andorinhas se dá pelas laterais da Cachoeira do Bambá. Parte do caminho corresponde em um trecho da drenagem que abastece a Cachoeira do Bambá.

Na cabeceira da Andorinhas e nas proximidades há intensa formação de blocos de quartzitos, muitos já deslocados do maciço rochoso. Os blocos de quartzito são deslocados e posteriormente caem devido a perda de estabilidade da base, visto que há intercalação de filito, que apresenta menor resistência ao intemperismo, formando tetos de quartzito e intensa fragmentação dos maciços rochosos (Figuras 5G e 5H).

A identificação de perigos geológicos não impossibilita que os atrativos turísticos sejam visitados, contudo, o acesso deve ser realizado com segurança. A administração pública tem um papel central na implementação de estratégias de gestão de riscos, não apenas em Diamantina, mas em outras regiões com atrativos geoturísticos. A ausência de regulamentação específica sobre a gestão de riscos geológicos em áreas turísticas torna a atuação do poder público ainda mais essencial. A regulamentação de normas que integrem a segurança geológica nas políticas de turismo e a criação de um sistema de gestão de riscos geológicos nas áreas turísticas podem ajudar a prevenir tragédias e a garantir a preservação ambiental e a segurança dos visitantes.

De modo geral, foram identificados inúmeros blocos rochosos instáveis, próximos a deflagração de tombamento e/ou queda de blocos. Devido à dificuldade de prever o comportamento dos processos geodinâmicos supracitados, sugere-se a sinalização dos balneários quanto aos perigos geológicos e suas classificações. Esta é fundamental para garantir a segurança dos turistas, que deve ser clara, com placas educativas que orientem sobre os comportamentos seguros a serem adotados, com a indicação das áreas mais instáveis, se possível com fotografias aéreas e croquis detalhados. Salienta-se, que mesmo que um balneário tenha sido classificado como de perigo baixo, é necessário que sejam sinalizados separadamente situações específicas de maior perigo.

Além disso, é fundamental priorizar o trabalho de conscientização e a educação ambiental, uma vez que, frequentemente, os turistas desconhecem os perigos naturais presentes nessas áreas. Recomenda-se, também, a realização de monitoramentos anuais nos balneários, utilizando, quando possível, tecnologias como drones para uma melhor visualização das áreas mais críticas. Essas ações visam à elaboração e implementação de protocolos de segurança, especialmente durante períodos de chuvas intensas. Medidas como a restrição de acesso tornam-se essenciais, considerando que a intensa percolação de água nos maciços rochosos pode alterar rapidamente o cenário de perigo.

5. Conclusão

Os atrativos geoturísticos, como cachoeiras, apresentam naturalmente perigos geológicos, devido a própria evolução da superfície terrestre e podem ser acelerados pela ação antrópica.

Os maciços rochosos que compõem os atrativos turísticos naturais analisados situam-se nas formações São João da Chapada, Sopa-Brumadinho, Córrego Bandeira, Córrego

Pereira, pertencentes ao Supergrupo Espinhaço, e na Formação Duas Barras, do Grupo Macaúbas. Os resultados destacam no uma grande diversidade nos cenários de perigo geológico nos balneários de Diamantina. Nas cachoeiras analisadas, os processos geológicos predominantes estão relacionados aos sistemas de descontinuidades geomecânicas dos maciços rochosos, além das condições ambientais onde a interação entre as descontinuidades geomecânicas, a dinâmica hídrica e o intemperismo acentuam a instabilidade dos maciços. Entre os movimentos de massa mais frequentes estão as quedas e tombamentos de blocos, seguidos, em menor frequência, por rolamento de blocos e deslocamento de lascas.

Dentre os 23 balneários analisados, apenas 6 foram classificados como perigo alto e muito alto. Contudo, os considerados como de perigo muito alto (Cachoeira da Toca e Complexo Bambá e Andorinhas) estão na área de ocorrência da Formação Sopa-Brumadinho, especificamente onde ocorrem quartzitos intercalados a filitos, cujas estruturas favorecem os processos mais frequentes.

É essencial destacar o caráter temporal desta análise, uma vez que ela reflete as condições dos balneários no momento das vistorias, as quais podem se alterar ao longo do tempo. Os processos que atuam na superfície terrestre são muito dinâmicos, assim como as intervenções humanas na paisagem. Vale ressaltar que a análise qualitativa do perigo não tem como objetivo prever acidentes geológicos nos maciços rochosos dos balneários nem determinar sua estabilidade. No entanto, essas informações são de grande relevância para a região, funcionando como referência inicial para estudos mais detalhados e quantitativos sobre os atrativos turísticos com maior risco geológico.

As sugestões que visam reduzir os riscos potenciais aos turistas que visitam os balneários em Diamantina, abrangem desde medidas educativas, sinalização, monitoramento contínuo e a implementação de ações voltadas à mitigação e ao controle desses perigos geológicos. Tais ações podem incluir manejos específicos, realizados, quando necessário, com o acompanhamento de profissionais especializados, como geólogos e alpinistas.

6. Agradecimentos

Esta pesquisa foi desenvolvida em parceria com a Secretária de Turismo de Diamantina (SECTUR), Parque Estadual do Biribiri (PEBI) e suporte logístico da 6ª Companhia Independente de Diamantina.

7. Referências Bibliográficas

- Filho, O. A. (1995). Escorregamento em encostas naturais e ocupadas: Análise e controle. Bittar, O. Y. **Curso de Geologia aplicada ao meio ambiente**. ABGE/IPT. São Paulo.
- Abreu, P. A. A. (1993). A Evolução Geodinâmica da Serra do Espinhaço Meridional, Minas Gerais, Brasil. Tese de doutorado. Universidade de Freiburg. Freiburg
- Abreu, P. A.; Fraga, L. M. S.; Neves, S. C.; Silva, A. C.; Pedreira, L. C.V. S. F. (2005). Fisiografia. **Serra do Espinhaço Meridional: paisagens e ambientes**. Capítulo II. O Lutador. Belo Horizonte.
- Barros, J. S.; Filho, J. S. O.; Filho, I. B. O.; Fernandes, R. J. A. R.; Nascimento, J. R. S. (2022). **Relatório técnico Cânion do Rio Poti**. Buriti dos Montes, Piauí. Serviço Geológico do Brasil-CPRM, Teresina.
- Dossin, I. A.; Uhlein, A.; Dossin, T. M. (1984). Geologia da Faixa Móvel Espinhaço em sua porção meridional, MG. **Anais do 23º Congresso Brasileiro de Geologia**, 7. Rio de Janeiro.
- Dossin, I. A.; Chaves, M. L. S. C.; Uhlein, A.; Alvarenga, C. J. S. (1985). Geologia e depósitos diamantíferos da região de Sopa, Diamantina, Minas Gerais. **Anais do 3º Simpósio de Geologia de Minas Gerais**.
- Fogaça, A.C.C.; Sad, J. H. G.; Lobato, L. M.; Soares, A. C. P.; Filho, B. S. S. (1997). Geologia da folha Diamantina. **Projeto Espinhaço em CD-ROM**. COMIG. Belo Horizonte.
- Fogaça, A. C. C.; Schöll, W. V. (1984). Estratigrafia e tectônica das rochas arqueanas e proterozóicas da região de Guinda e Gouveia (MG). **Anais do 33º Congresso Brasileiro de Geologia**. SBGeo. Rio de Janeiro.
- Sad, J. H. G.; Roque, N. C.; Knauer, L. G.; Noce, C. M.; Fonseca, E.; Lobato, L. M.; Soares, A. C. P.; Filho, B. S. S. (1997). Geologia da Folha Carbonita. **Projeto Espinhaço em CD-ROM**. COMIG. Belo Horizonte.
- Junior, N. I.; Filho, N.; Oliveira, A. M. S.; Brito, S. N. A. (1998). Processos de Dinâmica Superficial. Geologia de Engenharia. ABGE. São Paulo.

IABS. Instituto Brasileiro de Desenvolvimento e Sustentabilidade; RBSE. Reserva da Biosfera da Serra do Espinhaço. (2017). Brasília. **Revista Brasileira da Biosfera da Serra do Espinhaço**, 1(1).

ISRM. (2014). The ISRM Suggested Methods for Rock Characterization, Testing and Monitoring: 2007-2014. Springer. Suíça.

Macedo, E. S.; Bressani, L. A. (2013). Diretrizes para o zoneamento da suscetibilidade, perigo e risco de deslizamentos para planejamento do uso do solo. ABGE/ABMS. São Paulo.

Macedo, E. S.; Mirandola, F. A.; Oliveira, A. M. S.; Monticeli, J. J. (2018). Gestão de riscos geológicos. Geologia de engenharia ambiental. ABGE. São Paulo.

Noce, C. M.; Sad, J. H. G.; Lobato, L. M.; Soares A. C. P.; Filho, B. S. S. (1997b). Geologia da Folha Curimataí. **Projeto Espinhaço em CD-ROM**. COMIG. Belo Horizonte.

Oliveira, M. A.; Andretta, E. R.; Filho, I. B. O.; Marmos, J. L.; Souza, A. G. H. (2022). Avaliação geotécnica nos atrativos geoturísticos de Presidente Figueiredo, AM. SBG/CPRM.

Pedrazzi, A. C.; Cunha, F. L. B.; Dias, R. (2022). Avaliação geotécnica da região dos cânions do Xingó. SBG/CPRM. Rio de Janeiro.

Pflug, R. (1968). Observações sobre a Estratigrafia da Série Minas na Região de Diamantina. Notas Preliminares e Estudos. DNPM. Rio de Janeiro.

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. 1. CPRM. Rio de Janeiro.

Junior, W. R. (2016). Caracterização das unidades geotécnicas da porção leste da Região Metropolitana de Belo Horizonte, Minas Gerais. Dissertação de mestrado. IGC/UFMG. Belo Horizonte.

Saadi, A. (1995). A geomorfologia da Serra do Espinhaço em Minas Gerais. Belo Horizonte. **Geonomos** 3(1), p. 41-63.

Silva, L. F. M.; Kuhlmann, L. G.; Ribeiro, L. M. A. L. (2022). Avaliação geotécnica nos atrativos turísticos no Parque Nacional da Serra da Canastra: São Roque de Minas e Del finópolis, MG. SBG/CPRM. Rio de Janeiro.

Silva, M. L. (2012). Turfeiras da Serra do Espinhaço Meridional: mapeamento e estoque de matéria orgânica. Dissertação de mestrado. FCA/UFVJM. Diamantina.

Sobreira, F. G. (1991). Riscos geológicos: definição de pontos críticos em Ouro Preto. Ouro Preto. **Revista da Escola de Minas**, 44 (3 e 4), p. 213-223.

Tominaga, L. K. (2007). Avaliação de metodologias de análise de risco a escorregamentos: aplicação de um ensaio em Ubatuba, SP. Tese de doutorado. Universidade de São Paulo. São Paulo.

UN-ISDR. International Strategy for Disaster Reduction. (2009). Terminology on Disaster Risk Reduction. UNO. Geneva.

Valadão, R. C. (1998). Evolução de longo-termo do relevo do Brasil Oriental: desnudação, superfície de aplanamento e movimentos crustais. Tese de doutorado. IGC/UFBA. Salvador.