



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA



PAULO EDUARDO SANTOS LIMA

ANÁLISE DO RISCO GEOTÉCNICO EM UMA CAVERNA TURÍSTICA

MONOGRAFIA nº 603

OURO PRETO

Agosto 2026

PAULO EDUARDO SANTOS LIMA

ANÁLISE DO RISCO GEOTÉCNICO EM UMA CAVERNA TURÍSTICA

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Geológica da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de bacharel.

Orientador: Prof. Dr. Paulo de Tarso Amorim Castro

OURO PRETO

2026

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

L732a Lima, Paulo Eduardo Santos.
Análise do risco geotécnico em uma caverna turística. [manuscrito] /
Paulo Eduardo Santos Lima. - 2016.
195 f.: il.: color., tab., mapa.

Orientador: Prof. Dr. Paulo de Tarso Amorim Castro.
Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola
de Minas. Graduação em Engenharia Geológica .

1. Geologia. 2. Engenharia geotécnica. 3. Avaliação de riscos. 4.
Mapas de zoneamento. 5. Mapeamento geológico. 6. Cavernas. 7.
Turismo. I. Castro, Paulo de Tarso Amorim. II. Universidade Federal de
Ouro Preto. III. Título.

CDU 551.44

Bibliotecário(a) Responsável: Soraya Fernanda Ferreira e Souza - CRB6/2322



FOLHA DE APROVAÇÃO

Paulo Eduardo Santos Lima

Análise do Risco Geotécnico em uma Caverna Turística

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Geológica da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de bacharel

Aprovada em 14 de agosto de 2026

Membros da banca

Doutor- Paulo de Tarso Amorim Castro- Orientador - Universidade Federal de Ouro Preto
Doutor - Isaac Daniel Rudnitzki - Universidade Federal de Ouro Preto
Doutor - Hernani Mota de Lima - Universidade Federal de Ouro Preto

Paulo de Tarso Amorim Castro, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 18/08/2026



Documento assinado eletronicamente por **Paulo de Tarso Amorim Castro, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 14/08/2026, às 22:45, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **1164716** e o código CRC **6318F7ED**.

Dedico este trabalho à Terra e tudo que ela deixou a gente ser...

AGRADECIMENTOS

Agradeço, em primeiro lugar, à minha família, especialmente à minha mãe, Heliana, ao meu pai, José Eduardo, e ao meu irmão, Carlos Henrique, pelo apoio incondicional, pela confiança e por nunca terem desistido de mim ao longo desta caminhada.

À Universidade Federal de Ouro Preto e ao Departamento de Geologia, bem como a seus professores, técnicos e demais funcionários, agradeço pela oportunidade de formação em uma instituição pública, gratuita e de qualidade, essencial para o meu desenvolvimento acadêmico, profissional e pessoal.

Aos meus amigos, agradeço pela presença, pelo incentivo, pelas conversas e por todas as contribuições que ajudaram a tornar possível a conclusão desta etapa.

À Sociedade Excursionista e Espeleológica, agradeço por ter me apresentado ao universo das cavernas e por ter despertado em mim o interesse pela espeleologia, que passou a ocupar um lugar fundamental em minha trajetória.

À comunidade ouro-pretana, agradeço pelo acolhimento, pelas vivências e por ter tornado essa jornada tão marcante e especial.

Às empresas amigas, agradeço pelas oportunidades, pelos aprendizados e pelas experiências que contribuíram para a minha formação e para o desenvolvimento deste trabalho.

Por fim, agradeço a todas as pessoas que, de alguma forma, fizeram parte deste caminho e contribuíram para que este momento se tornasse possível.

“Cogito

eu sou como eu sou
pronomes
pessoal intransferível
do homem que iniciei
na medida do impossível

eu sou como eu sou
agora
sem grandes segredos dantes
sem novos segredos dentes
nesta hora

eu sou como eu sou
presente
desferrolhado indecente
feito um pedaço de mim

eu sou como eu sou
vidente
e vivo tranquilamente
todas as horas do fim.”

Torquato Neto

RESUMO

Este trabalho analisa o risco geotécnico associado aos diferentes usos da Lapa de Antônio Pereira, cavidade natural desenvolvida em mármore dolomíticos da Formação Gandarela, no município de Ouro Preto, Minas Gerais. Para essa avaliação, foram realizados mapeamentos geológico e geotécnico, caracterização do maciço rochoso em 14 pontos de controle, aplicação dos índices RQD, RMR e Q, avaliação da estabilidade dos vãos e inventário das feições de instabilidade. Os dados foram integrados em ambiente SIG para a elaboração do zoneamento geotécnico e dos mapas de risco relacionados aos diferentes cenários de uso da cavidade. Foram inventariadas 44 feições de instabilidade, distribuídas entre o interior, a entrada, o pórtico, a fachada e o entorno imediato. Embora os vãos avaliados apresentem condição global de estabilidade, foram reconhecidas instabilidades localizadas associadas principalmente à individualização, ao deslocamento e à queda de blocos. O zoneamento mostrou variações na suscetibilidade geotécnica ao longo da cavidade, com maior concentração de condições desfavoráveis na região da Capela, nas rampas, no Salão dos Sedimentos e nos salões finais. A análise dos diferentes cenários mostrou que o risco não depende apenas das condições do maciço rochoso, mas também da forma como cada setor é utilizado, do tempo de permanência e da concentração de pessoas. Os cenários relacionados ao uso religioso, ao Jubileu e às manutenções prolongadas apresentaram as condições mais restritivas. A integração entre o mapeamento geotécnico, o zoneamento e a análise dos diferentes usos mostrou-se adequada para reconhecer tanto as condições gerais do maciço quanto as instabilidades localizadas e as diferenças de risco entre os cenários avaliados. Os resultados permitem identificar setores prioritários para monitoramento e subsidiar medidas de controle, ordenamento do uso e redução da exposição aos perigos geotécnicos.

Palavras-chave: risco geotécnico; suscetibilidade geotécnica; caverna turística; mapeamento geomecânico; zoneamento geotécnico.

ABSTRACT

This study assesses the geotechnical risk associated with the different uses of Lapa de Antônio Pereira, a natural cave developed in dolomitic marbles of the Gandarela Formation, in the municipality of Ouro Preto, Minas Gerais, Brazil. The investigation comprised geological and geotechnical mapping, rock mass characterization at 14 control points, application of the RQD, RMR, and Q classification systems, cave-span stability assessment, and an inventory of instability features. The resulting data were integrated into a Geographic Information System (GIS) to produce geotechnical zoning and risk maps for the different cave-use scenarios. A total of 44 instability features were inventoried throughout the cave interior, entrance, portal, rock face, and immediate surroundings. Although the assessed spans were classified as globally stable, localized instabilities were identified, mainly related to block delineation, slab detachment, and rockfall. The geotechnical zoning revealed spatial variations in susceptibility to instability, with the most unfavorable conditions concentrated in the Chapel area, along the ramps, in the Sediment Chamber, and in the terminal chambers. The assessment of the different scenarios showed that geotechnical risk is controlled not only by rock mass conditions, but also by how each sector is used, the duration of exposure, and the concentration of people. Religious use, Jubilee celebrations, and prolonged maintenance activities presented the most restrictive conditions. The integration of geotechnical mapping, geotechnical zoning, and cave-use assessment proved effective in identifying both the overall rock mass conditions and localized instabilities, as well as differences in risk among the evaluated scenarios. The results support the identification of priority sectors for monitoring and provide a technical basis for control measures, visitor-use management, and reduction of exposure to geotechnical hazards.

Keywords: geotechnical risk; geotechnical susceptibility; tourist cave; geomechanical mapping; geotechnical zoning.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Vista aérea da Lapa de Antônio Pereira, do entorno da cavidade e do distrito de Antônio Pereira.....	19
Figura 2 - Aspectos gerais da Lapa de Antônio Pereira (A) pórtico de entrada da gruta; (B) salão principal e estruturas internas associadas ao uso religioso; (C) uso educacional no interior da gruta.	20
Figura 3 - Comparação entre a entrada da Lapa de Antônio Pereira: (A) registro histórico da fachada e do pórtico; (B) configuração atual da entrada.	22
Figura 4 - Aspectos internos da Lapa de Antônio Pereira: (A) estruturas associadas ao uso religioso no Salão da Capela; (B) escoamento de calcita protegido por estrutura de acrílico; (C) morfologia dos condutos internos.	23
Figura 5 - Concentração de visitantes durante o Jubileu de Nossa Senhora da Conceição da Lapa: (A) celebração na zona externa; (B) fluxo de visitantes no interior da cavidade.	23
Figura 6 - Mapa de localização e vias de acesso à Lapa de Antônio Pereira, distrito de Antônio Pereira, Ouro Preto-MG.	25
Figura 7 - Contexto geotectônico do Cráton São Francisco e localização do Quadrilátero Ferrífero.	27
Figura 8 - Mapa geológico do Quadrilátero Ferrífero, com destaque para as principais unidades litoestratigráficas e estruturas regionais.	28
Figura 9 - Coluna litoestratigráfica simplificada do Quadrilátero Ferrífero, com destaque para a Formação Gandarela.	29
Figura 10 - Mapa geológico regional do Anticlinal de Mariana e entorno da Lapa de Antônio Pereira.	30
Figura 11 - Mapa geológico de detalhe da área da Lapa de Antônio Pereira, com destaque para a Formação Gandarela e para o limite do Monumento Natural Municipal Gruta de Nossa Senhora da Lapa.	31
Figura 12 - Unidades geomorfológicas do Anticlinal de Mariana, com destaque para a área de estudo.	33
Figura 13 - Rede hidrográfica e contexto altimétrico no entorno do Monumento Natural Municipal Gruta de Nossa Senhora da Lapa.	35
Figura 14 - Delimitação da área de influência do meio físico e configuração topográfica no entorno da Lapa de Antônio Pereira.	36
Figura 15 - Fluxograma conceitual da análise de risco geotécnico em cavernas.	42

Figura 16 - Planta baixa da Gruta de Nossa Senhora da Conceição da Lapa, utilizada como base topográfica para o mapeamento geológico-geomecânico da cavidade.	47
Figura 17 - Mármore dolomítico de coloração cinzenta e roxeada (A), esbranquiçada (B) e laranja e rosada (C e D). São cobertos ora com espeleotemas e ações antrópicas (A) e pichações (B e D). Volumoso bloco abatido no extremo norte na gruta, possível contato litológico.....	59
Figura 18 - Projeção esferográfica de S0.....	60
Figura 19 - Projeção esferográfica de Sn.....	60
Figura 20 - Relação de mergulho entre S0 e Sn, em (A) mergulho mais comum observado ao longo da cavidade; em (B) mergulho acentuado de S0 e Sn.	61
Figura 21 - Famílias de descontinuidades observadas dentro da gruta, em (A) a família F1, mais marcante; em (B) a família F2 ortogonal a F1.....	61
Figura 22 - Projeção esferográfica de F1.....	62
Figura 23 - Projeção esferográfica de F2.....	62
Figura 24 - Projeção esferográfica de F3.....	63
Figura 25 - Mapa geológico-estrutural da Lapa de Antônio Pereira, com representação das famílias de descontinuidades mapeadas.	64
Figura 26 - Distribuição dos pontos de controle geotécnico na Lapa de Antônio Pereira.	67
Figura 27 - Distribuição espacial dos valores de RQD na Lapa de Antônio Pereira.	69
Figura 28 - Distribuição espacial dos valores de RMR na Lapa de Antônio Pereira.	71
Figura 29 - Distribuição espacial dos valores do Índice Q na Lapa de Antônio Pereira.....	73
Figura 30 - Distribuição espacial da dinâmica hídrica no interior da Lapa de Antônio Pereira.	75
Figura 31 - Distribuição espacial da dinâmica sedimentar no interior da Lapa de Antônio Pereira.....	77
Figura 32 - Ábaco de estabilidade de vãos em cavidades naturais, com plotagem dos pontos avaliados na Lapa de Antônio Pereira.	79
Figura 33 - Exemplos de feições de instabilidade reconhecidas nos domínios externo e interno da Lapa de Antônio Pereira em (A) torre residual, referente ao ponto E-02; em (B) bloco com possibilidade de tombamento, referente ao ponto I-11; em (C) pendente em balanço, referente ao ponto I-05; em (D) bloco com possibilidade de rolamento, referente ao ponto I-35.	81
Figura 34 - Distribuição espacial das feições de instabilidade inventariadas na Lapa de Antônio Pereira.	82

Figura 35 - Feições de instabilidade mapeadas na fachada, no pórtico e no entorno da entrada da Lapa de Antônio Pereira.	83
Figura 36 - Feições de instabilidade mapeadas na fachada, no pórtico e no entorno da entrada da Lapa de Antônio Pereira.	83
Figura 37 - Distribuição da suscetibilidade geotécnica de base no interior da Lapa de Antônio Pereira.	88
Figura 38 - Distribuição das áreas de influência das feições de instabilidade internas.	91
Figura 39 - Distribuição da suscetibilidade geotécnica após a penalização pelas áreas de influência das feições de instabilidade.	93
Figura 40 - Distribuição da suscetibilidade geotécnica relativa no interior da Lapa de Antônio Pereira.	95
Figura 41 - Regiões funcionais associadas ao uso público da Lapa de Antônio Pereira.	98
Figura 42 - Distribuição do risco geotécnico associado ao turismo convencional na Lapa de Antônio Pereira.	106
Figura 43 - Distribuição do risco geotécnico associado ao uso religioso e às missas na Lapa de Antônio Pereira.	108
Figura 44 - Distribuição do risco geotécnico associado ao Jubileu e aos eventos religiosos na Lapa de Antônio Pereira.	110
Figura 45 - Distribuição do risco geotécnico associado ao espeleoturismo na Lapa de Antônio Pereira.	112
Figura 46 - Distribuição do risco geotécnico associado ao uso educativo na Lapa de Antônio Pereira.	114
Figura 47 - Distribuição do risco geotécnico associado às vistorias rápidas na Lapa de Antônio Pereira.	117
Figura 48 - Distribuição do risco geotécnico associado às manutenções de rotina na Lapa de Antônio Pereira.	119
Figura 49 - Distribuição do risco geotécnico associado às manutenções prolongadas na Lapa de Antônio Pereira.	122

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Síntese das estruturas geológicas mapeadas na Lapa de Antônio Pereira.....	63
Tabela 2 - Caracterização da rocha intacta nos pontos de controle geotécnico.	65
Tabela 3 - Condições das descontinuidades, presença de água e preenchimento nos pontos de controle geotécnico.....	66
Tabela 4 - Parâmetros utilizados na estimativa do RQD e valores obtidos nos pontos de controle geotécnico.....	68
Tabela 5 - Pontuações dos parâmetros do RMR e valores obtidos nos pontos de controle geotécnico.....	70
Tabela 6 - Parâmetros do sistema Q e valores do Índice Q obtidos nos pontos de controle geotécnico.....	72
Tabela 7 - Dimensões dos vãos, Índice Q, dimensão equivalente e classes de estabilidade nos pontos de controle.....	78
Tabela 8 - Distribuição dos tipos de feições de instabilidade inventariadas	84
Tabela 9 - Distribuição dos mecanismos potenciais de instabilidade definidos para as feições inventariadas.....	85
Tabela 10 - Distribuição das trajetórias prováveis de movimentação das feições de instabilidade.....	86
Tabela 11 - Critérios de definição dos raios de influência das feições de instabilidade internas.....	89
Tabela 12 - Mecanismos definidos, número de feições internas e penalizações aplicadas no zoneamento geotécnico.....	90
Tabela 13 - Área e proporção das classes de suscetibilidade geotécnica relativa no interior da Lapa de Antônio Pereira.....	94
Tabela 14 - Caracterização dos cenários de uso e setores principalmente utilizados na Lapa de Antônio Pereira.....	96
Tabela 15 - Quantificação da visitação e implicações para a exposição nos diferentes usos da cavidade.....	97
Tabela 16 - Regiões funcionais da Zona de Uso Intensivo e respectivas funções no uso da cavidade.....	99
Tabela 17 - Capacidade de carga e implicações para a exposição nos diferentes roteiros e modalidades de visitação.....	100

Tabela 18 - Classes de exposição atribuídas aos cenários de uso por região funcional da cavidade.	101
Tabela 19 - Classes de suscetibilidade geotécnica interna definidas a partir da pontuação final do zoneamento.	103
Tabela 20 - Correspondência ordinal entre a suscetibilidade geotécnica interna e a frequência estimada no domínio externo/transicional.	103
Tabela 21 - Bases espaciais utilizadas na integração dos domínios interno e externo/transicional.	103
Tabela 22 - Matriz de classificação do risco geotécnico.	104
Tabela 23 - Caracterização das situações de uso operacional e classes de consequência associadas.	115
Tabela 24 - Correspondência entre as classes de risco, os níveis de aceitabilidade e as implicações para o manejo.	124

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABGE — Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental

ABNT — Associação Brasileira de Normas Técnicas

CECAV — Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas

CPRM — Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais

CSF — Cráton São Francisco

GEO144 — Projeto Final de Curso II

IBGE — Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IDW — Inverse Distance Weighting

IGA — Instituto de Geociências Aplicadas

ISRM — International Society for Rock Mechanics

ITA — International Tunnelling Association

MG — Minas Gerais

ODS — Objetivos de Desenvolvimento Sustentável

QF — Quadrilátero Ferrífero

RCU — Resistência à Compressão Uniaxial

RMR — Rock Mass Rating

RMi — Rock Mass Index

RQD — Rock Quality Designation

SBE — Sociedade Brasileira de Espeleologia

SIG — Sistema de Informação Geográfica

UFOP — Universidade Federal de Ouro Preto

UTM — Universal Transverse Mercator

LISTA DE SÍMBOLOS

Q	— Índice de qualidade do maciço rochoso, conforme o sistema Q
RQD	— Índice de qualidade da rocha, Rock Quality Designation
J_v	— Número volumétrico de juntas
S_i	— Espaçamento médio da família de descontinuidades i
J_n	— Índice referente ao número de famílias de descontinuidades
J_r	— Índice referente à rugosidade das descontinuidades
J_a	— Índice referente ao grau de alteração ou preenchimento das descontinuidades
J_w	— Índice referente à influência da água
SRF	— Fator de redução por tensões, Stress Reduction Factor
ESR	— Índice relacionado ao tipo de escavação ou à finalidade de uso do espaço subterrâneo, Excavation Support Ratio
D_e	— Dimensão equivalente do vão
S_0	— Acamamento ou bandamento composicional do mármore
S_n	— Foliação tectônica ou metamórfica
F_1 a F_5	— Famílias de descontinuidades identificadas no maciço rochoso
L_i	— Lineação de interseção entre os planos S_0 e S_n
°	— Grau, unidade utilizada nas medidas angulares de direção e mergulho
Z_b	— Pontuação geotécnica de base do zoneamento
Q_p	— Pontuação atribuída à qualidade geomecânica do maciço com base no Índice Q
M_p	— Pontuação atribuída ao mecanismo potencial de ruptura no zoneamento de base
H_p	— Pontuação atribuída à condição hidrológica
S_p	— Pontuação atribuída à possibilidade de movimentação de sedimentos
V_p	— Pontuação atribuída à estabilidade dos vãos
P_i	— Penalização associada à feição de instabilidade i
M_i	— Pontuação atribuída ao mecanismo potencial da feição de instabilidade i
P_{max}	— Maior penalização incidente sobre o local analisado
Z_f	— Pontuação geotécnica final do zoneamento

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	19
1.1	DESCRIÇÃO E CONTEXTUALIZAÇÃO HISTÓRICA DA CAVIDADE	21
2	LOCALIZAÇÃO E VIAS DE ACESSO	25
3	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	27
3.1	Geologia Regional	27
3.2	Geologia Local	30
3.3	Geomorfologia.....	32
3.4	Clima e Hidrografia	34
4	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	37
4.1	Mapeamento geotécnico de cavernas	37
4.2	Classificações geomecânicas aplicadas a maciços rochosos	37
4.3	Descontinuidades, análise cinemática e mecanismos de instabilidade.....	38
4.4	Estabilidade de vãos em cavidades naturais	38
4.5	Zoneamento geotécnico de cavidades	39
4.6	Análise do risco geotécnico em cavernas turísticas.....	40
5	OBJETIVOS	43
5.1	Objetivo geral	43
5.2	Objetivos específicos.....	43
6	JUSTIFICATIVA	45
7	METODOLOGIA.....	47
7.1	Base topográfica e delimitação espacial da cavidade	47
7.2	Mapeamento geológico.....	48
7.3	Mapeamento geomecânico e caracterização dos pontos de controle	48
7.4	Classificações geomecânicas: RQD, RMR e Índice Q.....	49
7.5	Tratamento espacial dos dados em SIG e interpolação IDW	50
7.6	Inventariação das feições de instabilidade.....	51

7.7	Avaliação da estabilidade dos vãos	52
7.8	Zoneamento geotécnico	53
7.9	Uso público, tempo de exposição e setores de visitação	55
7.10	Análise do risco geotécnico	56
8	RESULTADOS	59
8.1	Mapeamento geológico da cavidade.....	59
8.2	Caracterização geotécnica do maciço rochoso	65
8.3	Classificações geomecânicas do maciço rochoso.....	68
8.3.1	Rock Quality Designation Index — RQD	68
8.3.2	Rock Mass Rating — RMR.....	70
8.3.3	Rock Tunneling Quality Index — Q	72
8.4	Dinâmica hídrica.....	74
8.5	Dinâmica sedimentar	76
8.6	Avaliação da estabilidade dos vãos	78
8.7	Inventariação das feições de instabilidade.....	80
8.8	Zoneamento geotécnico da cavidade	87
8.9	Caracterização do uso público, uso operacional, roteiros de visitação e exposição.....	96
8.10	Avaliação do risco geotécnico nos diferentes cenários de uso	102
8.10.1	Integração dos domínios interno e externo.....	102
8.10.2	Risco associado ao turismo convencional	104
8.10.3	Risco associado ao uso religioso/missa	107
8.10.4	Risco associado ao Jubileu e eventos religiosos.....	109
8.10.5	Risco associado ao espeleoturismo.....	111
8.10.6	Risco associado ao uso educativo.....	113
8.10.7	Risco associado ao uso operacional.....	115
8.10.7.1	Risco associado a vistorias rápidas.....	116
8.10.7.2	Risco associado a manutenções de rotina.....	118

8.10.7.3	Risco associado a manutenções prolongadas	120
9	DISCUSSÕES	123
10	CONCLUSÕES	127
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	129
	ANEXO A – CRITÉRIOS DE CARACTERIZAÇÃO DA ROCHA INTACTA E DAS DESCONTINUIDADES	134
	ANEXO B – CRITÉRIOS UTILIZADOS NOS ÍNDICES RQD, RMR, Q-SYSTEM.....	137
	APÊNDICE A – CRITÉRIOS DE ZONEAMENTO GEOTÉCNICO	141
	APÊNDICE B – CRITÉRIOS UTILIZADOS NA ANÁLISE DO RISCO GEOTÉCNICO	143
	APÊNDICE C - INVENTÁRIO E CARACTERIZAÇÃO DAS FEIÇÕES DE INSTABILIDADE DA LAPA DE ANTÔNIO PEREIRA	145
	APÊNDICE D - FICHAS INDIVIDUAIS DE CARACTERIZAÇÃO E AVALIAÇÃO DO RISCO DAS FEIÇÕES DE INSTABILIDADE	150

1 INTRODUÇÃO

Situada no distrito de Antônio Pereira, em Ouro Preto-MG, a Lapa de Antônio Pereira (SBE MG-1649) é uma cavidade natural subterrânea desenvolvida nos mármorees dolomíticos da Formação Gandarela. Inserida no Monumento Natural Municipal Gruta de Nossa Senhora da Lapa, a cavidade apresenta relevância geológica, histórica, religiosa e turística, além de estar localizada em uma região marcada pela transição entre ocupação urbana, patrimônio natural e atividades relacionadas ao garimpo de topázio imperial (MECROC, 2020) (FIG.1).

Figura 1 - Vista aérea da Lapa de Antônio Pereira, do entorno da cavidade e do distrito de Antônio Pereira.



Fonte: elaborado pelo autor.

O uso público da cavidade ocorre de forma múltipla, envolvendo práticas religiosas, visitação contemplativa, atividades educativas e percurso espeleoturístico em seus condutos internos. Segundo o Plano de Manejo Espeleológico da Gruta Nossa Senhora da Conceição da Lapa, o trecho inicial da gruta, entre o portão de entrada e a caixa d'água, concentra o uso religioso e a circulação mais livre dos visitantes, enquanto o roteiro espeleoturístico contemplativo se desenvolve de forma linear a partir desse ponto, seguindo por trilha delimitada até os salões finais (PLANTUC, 2025) (FIG. 2). Além da visitação esparsa de turistas e grupos escolares ao longo do ano, a cavidade recebe fluxo concentrado de visitantes durante o Jubileu de Nossa Senhora da Conceição da Lapa, no mês de agosto (PLANTUC, 2025). Nesse contexto,

a avaliação geológica-geotécnica torna-se essencial para compreender a relação entre os setores de circulação e permanência de pessoas e as possíveis condições de instabilidade da cavidade.

Figura 2 - Aspectos gerais da Lapa de Antônio Pereira (A) pórtico de entrada da gruta; (B) salão principal e estruturas internas associadas ao uso religioso; (C) uso educacional no interior da gruta.



Fonte: fotos A e C acervo do autor, foto B de Vitor Moura

A caracterização e avaliação do comportamento do maciço rochoso são essenciais quando o objetivo é preservar a integridade física da caverna diante dos impactos causados pela visitação turística. Eventos climáticos e vibrações externas podem colocar em risco o patrimônio e a segurança dos usuários, tornando essencial a aplicação de uma inspeção geológica-geotécnica para o ordenamento do uso público (ABGE, 2025). Nesse cenário, o mapeamento de estabilidade é uma ferramenta fundamental para identificar condições incompatíveis com a segurança do público (VENDRAMINI, 2006).

A aplicação de uma Análise de Risco Geotécnico permite a antecipação de cenários críticos e o oferecimento de subsídios para medidas de mitigação eficazes. Tais procedimentos

são recomendados por diretrizes normativas para prover segurança aos usuários e trabalhadores e proteger o patrimônio espeleológico (ABGE, 2025). Essa abordagem sistemática é vital para a implementação de sistemas de gestão da segurança que busquem minimizar os riscos inerentes ao ecoturismo e às atividades de aventura (ABNT, 2016).

Dessa forma, o problema central deste trabalho consiste em avaliar como as condições geológicas, estruturais e geomecânicas da caverna influenciam a geração de perigos geotécnicos e sua relação com a segurança dos visitantes.

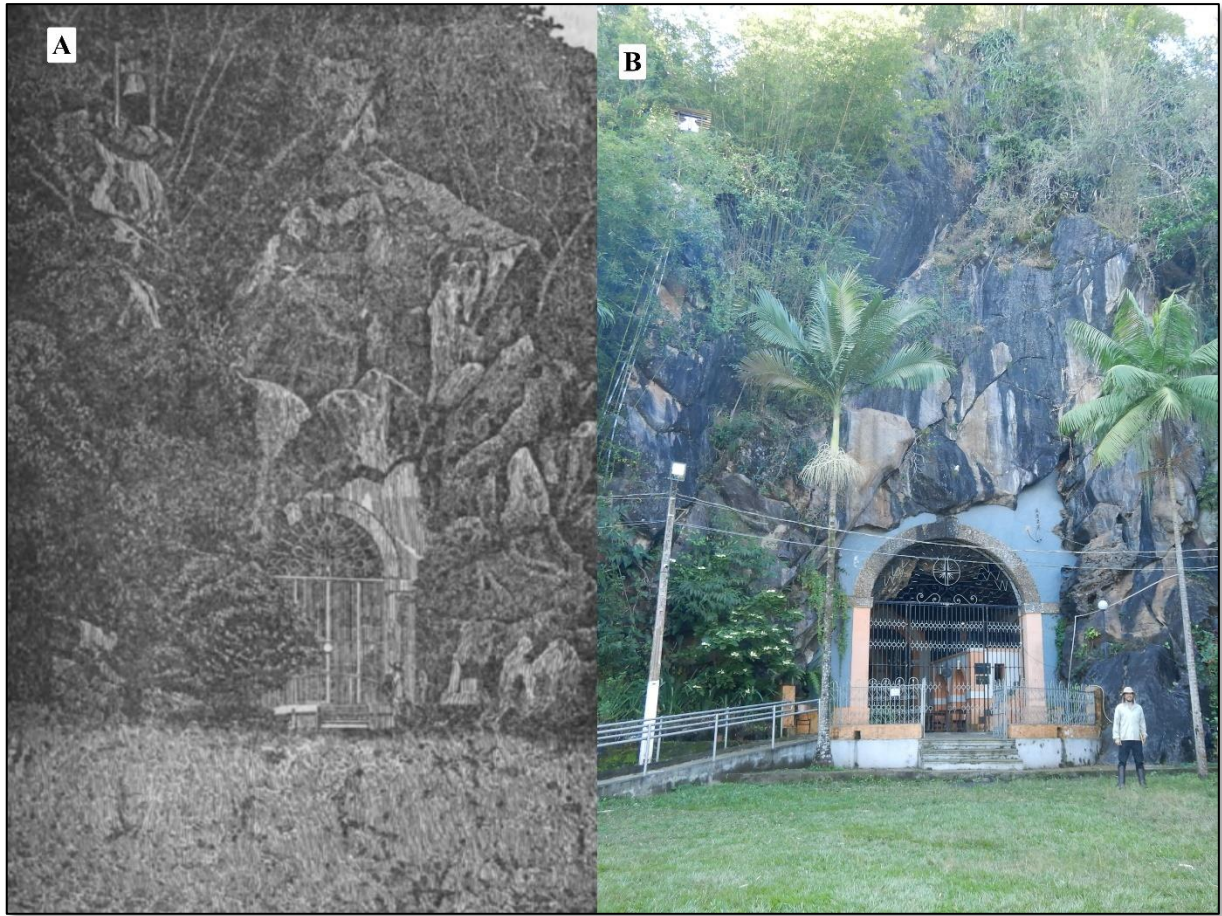
A proposta também se relaciona aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030, especialmente ao ODS 11, ao contribuir para a proteção do patrimônio natural e cultural e para o ordenamento seguro do uso público; ao ODS 15, ao tratar da conservação de ambientes naturais subterrâneos e da geodiversidade associada; e ao ODS 13, ao considerar a influência de eventos climáticos e processos geodinâmicos na avaliação da estabilidade geotécnica da cavidade. O estudo reforça, assim, a importância da integração entre geociências, conservação patrimonial, segurança da visitação e desenvolvimento territorial sustentável.

1.1 DESCRIÇÃO E CONTEXTUALIZAÇÃO HISTÓRICA DA CAVIDADE

O conhecimento da Lapa de Antônio Pereira remonta aos primórdios do século XVIII. Segundo Paula et al. (2007), existem versões semelhantes para a origem da relação entre a cavidade e o culto a Nossa Senhora da Conceição da Lapa, associadas à tradição de que crianças teriam encontrado uma imagem da santa no interior da gruta. O Plano de Manejo Espeleológico da Gruta Nossa Senhora da Conceição da Lapa também destaca que a romaria de devotos teria se iniciado em 1722, coincidindo com a descoberta da gruta, o que indica pelo menos cerca de três séculos de visitação registrada, principalmente para fins religiosos (PLANTUC, 2025). A partir desse processo, consolidou-se a devoção religiosa no local, posteriormente intensificada pela construção de uma capela no interior da cavidade e pela realização de cultos e celebrações.

A existência da capela também foi registrada por viajantes e naturalistas que estiveram na região, como Casal (1817) e Spix e Martius (1824), além de relatos atribuídos a Dom Pedro II sobre o pórtico de entrada e as condições internas da cavidade. Posteriormente, a gruta também foi descrita e ilustrada na obra *As Grutas de Minas Gerais* (FIG. 3), publicada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, registro que reforça sua relevância histórica, religiosa e espeleológica no contexto mineiro (IBGE, 1939).

Figura 3 - Comparação entre a entrada da Lapa de Antônio Pereira: (A) registro histórico da fachada e do pórtico; (B) configuração atual da entrada.

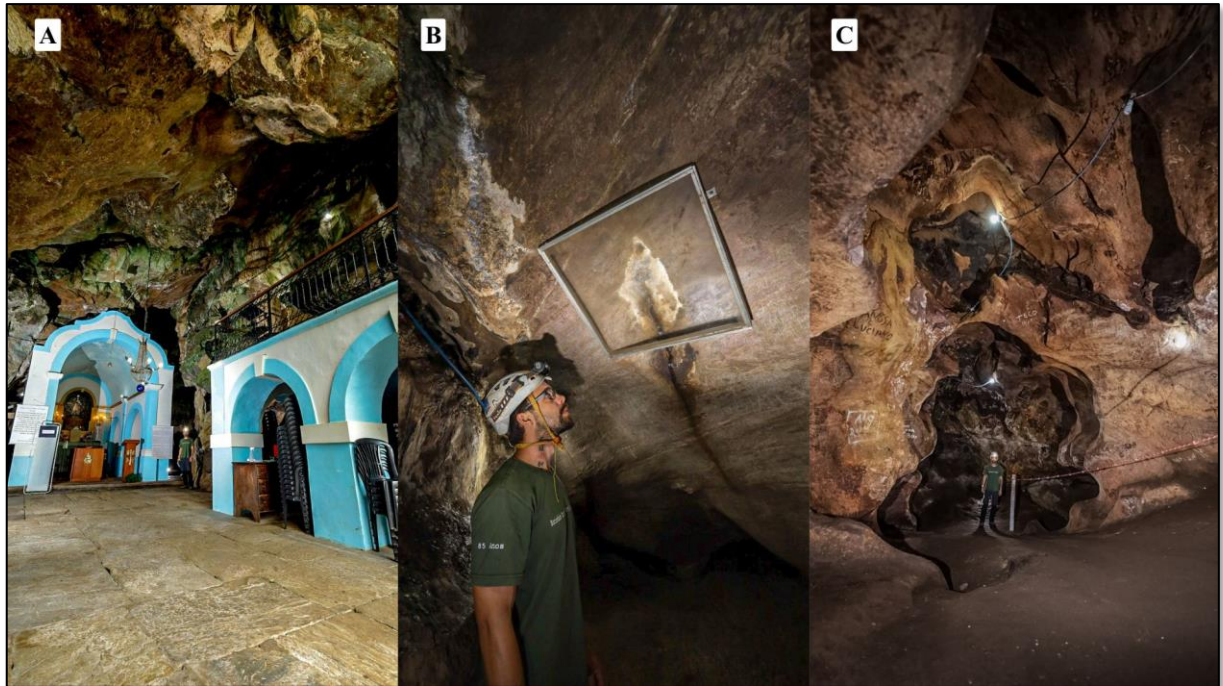


Fonte: foto A IBGE (1939) e Foto B acervo do autor.

A crescente peregrinação religiosa motivou a criação do Parque Municipal Nossa Senhora da Lapa pela Lei Municipal nº 75/1993. Posteriormente, os limites da unidade de conservação foram definidos no plano de manejo elaborado em 2010 e, em 2011, sua categoria foi alterada para Monumento Natural Municipal Gruta de Nossa Senhora da Lapa, por meio da Lei Municipal nº 695/2011. Esse processo evidencia a importância da cavidade como patrimônio natural, histórico-cultural e religioso do município de Ouro Preto.

Em função do longo processo de uso e ocupação, a Lapa de Antônio Pereira apresenta intervenções significativas em seu interior e entorno, como estruturas de alvenaria para apoio aos visitantes, muro e portão de acesso, piso revestido no salão principal, capela, púlpito, marquise sustentada por pilares de concreto, iluminação artificial, pichações e áreas destinadas a práticas devocionais (FIG. 4).

Figura 4 - Aspectos internos da Lapa de Antônio Pereira: (A) estruturas associadas ao uso religioso no Salão da Capela; (B) escoamento de calcita protegido por estrutura de acrílico; (C) morfologia dos condutos internos.



Fonte: acervo do autor.

A cavidade também apresenta espeleotemas expressivos, como estalactites, estalagmites, colunas, cortinas, escoamentos e travertinos, além de condutos laterais e salões internos. Durante o Jubileu de Nossa Senhora da Conceição da Lapa, realizado no mês de agosto, a gruta recebe visitação concentrada (FIG. 5), com público anual superior a 10.000 pessoas e picos de até 15.000 visitantes durante o período festivo, segundo o Plano de Manejo Espeleológico. Ao longo do ano, também ocorrem visitas mais esparsas, realizadas por turistas e grupos escolares, reforçando a relevância religiosa, turística, educativa e cultural da cavidade (MECROC, 2020; PLANTUC, 2025).

Figura 5 - Concentração de visitantes durante o Jubileu de Nossa Senhora da Conceição da Lapa: (A) celebração na zona externa; (B) fluxo de visitantes no interior da cavidade.



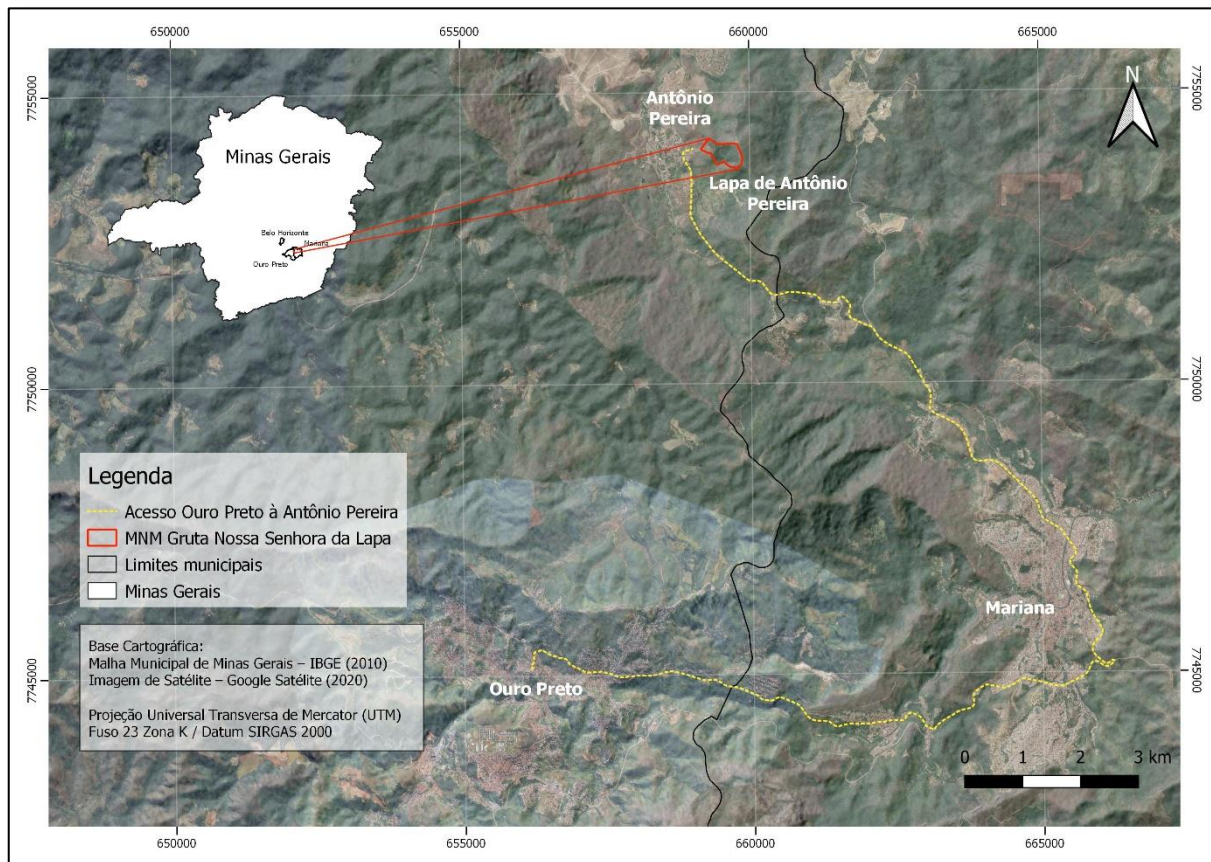
Fonte: Alenice Baeta.

2 LOCALIZAÇÃO E VIAS DE ACESSO

A Lapa de Antônio Pereira localiza-se no distrito de Antônio Pereira, pertencente ao município de Ouro Preto, Minas Gerais, a aproximadamente 25 km da sede municipal. A cavidade situa-se na porção sudeste do Quadrilátero Ferrífero, em área próxima ao núcleo urbano do distrito, sendo acessada pelo entorno do Santuário de Nossa Senhora da Lapa. A área de estudo insere-se em uma região de relevo acidentado, marcada por encostas, vales encaixados e pela presença de vias locais que conectam a entrada da cavidade ao restante do distrito.

O acesso principal, a partir da área central de Ouro Preto, ocorre pela BR-356, seguindo posteriormente pela MG-129 em direção ao distrito de Antônio Pereira. Também é possível acessar Antônio Pereira pela Estrada da Purificação, via local que conecta a sede de Ouro Preto ao distrito e constitui uma alternativa de deslocamento sem a necessidade de passagem pelo município de Mariana. Ao chegar ao distrito, o deslocamento até a cavidade é realizado pela rua da Lapa, via local que conduz ao entorno imediato da entrada da gruta. A localização da cavidade e suas principais vias de acesso são apresentadas na FIG. 6.

Figura 6 - Mapa de localização e vias de acesso à Lapa de Antônio Pereira, distrito de Antônio Pereira, Ouro Preto-MG.



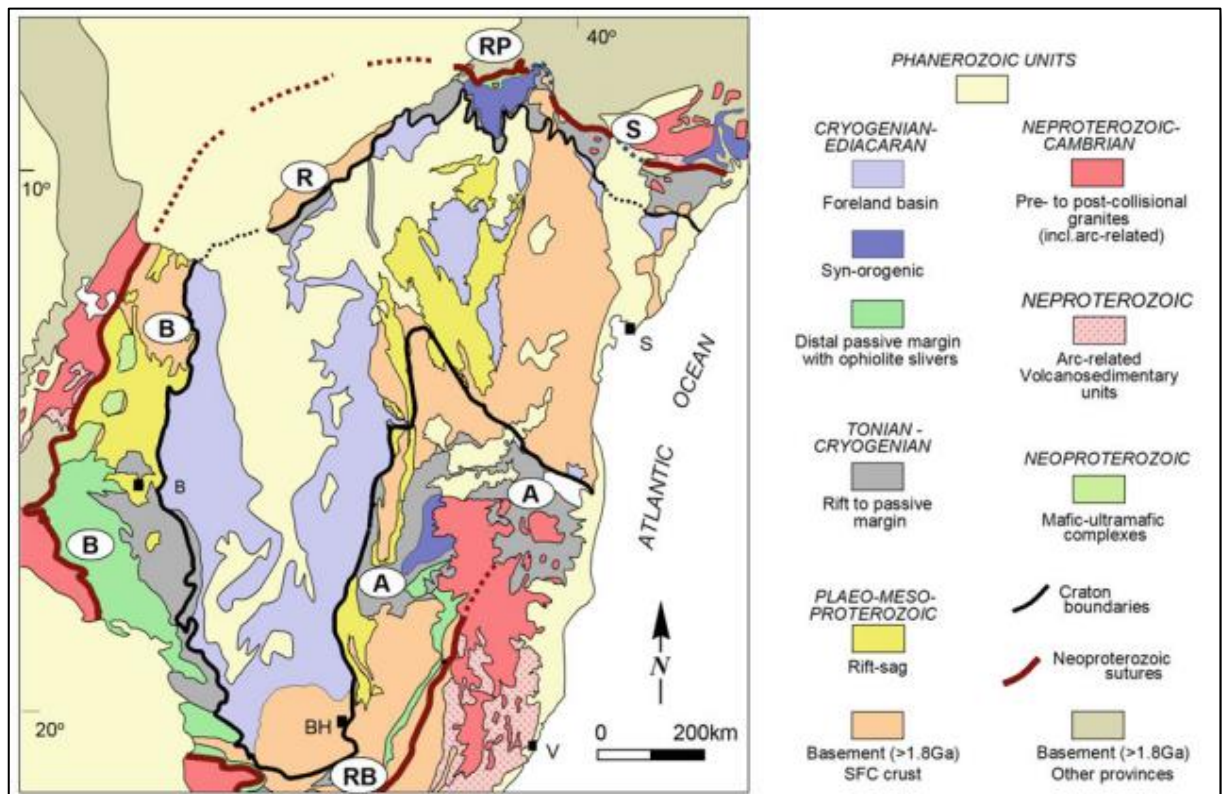
Fonte: elaborado pelo autor com base em IBGE (2010) e imagem Google Satélite (2020).

3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

3.1 Geologia Regional

O Cráton São Francisco (CSF) é uma unidade geotectônica constituída por rochas depositadas entre o paleoarqueano e o neoproterozoico, não afetadas pelas orogenias do fanerozoico (ALMEIDA, 1977) (FIG.7). Seu embasamento é composto por um núcleo de idade arqueana e dois segmentos orogênicos de idade paleoproterozoica, e é delimitado pelos orógenos Brasília, Araçuaí, Rio Preto, Ribeira, Sergipano e Riacho do Pontal (HEILBRON et al., 2017). Entre as entidades geotectônicas que compõem o Cráton São Francisco destacam-se o Aulacógeno Paramirim, Cinturão Mineiro, Bacia do São Francisco e o Quadrilátero Ferrífero (ALMEIDA et al., 1981; ALKMIM; MARTINS-NETO, 2012).

Figura 7 - Contexto geotectônico do Cráton São Francisco e localização do Quadrilátero Ferrífero.

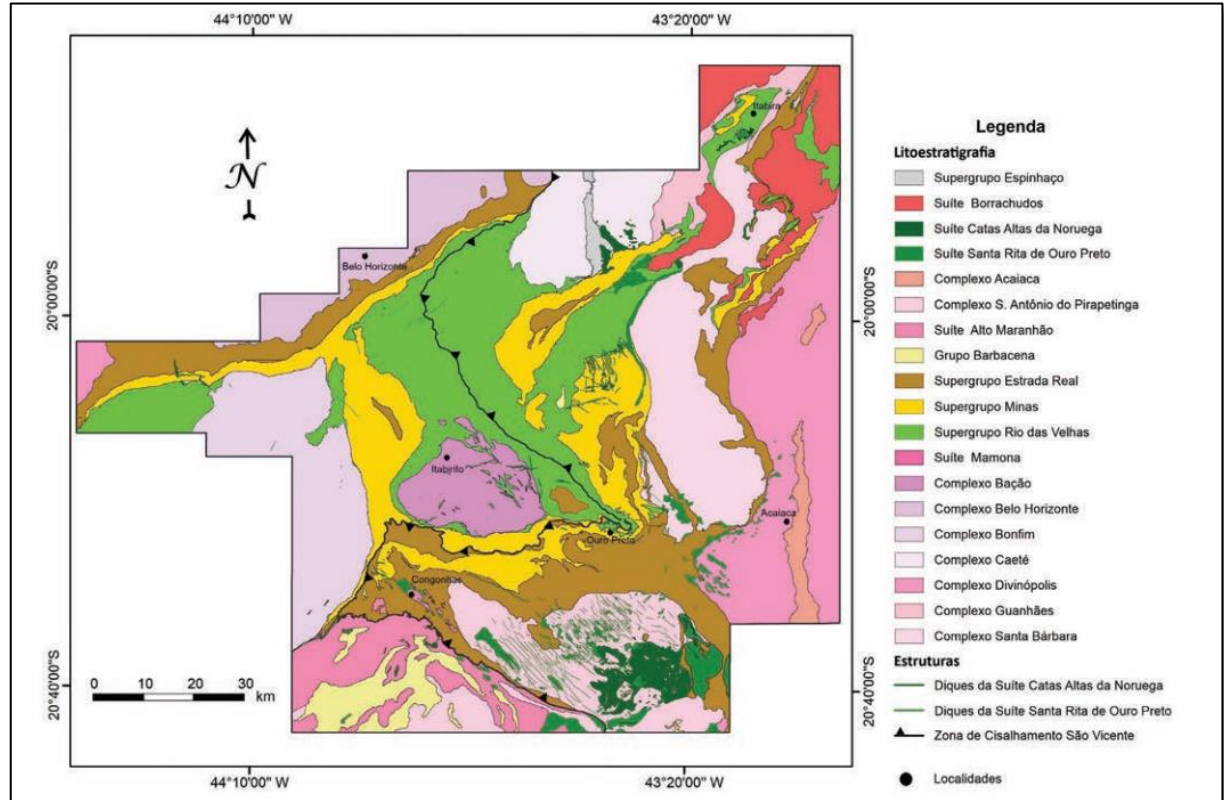


Fonte: Heilbron et al. (2017).

O Quadrilátero Ferrífero é uma importante unidade geotectônica constituída por rochas formadas no Arqueano, Paleo-Mesoproterozóico e no Cenozoico (ENDO et al., 2019b). Situado na borda sudeste do Cráton do São Francisco, no centro sul do estado de Minas Gerais, é uma importante Província Mineral mundial, onde se destacam os depósitos de ouro, ferro, manganês, alumínio e topázio (CASTRO et al., 2020). A sua formação remete ao contexto evolutivo do Paleocontinente São Francisco-Congo durante o Pré-Cambriano, sendo registrado pelo menos

dois grandes eventos de deformação superpostos, sendo o Minas-Bahia (Paleoproterozoico) e o Brasileiro (Neoproterozoico) (ENDO et al., 2020) (FIG.8).

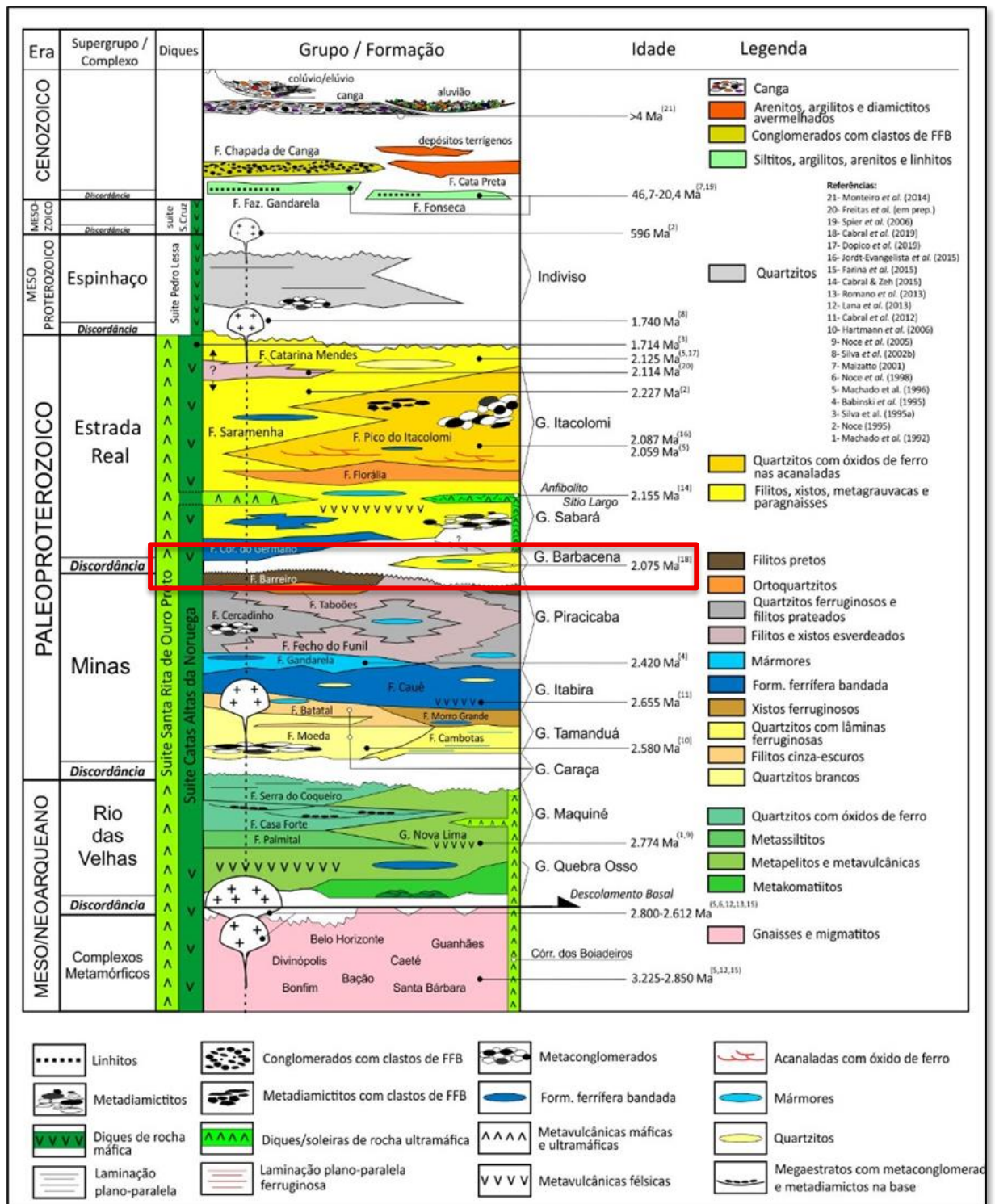
Figura 8 - Mapa geológico do Quadrilátero Ferrífero, com destaque para as principais unidades litoestratigráficas e estruturas regionais.



Fonte: adaptado de Endo et al. (2019a).

É constituído por uma série de unidades litoestratigráficas, nas quais se destacam os Complexos Metamórficos, o Supergrupo Rio das Velhas, o Supergrupo Minas, o Supergrupo Estrada Real, o Grupo Barbacena, o Supergrupo Espinhaço e as unidades sedimentares correspondentes às coberturas do Paleógeno ao Holoceno (ENDO et al., 2020) (FIG.9).

Figura 9 - Coluna litoestratigráfica simplificada do Quadrilátero Ferrífero, com destaque para a Formação Gandarela.

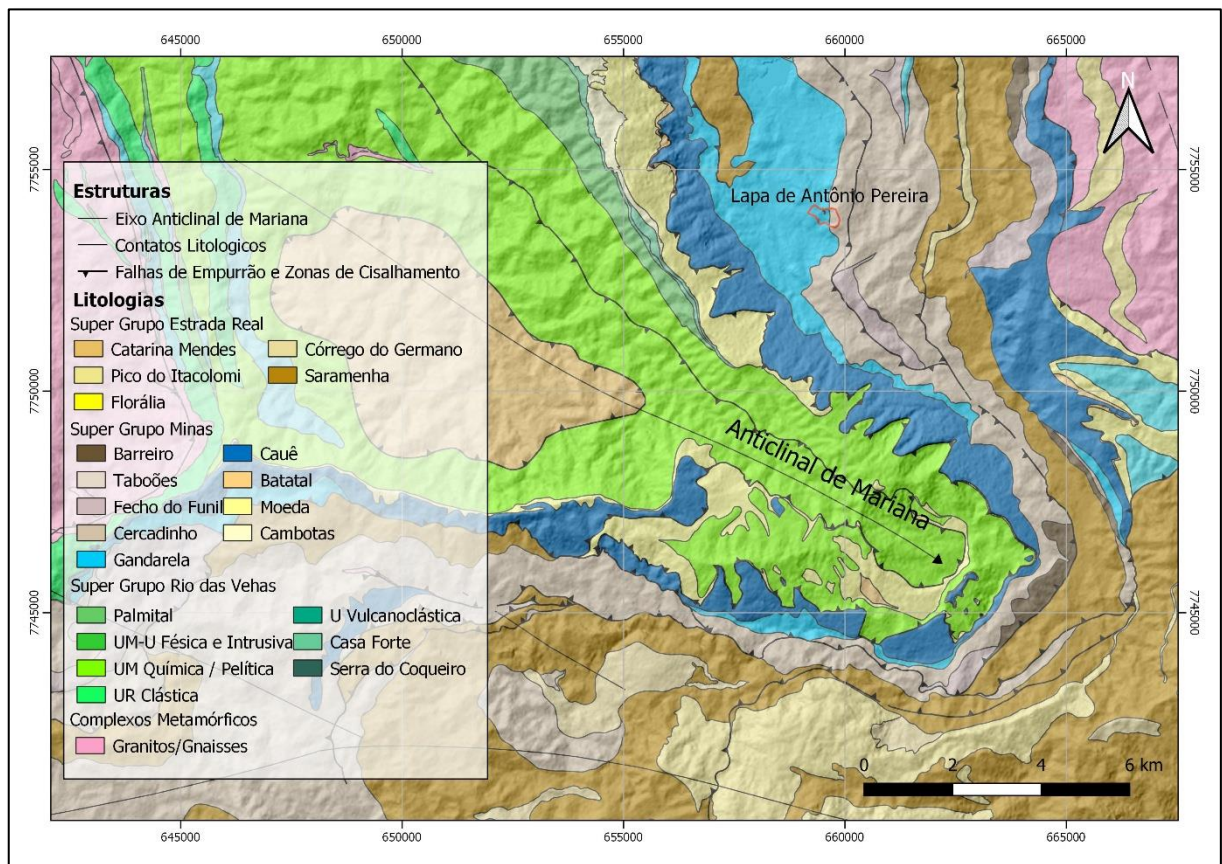


Fonte: adaptado de Endo et al. (2020).

3.2 Geologia Local

A geologia local da área de estudo, inserida na porção sudeste do Quadrilátero Ferrífero (QF), é marcada por uma notável complexidade litoestratigráfica e estrutural, sendo o Anticlinal de Mariana (FIG.10) a estrutura de maior relevância regional (NALINI et al., 1992). Esta megadobra, orientada preferencialmente na direção NW-SE, possui seu núcleo ocupado por rochas mais antigas do Grupo Nova Lima (Supergrupo Rio das Velhas), constituídas essencialmente por xistos e metaturbiditos intensamente deformados (NALINI et al., 1992). Bordejando os flancos dessa estrutura anticlinal, dispõem-se as unidades do Supergrupo Minas, com destaque para o Grupo Itabira (ENDO; FONSECA, 1992).

Figura 10 - Mapa geológico regional do Anticlinal de Mariana e entorno da Lapa de Antônio Pereira.

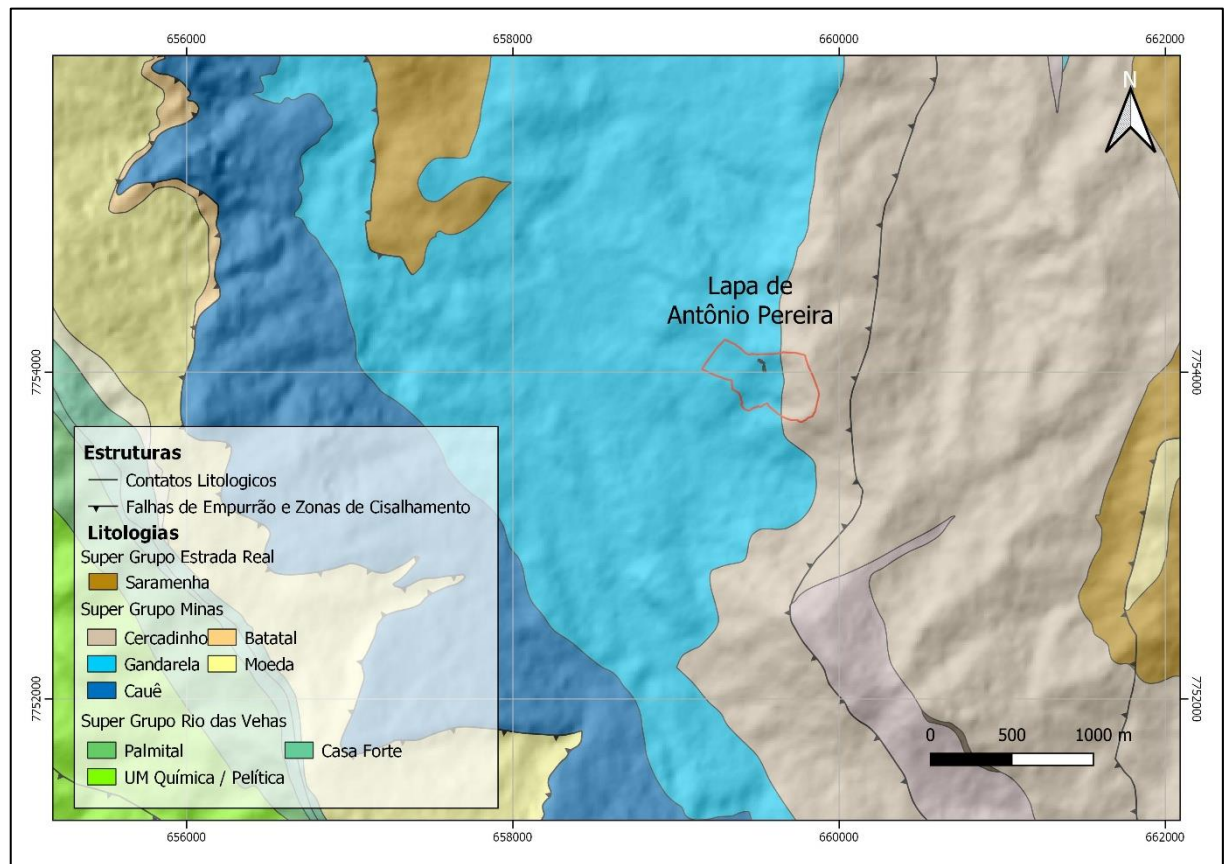


Fonte: elaborado pelo autor com base em Endo et al. (2019a).

A base deste grupo é representada pela Formação Cauê, composta por itabiritos (silicosos, dolomíticos e anfibolíticos) e corpos de hematita de alto teor, que sustentam o relevo do tipo *hogback* característico das serras de Ouro Preto e Antônio Pereira devido à sua resistência ao intemperismo (DORR, 1969; ENDO et al., 2019a). Sobreposta à Formação Cauê, em contato gradacional, situa-se a Formação Gandarela, unidade hospedeira da Lapa de Antônio Pereira (ENDO et al., 2019b) (FIG. 11). A Formação Gandarela é constituída

predominantemente por mármore dolomíticos, calcários e dolomitos, apresentando localmente intercalações de formação ferrífera dolomítica e filitos (DORR, 1969; ENDO et al., 2019b). Esta unidade é de particular interesse científico pela preservação de estromatólitos e oncólitos, estruturas biogênicas que registram o ambiente marinho raso do Sideriano, com idade estimada em 2.420 ± 19 Ma (Pb-Pb) (BABINSKI et al., 1995). Geoquimicamente, os dolomitos desta formação apresentam altas concentrações de tório e urânio, o que permite sua clara distinção em levantamentos gamaespectrométricos (MAIA, 2023).

Figura 11 - Mapa geológico de detalhe da área da Lapa de Antônio Pereira, com destaque para a Formação Gandarela e para o limite do Monumento Natural Municipal Gruta de Nossa Senhora da Lapa.



Fonte: elaborado pelo autor com base em Endo et al. (2019a).

No domínio do Anticlinal de Mariana, o arcabouço estrutural é definido pelo Sistema de Nappes Ouro Preto, que apresenta uma cinemática de transporte dirigida para S-SW (ENDO et al., 2005). O flanco sul desta estrutura é intensamente afetado pela Falha do Fundão, descrita como uma zona de cisalhamento dúctil a dúctil-rúptil que marca o contato tectônico entre os supergrupos Rio das Velhas e Minas (ENDO; FONSECA, 1992). Outra estrutura relevante é a Falha de São Bento, que delimita as nappes Maquiné e Santa Rita, apresentando cinemática de topo dirigida para SSW e controlando o limite de radiofácies locais (MAIA, 2023).

A circulação de fluidos hidrotermais durante os eventos orogênicos Transamazônico e Brasileiro, canalizada por essas zonas falhadas e charneiras de dobras, favoreceu a cristalização de minerais importantes na região (BARBOSA; OLIVEIRA, 2020). Destaca-se a ocorrência única de topázio imperial, cujas jazidas estão subordinadas a zonas falhadas em filitos, quartzitos e mármore dos grupos Piracicaba e Itabira, frequentemente associadas a anomalias de hidrotermalismo detectadas em mapas geofísicos (D'ELBOUX; FERREIRA, 1975; BARBOSA; OLIVEIRA, 2020).

3.3 Geomorfologia

A geomorfologia do Quadrilátero Ferrífero (QF) é o reflexo direto da interação entre um forte condicionamento geológico-estrutural e a atuação de processos desnudacionais diferenciados ao longo do tempo geológico (NOCE, 2016; LANA, 2020). Essa evolução resultou em uma fisiografia singular, caracterizada por cristas e cadeias de montanhas em *hogback*, platôs elevados e vales profundos, onde litotipos de maior resistência mecânica e estabilidade geoquímica sustentam as porções mais elevadas do relevo (DORR, 1969; LANA, 2020).

O relevo regional foi historicamente sistematizado por King (1956), que identificou quatro superfícies de erosão principais, representando diferentes ciclos de aplainamento: Gondwana (1500 m - 1600 m), Pós-Gondwana (1200 m - 1300 m), Sul-Americana (900 m) e Velhas (650 m) (KING, 1956; LANA, 2020). A preservação dessas superfícies de erosão antigas e dos platôs elevados é garantida pela presença das carapaças lateríticas conhecidas como cangas, que apresentam alta competência frente ao intemperismo químico e mecânico, funcionando como uma camada protetora sobre as formações ferríferas (DORR, 1969; MONTEIRO et al., 2014; MAIA, 2023).

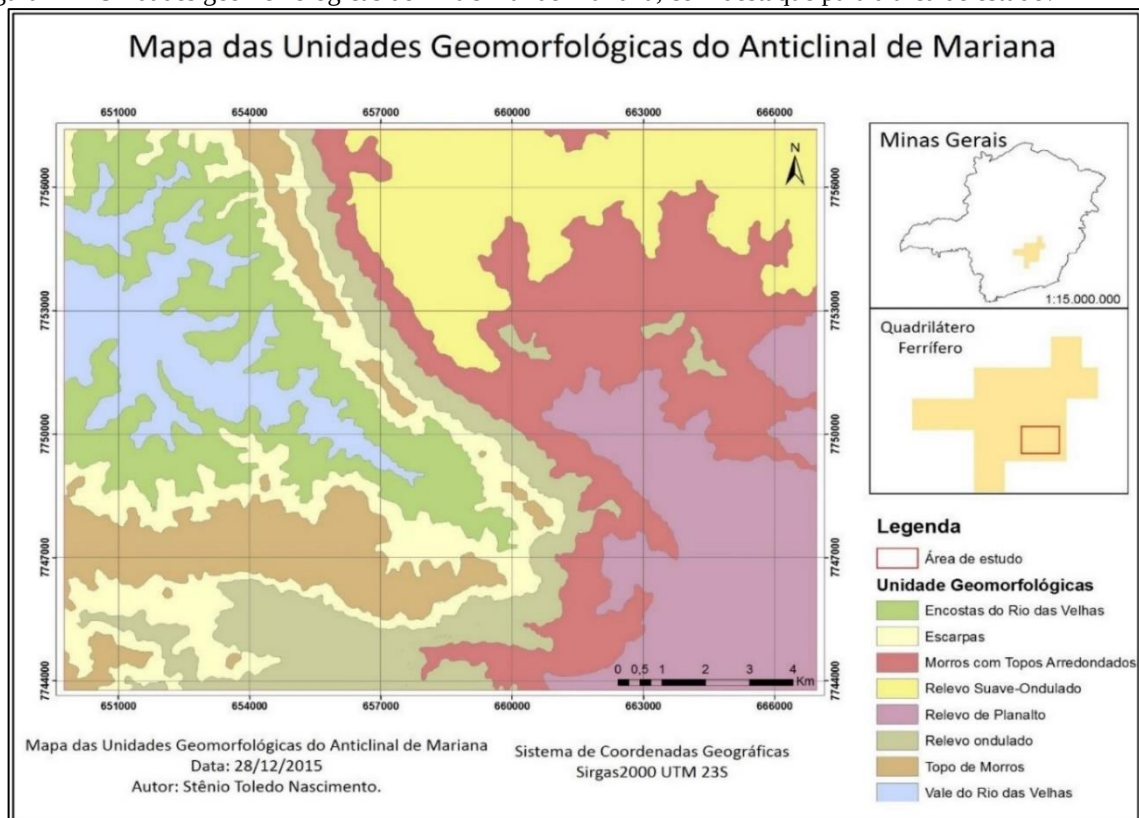
A compartimentação morfológica do QF é regida pela erodibilidade relativa de três grandes grupos litológicos: os quartzitos e itabiritos, menos erodíveis, que sustentam as cumeadas; os xistos e filitos, que ocupam as porções intermediárias das vertentes; e os metagranitoides, mais suscetíveis à erosão, que compõem as depressões alveolares e áreas mais denudadas (KING, 1956; COSTA, 2018; MAIA, 2023). A rede hidrográfica, descrita como antecedente, apresenta um padrão de superimposição fluvial sobre a estrutura geológica, resultando em feições notáveis como as piratarías fluviais e os *water gaps* (fechos) provocados pelo entalhamento dos rios através das serras (DORR, 1969; LANA, 2020).

Para fins de análise espeleológica e geotécnica, o QF é dividido em dez unidades geomorfológicas distintas (OLIVEIRA et al., 2011). A área de estudo encontra-se inserida na Unidade Geomorfológica Ouro Preto – Antônio Pereira, localizada na porção sudeste da

província e delimitada pelas planícies de inundação dos rios das Velhas e Piracicaba (OLIVEIRA et al., 2011; VALENTIM, 2016). Esta unidade apresenta uma topografia acidentada, com altitudes variando entre 940 m e 1375 m, onde a conformação do relevo é fortemente influenciada pela complexidade estrutural do Anticlinal de Mariana, resultando em encostas de elevada declividade e vales profundamente entalhados (NOCE, 2016; MAIA, 2023).

Em escala de maior detalhe, Nascimento et al. (2018) subdividem o Anticlinal de Mariana em seis compartimentos definidos pela associação entre atributos geológicos, estruturais e morfológicos (FIG. 12). Nessa proposta, a Serra de Antônio Pereira integra o Compartimento 2, correspondente ao flanco nordeste do anticlinal, setor onde afloram unidades do Supergrupo Minas, como as formações Cauê, Batatal, Gandarela, Cercadinho e Moeda, além de depósitos recentes. Esse compartimento é descrito pelos autores pela ocorrência de topos de morros e escarpas, feições que reforçam a importância da compartimentação local para a leitura da paisagem. A modelagem de Nascimento e Castro (2019) também indica que os compartimentos situados nas bordas do anticlinal, especialmente C1, C2 e C3, apresentam os maiores valores de geodiversidade, associados à variação litológica, à declividade, à rugosidade do terreno e à densidade de lineamentos e drenagens.

Figura 12 - Unidades geomorfológicas do Anticlinal de Mariana, com destaque para a área de estudo.



Fonte: Nascimento et al. (2018).

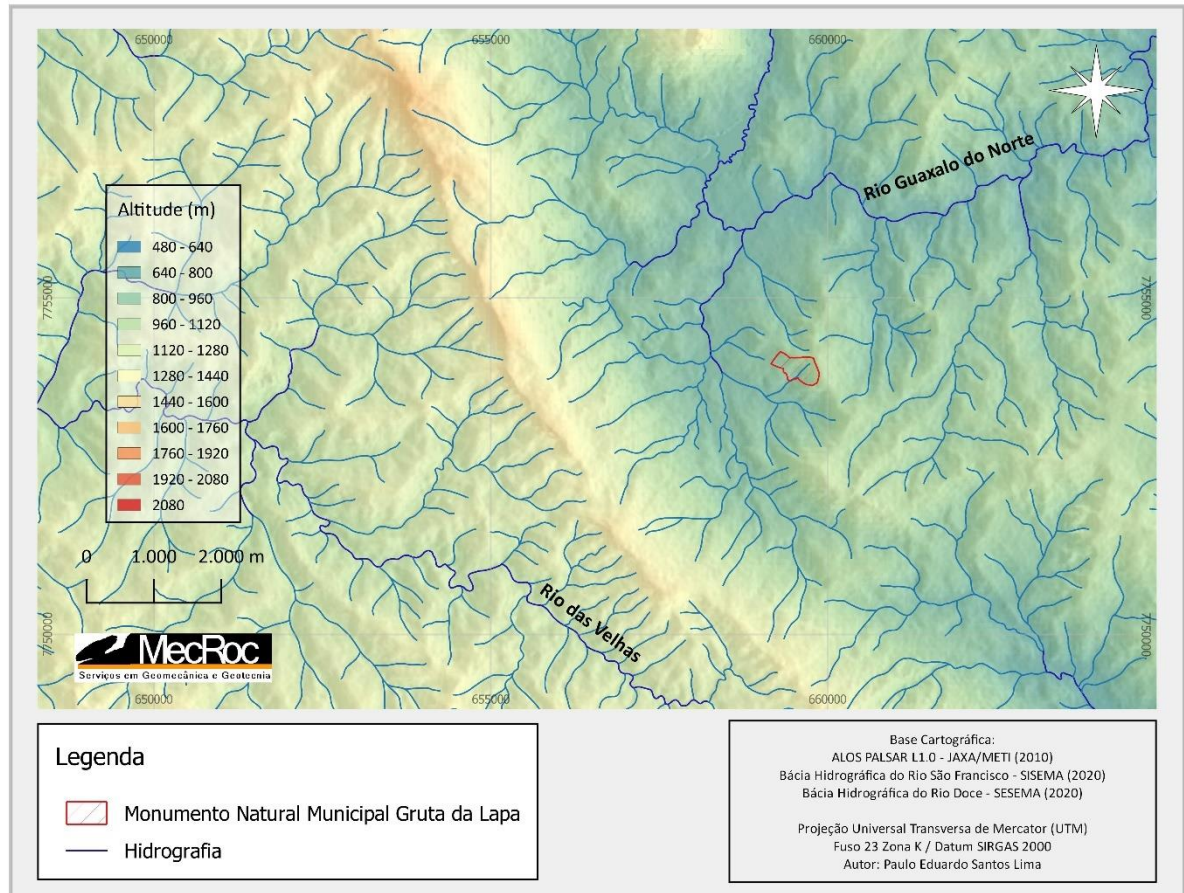
3.4 Clima e Hidrografia

O regime climático da região de Ouro Preto e do distrito de Antônio Pereira é condicionado pela altitude e pela conformação orográfica do Quadrilátero Ferrífero, sendo classificado, segundo o sistema de Köppen, nos tipos Cwa e Cwb (ANTUNES, 1986; IGA, 1995). O tipo Cwa predomina nas porções mais baixas, com verões quentes e úmidos, enquanto o Cwb é característico das cumeadas e áreas mais elevadas, onde os verões são brandos e as temperaturas médias anuais variam entre 17,4°C e 19,8°C (PINHEIRO et al., 2004; NASCIMENTO, 2016). De modo geral, a região apresenta clima tropical de altitude, marcado por forte sazonalidade pluviométrica, com estação chuvosa concentrada nos meses de primavera e verão e período seco mais definido durante o inverno (CARVALHO, 1982).

A pluviosidade local é elevada, com médias anuais históricas que atingem 1.723,6 mm, concentrando cerca de 90% das precipitações entre os meses de outubro e março (GOMES et al., 1998; FONTES, 2011). Essa sazonalidade é relevante para a análise geotécnica, pois a concentração das chuvas favorece o aumento da umidade no solo, a infiltração ao longo de fraturas e planos de descontinuidade e a elevação temporária das pressões de água no interior do maciço rochoso. Eventos extremos de precipitação, como os registrados em janeiro de 2022 na região de Ouro Preto, podem intensificar processos de instabilização em encostas e maciços fraturados, sobretudo em áreas com declividade elevada, cobertura intempélica espessa ou presença de descontinuidades abertas (ABGE, 2025; MAIA, 2023).

Do ponto de vista hidrográfico, a área de Antônio Pereira situa-se em uma região de divisor de águas entre as bacias dos rios Doce e das Velhas (NASCIMENTO, 2016). Na área do Monumento Natural Municipal Gruta de Nossa Senhora da Lapa, as drenagens apresentam forte controle estrutural, com desenvolvimento preferencial associado às estruturas regionais do sudeste do Quadrilátero Ferrífero (MECROC, 2020). O curso d'água presente na área de estudo possui nascente na parte alta do Monumento Natural, em vertente de elevada declividade, e deságua no córrego Água Limpa. Este, por sua vez, é afluente do córrego Água Suja, que deságua na margem esquerda do rio Gualaxo do Norte, inserido na bacia hidrográfica do rio Doce (FIG. 13).

Figura 13 - Rede hidrográfica e contexto altimétrico no entorno do Monumento Natural Municipal Gruta de Nossa Senhora da Lapa.



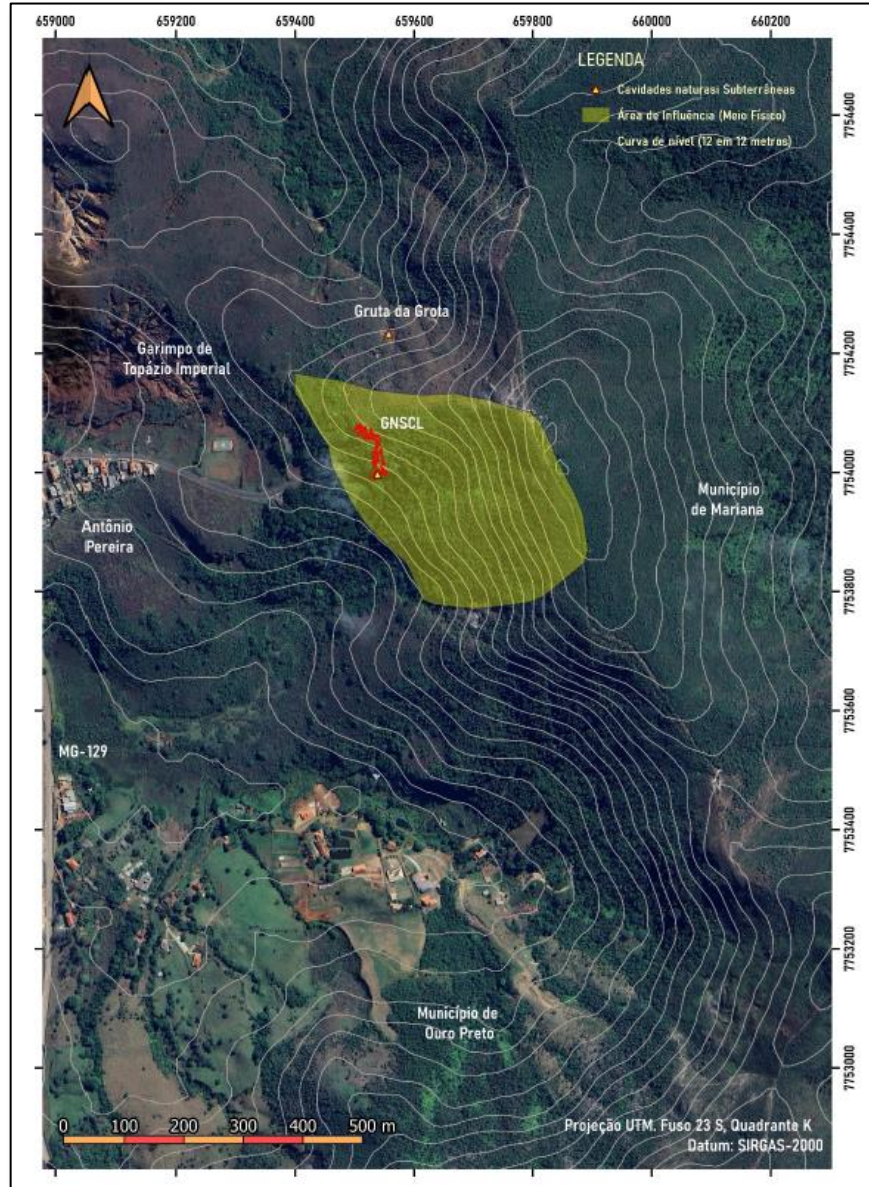
Fonte: MecRoc (2020).

Hidrogeologicamente, a Formação Gandarela constitui um importante Sistema Aquífero Carbonático, caracterizado por porosidade secundária resultante da dissolução química dos dolomitos e mármore dolomíticos e do fraturamento tectônico (BEATO et al., 2005; MOURÃO, 2007). A circulação de águas meteóricas através dessas zonas de fraqueza atua como um dos principais processos associados à espeleogênese local. O fluxo hídrico ao longo de fraturas, contatos litológicos e demais descontinuidades favorece a lixiviação, o alargamento de condutos e a ocorrência de gotejamentos, escorrimentos e empoçamentos no interior da cavidade, especialmente em setores condicionados por famílias de fraturas (NOCE, 2016; VALENTIM, 2016).

A compreensão dessa dinâmica hídrica é relevante para a análise geotécnica, pois a presença de água no interior do maciço pode reduzir a resistência ao cisalhamento das descontinuidades, favorecer a alteração de preenchimentos e contribuir para a mobilização de sedimentos no interior da gruta (BARTON et al., 1974; ABGE, 2025). Assim, a sazonalidade climática, a infiltração em períodos chuvosos e a circulação subterrânea associada à Formação Gandarela

devem ser consideradas na interpretação da estabilidade dos setores da cavidade e na posterior análise do risco geotécnico (FIG. 14).

Figura 14 - Delimitação da área de influência do meio físico e configuração topográfica no entorno da Lapa de Antônio Pereira.



Fonte: PlanTuc (2025)

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 Mapeamento geotécnico de cavernas

O mapeamento geotécnico é uma das técnicas mais eficazes para identificar e quantificar as vulnerabilidades associadas às rochas presentes em uma cavidade natural. Esse método consiste na utilização de classificações clássicas, associadas a outras variáveis geotécnicas, com o objetivo de identificar a fragilidade de um maciço rochoso e, posteriormente, determinar zonas de fragilidade e suscetibilidade ao desprendimento de material (NOCE, 2016).

A avaliação das famílias de descontinuidades, de sua orientação espacial e de suas condições físicas permite reconhecer mecanismos de ruptura e setores com maior suscetibilidade geotécnica. Essa análise é utilizada na maior parte dos sistemas de classificação geomecânica de rochas, sendo as descontinuidades definidas como feições geológicas que determinam planos ou superfícies de fraqueza e interrompem a continuidade do maciço, como planos de acamamento, superfícies de foliação, juntas, fraturas e falhas em geral (NOCE, 2016).

No entanto, as propriedades da rocha intacta também devem ser consideradas na caracterização geológico-geotécnica, incluindo litologia, porosidade, permeabilidade, resistência, estado de alteração, grau de fraturamento, presença ou ausência de água e taxa de fluxo. Dessa forma, o mapeamento geológico-geotécnico de cavernas deve integrar tanto as características da rocha e do maciço quanto as condições das descontinuidades que controlam a estabilidade dos tetos, paredes e demais setores da cavidade (NOCE, 2016; ISRM, 1981).

4.2 Classificações geomecânicas aplicadas a maciços rochosos

Os parâmetros geológicos-geotécnicos recomendados pela ISRM (1981), os sistemas de classificação geomecânica RMR e Q, bem como o índice Rock Quality Designation (RQD), são técnicas frequentemente utilizadas para classificar a integridade estrutural dos maciços rochosos. Esses métodos auxiliam na identificação de áreas críticas e setores suscetíveis a desmoronamentos, especialmente quando associados à caracterização das descontinuidades, da presença de água e das condições gerais do maciço (LACERDA et al., 2019).

O sistema Rock Mass Rating (RMR), consolidado por Bieniawski (1989), reúne parâmetros como resistência da rocha intacta, RQD, espaçamento das descontinuidades, condições das juntas, presença de água e orientação das descontinuidades. A partir da pontuação desses parâmetros, o método permite individualizar porções do maciço com diferentes qualidades geomecânicas. Embora tenha sido desenvolvido originalmente para avaliação de escavações, o RMR vem sendo utilizado em estudos de estabilidade de cavernas, principalmente em áreas próximas a regiões de mineração, desde que interpretado em conjunto com observações geológicas de campo (BRANDI et al., 2021).

O índice Q, proposto por Barton et al. (1974), relaciona o RQD, o número de famílias de descontinuidades, a rugosidade, o grau de alteração ou preenchimento das juntas, a influência da água e o fator de redução por tensões. Por considerar diretamente o fraturamento, a condição das descontinuidades e a presença de água, esse sistema é utilizado como ferramenta de apoio à avaliação da qualidade do maciço rochoso e da estabilidade de vãos subterrâneos.

4.3 Descontinuidades, análise cinemática e mecanismos de instabilidade

Nos trabalhos publicados por Araújo (2016), Noce (2016), Valentim (2016), Jordá-Bordehore (2017), Dutra (2017), Paula et al. (2018) e Lacerda et al. (2017), a análise de estabilidade em cavidades é realizada a partir da investigação e caracterização das famílias de descontinuidades, seguida da identificação de possíveis áreas de risco e da avaliação de blocos de rocha desprendidos, popularmente denominados choccos. Nesse contexto, a caracterização dos blocos em maciços fraturados encontra suporte técnico nos trabalhos de Palmström (1995, 2005), que propõem o cálculo do número volumétrico de juntas (J_v) e do índice Rock Mass Index (RMI) como ferramentas para descrever o grau de fraturamento e o tamanho dos blocos.

A presença e a distribuição de sedimentos no piso também são informações relevantes para a interpretação da estabilidade da cavidade, pois podem refletir processos de desprendimento de materiais das paredes e do teto. Szunyogh (2010) destaca a importância desses depósitos na leitura da dinâmica interna de cavidades, enquanto Genis e Çolak (2015) indicam que deslizamentos associados às descontinuidades, tombamentos e quedas de blocos estão entre os principais mecanismos responsáveis pela geração de instabilidades estruturais em ambientes subterrâneos naturais.

Além da caracterização física das descontinuidades, a análise cinemática permite avaliar se a orientação espacial das estruturas favorece a ocorrência de mecanismos de ruptura. Segundo Wyllie e Mah (2004), essa análise se baseia na relação geométrica entre planos de descontinuidade, linhas de interseção e superfícies livres, permitindo reconhecer condições favoráveis a deslizamentos ao longo de planos, deslizamentos em cunha e tombamentos. Em cavidades naturais, essa abordagem pode ser adaptada para a avaliação de tetos, paredes e condutos, considerando a possibilidade de individualização e liberação de blocos em direção ao interior da cavidade.

4.4 Estabilidade de vãos em cavidades naturais

A avaliação da estabilidade de vãos subterrâneos pode ser realizada a partir da relação entre a qualidade geomecânica do maciço e as dimensões dos espaços analisados. Barton et al. (1974) propuseram um ábaco de estabilidade que relaciona o Índice Q à dimensão equivalente

do vão, permitindo avaliar a estabilidade de tetos e paredes, além de indicar, quando necessário, a demanda por suporte em escavações subterrâneas.

Apesar da ampla utilização desse tipo de abordagem, a estabilidade de um vão não depende apenas da resistência da rocha intacta. Hoek e Brown (1980) destacam que o comportamento do maciço deve ser analisado considerando o conjunto fraturado, uma vez que as descontinuidades, suas condições físicas, sua orientação e sua distribuição espacial influenciam diretamente a estabilidade global.

Em cavidades naturais, a aplicação desses métodos exige cautela, pois os vãos não resultam de escavações regulares e apresentam geometrias irregulares, controles litológicos e estruturais próprios e histórico evolutivo associado à espeleogênese. Nesse sentido, Jordá-Bordehore (2017) adapta os ábacos de estabilidade para cavidades naturais, propondo faixas de estabilidade, transição e colapso específicas para o ambiente espeleológico. Essa adaptação permite avaliar a estabilidade dos salões e condutos a partir da relação entre o Índice Q, a dimensão equivalente e as características geométricas da caverna.

4.5 Zoneamento geotécnico de cavidades

Noce (2016) propõe uma metodologia de avaliação geotécnica de cavernas baseada na integração de parâmetros relacionados à qualidade geomecânica do maciço, aos mecanismos prováveis de ruptura, à hidrologia, à dinâmica de sedimentos e à estabilidade dos vãos. A partir desses parâmetros, torna-se possível atribuir pontuações às condições observadas em campo e classificar diferentes setores da cavidade segundo classes de fragilidade geotécnica.

Na abordagem apresentada por Noce (2016), a cavidade não deve ser interpretada como uma unidade homogênea, pois tetos, paredes, condutos e salões podem apresentar diferentes graus de fraturamento, alteração, presença de água, acúmulo de sedimentos e suscetibilidade à instabilidade. Dessa forma, o zoneamento geotécnico permite compartimentar o ambiente subterrâneo em setores com características relativamente semelhantes, facilitando a comparação entre áreas mais estáveis e áreas mais frágeis.

Brandi et al. (2021), ao proporem o Índice Geotécnico de Cavernas (IGC), também reforçam a importância de sistemas específicos para avaliação da estabilidade estrutural de vãos em cavernas, especialmente em ambientes ferríferos. Embora esse sistema não seja adotado diretamente neste trabalho, sua contribuição evidencia a necessidade de metodologias voltadas às particularidades das cavidades naturais, uma vez que a aplicação direta de classificações desenvolvidas para túneis e escavações pode não representar adequadamente a complexidade dos ambientes espeleológicos.

No contexto do uso público, a ABGE (2025) destaca a importância da inspeção geológica-geotécnica como apoio ao ordenamento do ecoturismo e à identificação de condições incompatíveis com a segurança dos usuários. Assim, o zoneamento geotécnico funciona como uma etapa de integração entre a caracterização geológico-geotécnica e a análise de risco, permitindo reconhecer setores prioritários para monitoramento, manejo, restrição de acesso ou adoção de medidas mitigadoras.

4.6 Análise do risco geotécnico em cavernas turísticas

Risco é, de maneira geral, a distinção entre a possibilidade e a realidade, representando uma incerteza projetada para o futuro, conforme discutido por Areosa (2008). No ordenamento do ecoturismo, a ABGE (2025) define o risco como a probabilidade de ocorrência de um acidente associado a processos geológicos. Em ambientes naturais, essa análise torna-se necessária porque as condições geológicas e ambientais podem representar ameaças à segurança dos usuários e à conservação do patrimônio.

No contexto geotécnico, Iriarte et al. (2010) e Vendramini (2006) definem a análise do risco geotécnico como um conjunto de procedimentos voltados à identificação, avaliação e mitigação de situações que possam comprometer a estabilidade de maciços rochosos, estruturas artificiais ou a segurança humana. Segundo Eskesen et al. (2004), essa abordagem é amplamente utilizada em projetos de infraestrutura, escavações subterrâneas, barragens, taludes e outras obras de engenharia, podendo ser adaptada a diferentes contextos em que há interação entre instabilidade geológica e elementos expostos.

Entre as metodologias utilizadas na análise de risco, Candido (2010) destaca a matriz de risco, que combina a frequência de ocorrência de determinado evento com a gravidade de suas consequências. A frequência pode ser estimada com base em registros históricos, monitoramentos contínuos e julgamento de especialistas, enquanto a consequência está relacionada aos impactos potenciais sobre pessoas, estruturas, atividades e patrimônio. A classificação da frequência também pode ser organizada em categorias que variam de eventos extremamente raros a muito frequentes, expressas em função do intervalo de tempo estimado entre ocorrências, conforme os critérios apresentados pela ITA (2004).

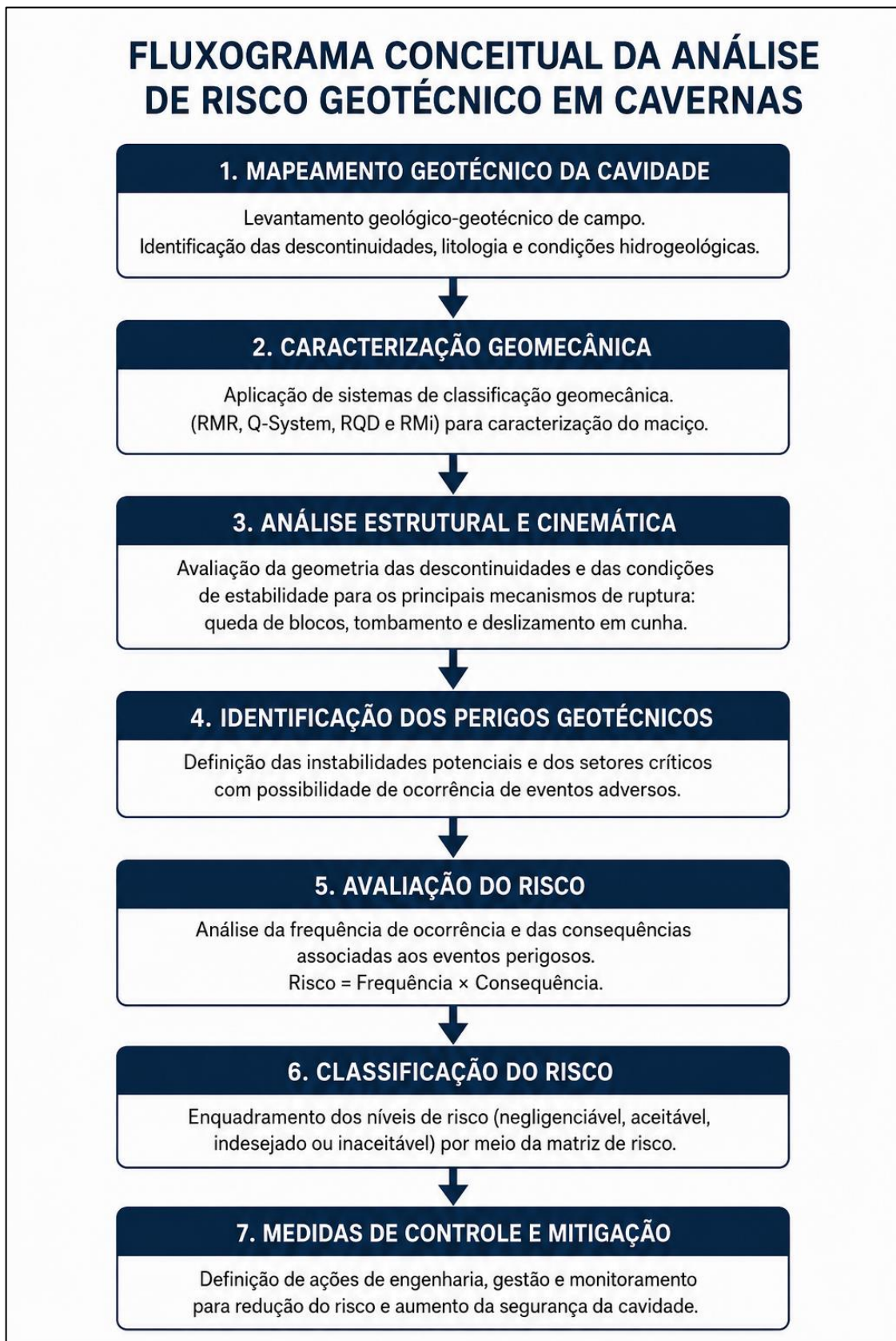
A gravidade das consequências deve considerar os possíveis danos à integridade física de visitantes e trabalhadores, os prejuízos à estrutura da cavidade, o comprometimento de atividades turísticas ou religiosas e os impactos sobre o patrimônio natural e cultural. A identificação dos mecanismos de ruptura, como quedas de blocos, deslizamentos e tombamentos, pode ser apoiada nos critérios cinemáticos apresentados por Wyllie e Mah (2004), uma vez que esses processos influenciam diretamente a severidade do dano potencial.

A combinação entre frequência e consequência permite a elaboração da matriz de risco geotécnico, utilizada para avaliar a aceitabilidade dos perigos identificados e definir ações de mitigação, controle ou monitoramento. Com base nessa matriz, os perigos podem ser classificados em diferentes níveis de aceitabilidade, orientando a tomada de decisão em setores onde a estabilidade do maciço e a presença de usuários exigem maior atenção (ABGE, 2025).

Em cavernas turísticas, religiosas, culturais ou educacionais, a análise do risco geotécnico deve considerar não apenas a condição do maciço rochoso, mas também a exposição dos visitantes e trabalhadores aos perigos identificados. A ABGE (2025) destaca que o tempo de exposição influencia diretamente a magnitude do risco, o que torna necessário relacionar a estabilidade geotécnica dos setores da cavidade à dinâmica de uso público, à permanência de pessoas e aos locais de maior circulação.

A integração entre mapeamento geológico-geotécnico, caracterização geomecânica, análise cinemática, zoneamento geotécnico, identificação dos perigos e classificação do risco constitui a base para a elaboração de mapas de risco em cavidades naturais (FIG. 15). Em cavernas que recebem atividades turísticas, religiosas, culturais e educacionais, esse processo contribui para reconhecer setores críticos, orientar medidas de manejo e subsidiar decisões voltadas à segurança dos usuários e à conservação do patrimônio espeleológico, especialmente onde as condições naturais do maciço, os processos erosivos e as interferências humanas podem gerar situações de instabilidade (ABGE, 2025).

Figura 15 - Fluxograma conceitual da análise de risco geotécnico em cavernas.



Fonte: elaborado pelo autor.

5 OBJETIVOS

5.1 Objetivo geral

Analisar o risco geotécnico associado à estabilidade do maciço rochoso da Lapa de Antônio Pereira, situada no município de Ouro Preto, Minas Gerais, considerando suas características geológico-geotécnicas, os mecanismos potenciais de instabilidade e o uso público da cavidade.

5.2 Objetivos específicos

- Realizar o mapeamento geológico-geotécnico da Lapa de Antônio Pereira, com o intuito de caracterizar a litologia, as estruturas geológicas, as descontinuidades e as principais feições associadas à estabilidade do maciço rochoso.
- Avaliar a qualidade geomecânica do maciço rochoso por meio de classificações geotécnicas, como o Rock Mass Rating (RMR) e o Índice Q, visando estimar a integridade estrutural dos diferentes setores da cavidade.
- Identificar os mecanismos potenciais de instabilidade, considerando a análise das descontinuidades, a geometria dos tetos e paredes, a estabilidade dos vãos e as evidências de instabilidade geotécnica observadas em campo.
- Setorizar a cavidade em zonas com diferentes condições geotécnicas, correlacionando os setores mais suscetíveis à instabilidade com as áreas de circulação, permanência e uso público.
- Elaborar uma análise de risco geotécnico da cavidade, com base na relação entre perigos identificados, frequência estimada, severidade potencial e exposição dos visitantes.
- Propor recomendações de manejo, monitoramento e mitigação voltadas à redução dos riscos geotécnicos e à conservação do patrimônio geológico, espeleológico, cultural e religioso da Lapa de Antônio Pereira.

6 JUSTIFICATIVA

A Lapa de Antônio Pereira, localizada no distrito de Antônio Pereira, município de Ouro Preto, Minas Gerais, apresenta significativa relevância geológica, histórica, religiosa, turística e cultural. Paula et al. (2007) destacam a importância da cavidade no contexto local, especialmente pela relação histórica com a devoção a Nossa Senhora da Conceição da Lapa e pela presença de elementos religiosos em seu interior. O Plano de Manejo Espeleológico da Gruta Nossa Senhora da Conceição da Lapa também reconhece a cavidade como um espaço de uso público consolidado, envolvendo práticas religiosas, visitação contemplativa, atividades educativas e percurso espeleoturístico (PLANTUC, 2025).

Além de seu valor cultural e religioso, a Lapa de Antônio Pereira está inserida no contexto geológico do Quadrilátero Ferrífero, em mármores dolomíticos da Formação Gandarela, unidade favorável ao desenvolvimento de cavidades naturais por processos de dissolução, fraturamento e circulação de águas subterrâneas. O relatório geomecânico elaborado para a cavidade caracteriza a gruta como um ambiente condicionado pela natureza das rochas encaixantes, pela presença de descontinuidades e pela compartimentação estrutural do maciço rochoso (MECROC, 2020). Dessa forma, a cavidade reúne atributos naturais e culturais que justificam a necessidade de estudos voltados à sua estabilidade, conservação e gestão do uso público.

A presença de visitantes em cavidades naturais exige atenção às condições de estabilidade do maciço rochoso, sobretudo em ambientes que apresentam tetos, paredes e condutos condicionados por fraturas, planos de descontinuidade e feições de percolação. A ABGE (2025) destaca que inspeções geológicas-geotécnicas em áreas de ecoturismo são importantes para identificar condições incompatíveis com a segurança dos usuários e subsidiar o ordenamento do uso público. No caso da Lapa de Antônio Pereira, essa preocupação torna-se relevante porque a circulação de pessoas ocorre em setores com diferentes características geológico-geotécnicas, exigindo a compreensão da distribuição das descontinuidades, da qualidade do maciço e dos mecanismos potenciais de instabilidade.

A análise geotécnica de cavidades naturais deve considerar que a estabilidade do maciço não depende apenas da resistência da rocha intacta, mas também da orientação, persistência, abertura, rugosidade, preenchimento e condição das descontinuidades. Noce (2016) propõe uma metodologia de avaliação geotécnica de cavernas baseada na integração entre qualidade geomecânica do maciço, mecanismos prováveis de ruptura, hidrologia, dinâmica de sedimentos e estabilidade dos vãos. Essa abordagem é adequada ao presente estudo, pois permite setorizar a cavidade e reconhecer áreas com diferentes graus de suscetibilidade geotécnica.

A utilização de classificações geomecânicas, como o Rock Mass Rating, de Bieniawski (1989), e o Índice Q, de Barton et al. (1974), contribui para sintetizar as condições do maciço rochoso e apoiar a avaliação de sua qualidade estrutural. Em cavidades naturais, entretanto, esses métodos devem ser interpretados de forma integrada ao mapeamento de campo, à geometria dos vãos e à análise das descontinuidades. Nesse sentido, Jordá-Bordehore (2017) reforça a necessidade de adaptar critérios de estabilidade para ambientes espeleológicos, considerando as particularidades geométricas e evolutivas das cavernas naturais.

A análise do risco geotécnico justifica-se pela necessidade de relacionar os perigos identificados no maciço rochoso com a exposição dos visitantes e dos elementos patrimoniais presentes na cavidade. Candido (2010) destaca que a matriz de risco permite combinar frequência e consequência, auxiliando na classificação dos níveis de criticidade e na definição de prioridades de manejo. A ABGE (2025) também ressalta que o tempo de exposição dos usuários influencia a magnitude do risco, o que torna necessário relacionar os setores de instabilidade com as áreas de circulação, permanência e uso público.

Além da contribuição técnica, este estudo também se relaciona aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da Agenda 2030, especialmente ao ODS 4, ao promover a produção e a difusão de conhecimento sobre o patrimônio espeleológico; ao ODS 11, ao contribuir para a proteção do patrimônio natural e cultural; ao ODS 12, ao favorecer práticas de uso público mais responsáveis; e ao ODS 15, ao apoiar a conservação de ambientes naturais e da geodiversidade (ONU, 2015).

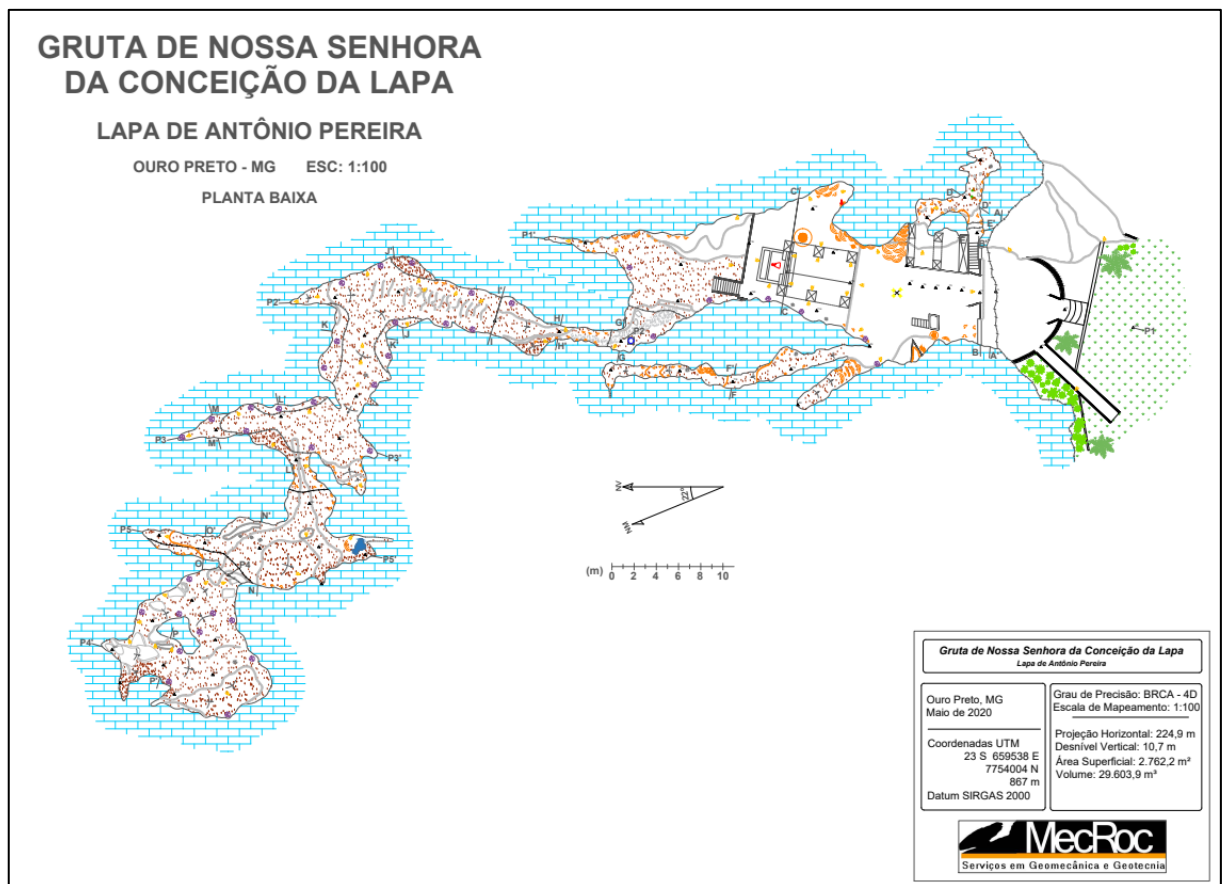
Dessa forma, este estudo se justifica por integrar mapeamento geológico-geotécnico, caracterização geomecânica, análise cinemática, estabilidade de vãos, zoneamento geotécnico e matriz de risco em uma cavidade natural de relevante uso religioso, turístico e cultural. Os resultados poderão subsidiar recomendações de manejo, monitoramento e mitigação, contribuindo para a segurança dos visitantes e para a conservação do patrimônio geológico, espeleológico, histórico e religioso da Lapa de Antônio Pereira.

7 METODOLOGIA

7.1 Base topográfica e delimitação espacial da cavidade

A base espacial utilizada neste trabalho corresponde à planta topográfica da Lapa de Antônio Pereira, elaborada em escala 1:100 no âmbito do Diagnóstico Geomecânico da Lapa de Antônio Pereira, realizado pela MecRoc Engenharia Ltda. (MECROC, 2020). A cavidade apresenta 224,9 m de desenvolvimento, sendo a planta baixa utilizada como referência para a localização dos pontos de controle geotécnico, para a organização dos dados de campo e para a elaboração dos mapas temáticos (FIG. 16).

Figura 16 - Planta baixa da Gruta de Nossa Senhora da Conceição da Lapa, utilizada como base topográfica para o mapeamento geológico-geomecânico da cavidade.



Fonte: MecRoc (2020).

A planta topográfica foi utilizada como base cartográfica para a delimitação do contorno da cavidade e para a representação dos condutos, salões, paredes, teto projetado e setores de circulação. A partir dessa base, os dados geológico-geotécnicos levantados em campo foram associados espacialmente aos respectivos trechos da cavidade, permitindo a comparação entre os diferentes pontos mapeados.

Além da área interna da cavidade, também foram considerados a fachada da gruta e parte do entorno imediato, especialmente nos trechos onde foram observadas condições

geológico-geotécnicas relevantes para a estabilidade e para o uso público. Essa delimitação possibilitou que a análise não ficasse restrita apenas aos condutos internos, incorporando também setores externos associados ao acesso, à entrada da cavidade e à circulação de visitantes.

7.2 Mapeamento geológico

O mapeamento geológico da Lapa de Antônio Pereira foi realizado com o objetivo de reconhecer as principais unidades litológicas, estruturas geológicas e feições estruturais presentes ao longo da cavidade. Essa etapa teve como base a planta topográfica em escala 1:100 e os dados previamente levantados no Diagnóstico Geomecânico da Lapa de Antônio Pereira, elaborado pela MecRoc Engenharia Ltda. (MECROC, 2020).

Durante o levantamento, foram observadas as características gerais do maciço rochoso, com destaque para a distribuição dos mármores dolomíticos da Formação Gandarela, a presença de bandamento, planos de fratura, juntas, falhas, superfícies de deslocamento e demais descontinuidades visíveis em teto, paredes e piso da cavidade.

As estruturas geológicas foram descritas e medidas em campo com o auxílio de bússola geológica, utilizando o sistema Dip Direction/Dip Angle, que registra a direção de mergulho e o ângulo de mergulho dos planos estruturais. Esse procedimento permitiu organizar as atitudes das principais famílias de descontinuidades e reconhecer sua relação com a geometria dos condutos, salões, paredes e teto da cavidade.

As informações obtidas no mapeamento geológico foram posteriormente associadas à planta topográfica da cavidade, permitindo a representação espacial das estruturas mapeadas e a elaboração da base estrutural utilizada nas etapas seguintes do estudo. Os dados de atitude foram organizados para posterior tratamento no software OpenStereo, com a finalidade de subsidiar a análise estrutural e cinemática da cavidade.

7.3 Mapeamento geomecânico e caracterização dos pontos de controle

O mapeamento geomecânico da Lapa de Antônio Pereira foi realizado por meio de 14 pontos de controle distribuídos ao longo do desenvolvimento da cavidade. Esses pontos foram definidos em trechos onde o maciço rochoso apresentava características geotécnicas relativamente homogêneas, permitindo que cada ponto representasse um setor com comportamento semelhante. A caracterização realizada em cada ponto considerou as condições observadas no trecho adjacente, abrangendo o teto, as paredes e, quando aplicável, o piso da cavidade.

Em cada ponto de controle foram avaliadas as características da rocha intacta, as condições do maciço rochoso, o grau de fraturamento, as famílias de descontinuidades, a

presença de água, a dinâmica sedimentar e as evidências de instabilidade observadas em teto, paredes e piso. A caracterização seguiu os procedimentos recomendados pela ISRM (1981) para descrição geotécnica de maciços rochosos e os critérios de avaliação geotécnica de cavidades naturais apresentados por Noce (2016).

A rocha intacta foi descrita a partir do grau de alteração, coerência, resistência e condição geral de exposição. As descontinuidades foram caracterizadas quanto à orientação, persistência, abertura, rugosidade, preenchimento, alteração das paredes e condição hidrológica. Também foram registrados blocos individualizados, blocos abatidos, planos de deslocamento, fraturas abertas, sedimentos no piso e demais feições indicativas de instabilidade. Sempre que possível, as características das descontinuidades foram avaliadas nas superfícies expostas próximas ao ponto de controle, buscando representar as condições predominantes do respectivo setor.

Os dados levantados em cada ponto foram organizados em fichas de campo e posteriormente associados à planta topográfica da cavidade. Essa organização permitiu comparar os parâmetros geomecânicos entre os diferentes trechos da Lapa de Antônio Pereira. Os parâmetros obtidos também foram utilizados no cálculo das classificações geomecânicas, na caracterização das dinâmicas hídrica e sedimentar, na avaliação dos vãos e na elaboração do zoneamento geotécnico.

Os critérios utilizados para a caracterização da rocha intacta, das descontinuidades e das demais condições geomecânicas avaliadas encontram-se apresentados no Anexo A.

7.4 Classificações geomecânicas: RQD, RMR e Índice Q

A partir dos dados obtidos nos pontos de controle geomecânico, foram aplicadas classificações geomecânicas com o objetivo de estimar a qualidade do maciço rochoso e subsidiar a avaliação da estabilidade da Lapa de Antônio Pereira. Neste trabalho, foram utilizados o índice Rock Quality Designation (RQD), o sistema Rock Mass Rating (RMR) e o Índice Q. As classificações foram aplicadas individualmente em cada ponto de controle, a partir dos parâmetros levantados durante o mapeamento geomecânico.

O índice Rock Quality Designation (RQD) foi estimado por meio do método indireto proposto por Palmström (1982), utilizando o número volumétrico de juntas (J_v), calculado a partir da frequência das famílias de descontinuidades mapeadas em campo. A estimativa foi realizada conforme as expressões:

$$RQD = 115 - 3,3J_v$$

$$J_v = \sum \frac{1}{s_i}$$

em que J_v corresponde ao número volumétrico de juntas e S_i representa o espaçamento médio de cada família de descontinuidades. As classes de interpretação do RQD encontram-se apresentadas no Anexo B.

O índice Rock Mass Rating (RMR) foi calculado conforme os critérios de Bieniawski (1989), considerando a resistência da rocha intacta, o RQD, o espaçamento das descontinuidades, as condições das juntas e as condições hidrológicas. As descontinuidades foram avaliadas quanto à persistência, abertura, rugosidade, preenchimento e grau de alteração das paredes. Os parâmetros e pontuações utilizados para o cálculo do RMR encontram-se apresentados no Anexo B.

O Índice Q, proposto por Barton et al. (1974), foi determinado a partir dos parâmetros RQD, número de famílias de descontinuidades (J_n), rugosidade das juntas (J_r), alteração ou preenchimento das juntas (J_a), influência da água (J_w) e fator de redução por tensões (SRF). O cálculo foi realizado conforme a expressão:

$$Q = \left(\frac{RQD}{J_n} \right) * \left(\frac{J_r}{J_a} \right) * \left(\frac{J_w}{SRF} \right)$$

Os parâmetros J_n, J_r, J_a, J_w e SRF foram atribuídos individualmente para cada ponto de controle, considerando as condições observadas durante o mapeamento geomecânico e os critérios definidos por Barton et al. (1974). Os parâmetros adotados para o cálculo do Q-System encontram-se apresentados no Anexo B.

Os valores obtidos para RQD, RMR e Índice Q foram associados aos respectivos pontos de controle geomecânico e utilizados na comparação entre os diferentes trechos da cavidade. O Índice Q também foi utilizado como parâmetro na avaliação da estabilidade dos vãos e na elaboração do zoneamento geotécnico.

7.5 Tratamento espacial dos dados em SIG e interpolação IDW

Após a organização dos dados obtidos nos pontos de controle geomecânico, as informações foram espacializadas em ambiente SIG, utilizando o software QGIS. Inicialmente, a planta topográfica da cavidade foi utilizada como base cartográfica para a criação das camadas vetoriais referentes ao limite da Lapa de Antônio Pereira e à localização dos 14 pontos de controle distribuídos ao longo da cavidade.

Para cada ponto de controle, foram inseridos, na tabela de atributos, os valores correspondentes aos parâmetros avaliados em campo e aos índices calculados, incluindo informações relacionadas à qualidade do maciço rochoso, às condições das descontinuidades, à presença de água, à dinâmica sedimentar, à estabilidade dos vãos e às classificações

geomecânicas. Dessa forma, cada ponto passou a representar uma unidade espacial de informação geotécnica, vinculada à planta baixa da cavidade.

A partir desses dados, foram elaborados mapas temáticos por meio do método de interpolação IDW, limitado ao contorno da cavidade. Esse procedimento permitiu representar a distribuição espacial dos parâmetros geotécnicos entre os pontos de controle, possibilitando a visualização de setores com maior ou menor suscetibilidade relativa.

Os produtos gerados foram interpretados como mapas indicativos da variação espacial dos parâmetros avaliados, considerando a distribuição dos pontos de mapeamento e as características observadas em campo. A interpretação também considerou a geometria dos salões e condutos, especialmente nos trechos em que setores próximos na projeção em planta não apresentam continuidade física direta.

Os mapas temáticos resultantes da interpolação foram utilizados como apoio à interpretação geotécnica da cavidade, permitindo comparar diferentes trechos e reconhecer tendências espaciais associadas à qualidade do maciço, à presença de água, à dinâmica sedimentar e à estabilidade dos vãos.

7.6 Inventariação das feições de instabilidade

O inventário das feições de instabilidade foi realizado com o objetivo de identificar mecanismos potenciais de ruptura associados às descontinuidades mapeadas na cavidade. Para isso, foram utilizadas as atitudes estruturais obtidas durante o mapeamento geológico e geotécnico, posteriormente organizadas e processadas. A análise foi realizada considerando separadamente os diferentes setores da cavidade, uma vez que a orientação das superfícies livres varia entre paredes, tetos, salões e condutos.

A interpretação foi realizada de forma qualitativa, com base na relação geométrica entre as descontinuidades, as superfícies livres, a ação da gravidade e as condições observadas diretamente em cada feição, seguindo os critérios de admissibilidade cinemática descritos por Wyllie e Mah (2004). Para o deslizamento ao longo de planos, foi verificado se as descontinuidades apresentavam orientação compatível com a geometria das paredes ou tetos analisados, se mergulhavam em direção ao vazio da cavidade e se possuíam inclinação favorável ao deslocamento gravitacional. Para o deslizamento em cunha, foram avaliadas as linhas de interseção entre famílias de descontinuidades, observando sua orientação em relação às superfícies livres. No caso do tombamento, foram consideradas descontinuidades subverticais ou inclinadas de modo a individualizar blocos ou placas com possibilidade de rotação. A identificação dos mecanismos não foi baseada somente na orientação média das

famílias, mas também na geometria das descontinuidades observadas diretamente em cada feição.

Para isso, foram mapeados em campo blocos individualizados, blocos parcialmente destacados, blocos abatidos no piso, fraturas abertas, planos de deslocamento e demais feições indicativas de instabilidade. Esses elementos foram registrados em planta, associados aos pontos de controle geomecânico e organizados em ambiente SIG, permitindo sua integração aos mapas temáticos e ao zoneamento geotécnico. As feições foram separadas de acordo com sua localização e receberam identificação individual, permitindo sua associação aos registros de campo, às fotografias e à base cartográfica.

A individualização dos blocos foi avaliada a partir da observação das descontinuidades que delimitam suas faces, da presença de aberturas, da continuidade dos planos, do grau de alteração das superfícies, da ocorrência de preenchimentos e da relação entre o bloco e o vazio da cavidade. Em teto e paredes, essa etapa permitiu reconhecer setores com maior possibilidade de queda de blocos, deslocamentos ou instabilidades localizadas. No piso, o registro de blocos abatidos e sedimentos foi utilizado como evidência complementar da dinâmica de instabilidade da cavidade.

Para cada feição foram registrados o tipo, a localização, a posição no maciço, a descrição, as descontinuidades delimitadoras, o mecanismo potencial, a trajetória provável de movimentação, a presença de água, o preenchimento, a abertura, o tamanho, a rugosidade e a possibilidade relativa de movimentação. O inventário completo das feições é apresentado no Apêndice C.

7.7 Avaliação da estabilidade dos vãos

A avaliação da estabilidade dos vãos foi realizada a partir da relação entre a qualidade geomecânica do maciço rochoso e as dimensões dos condutos e salões analisados. Para isso, foram utilizados os valores do Índice Q obtidos nos pontos de controle geomecânico e as dimensões dos vãos livres levantadas a partir da planta topográfica e das observações de campo. O vão característico foi definido a partir do diâmetro da maior circunferência passível de inscrição na seção da cavidade ou, nos trechos de geometria mais simples, pela medição direta da abertura horizontal. A altura de cada trecho também foi registrada para complementar sua caracterização geométrica.

Barton et al. (1974) propuseram a relação entre o Índice Q e a dimensão equivalente do vão, originalmente aplicada à avaliação da estabilidade e da necessidade de suporte em escavações subterrâneas. A dimensão equivalente é obtida pela razão entre a dimensão do vão analisado e o índice ESR, conforme a expressão:

$$De = \frac{vão}{ESR}$$

em que De corresponde à dimensão equivalente, o vão representa a largura, altura ou dimensão característica do trecho analisado, e o ESR corresponde ao índice relacionado ao tipo de escavação ou finalidade de uso do espaço subterrâneo. Neste trabalho, por se tratar de uma cavidade natural e não de uma escavação subterrânea projetada, adotou-se $ESR = 1$ para o cálculo da dimensão equivalente dos vãos. Dessa forma, a dimensão equivalente corresponde numericamente ao próprio vão característico considerado na análise.

Considerando que a Lapa de Antônio Pereira corresponde a uma cavidade natural, a interpretação dos resultados foi realizada com base na adaptação proposta por Jordá-Bordehore (2017), que apresenta um ábaco específico para avaliação da estabilidade de vãos em cavernas. Esse ábaco permite classificar os setores analisados em faixas de estabilidade, transição e colapso, considerando a relação entre o Índice Q e a dimensão equivalente.

Para cada setor avaliado, os valores de Índice Q e dimensão equivalente foram comparados aos campos de estabilidade definidos por Jordá-Bordehore (2017). Os pares formados pelo valor de Q e pela dimensão equivalente foram inseridos no ábaco, sendo a classe de cada trecho definida pela posição do ponto em relação aos limites das faixas de estabilidade, transição e colapso. A avaliação pelo ábaco foi utilizada para analisar a estabilidade global dos vãos e permitiu reconhecer trechos com maior ou menor tendência à instabilidade de teto e paredes, contribuindo para a interpretação da suscetibilidade geotécnica da cavidade.

7.8 Zoneamento geotécnico

O zoneamento geotécnico da Lapa de Antônio Pereira foi realizado a partir da integração dos parâmetros levantados nos pontos de controle geomecânico, dos mapas temáticos gerados em ambiente SIG e das feições de instabilidade observadas em campo. Essa etapa teve como objetivo classificar diferentes trechos da cavidade segundo níveis de suscetibilidade geotécnica, considerando as condições do maciço rochoso, das discontinuidades, da água, dos sedimentos e dos vãos livres. O zoneamento foi elaborado para o domínio interno da cavidade, limitado pelo seu contorno em planta. As feições localizadas na entrada, no pórtico, na fachada e no entorno imediato foram incorporadas posteriormente à análise do risco geotécnico.

A metodologia adotada teve como referência a proposta de avaliação geotécnica de cavidades apresentada por Noce (2016), que integra parâmetros relacionados à qualidade geomecânica do maciço, aos mecanismos prováveis de ruptura, à hidrologia, à dinâmica de

sedimentos e à estabilidade dos vãos. No presente estudo, essa abordagem foi adaptada às características da Lapa de Antônio Pereira, com a utilização do Índice Q em substituição ao Rock Mass Index (RMi), considerando sua aplicação na avaliação de maciços subterrâneos e sua relação direta com parâmetros como fraturamento, rugosidade, alteração das descontinuidades, presença de água e condições de tensão do maciço.

Para cada setor da cavidade, foram considerados os valores obtidos nos pontos de controle e os mapas temáticos resultantes da interpolação IDW. Também foram incorporadas as observações de campo referentes a blocos individualizados, blocos abatidos, planos de deslocamento, fraturas abertas, acúmulo de sedimentos e demais evidências de instabilidade em teto, paredes e piso. Esses elementos permitiram refinar a interpretação dos mapas interpolados e evitar que a classificação fosse baseada apenas nos valores numéricos dos parâmetros.

A pontuação final de cada setor foi obtida pela soma dos critérios avaliados, incluindo qualidade do maciço rochoso, mecanismos potenciais de ruptura, condições hidrológicas, dinâmica sedimentar e estabilidade dos vãos livres. A pontuação geotécnica de base foi calculada pela expressão:

$$Zb = Qp + Mp + Hp + Sp + Vp$$

em que Zb corresponde à pontuação geotécnica de base; Qp à pontuação da qualidade geomecânica do maciço; Mp à pontuação do mecanismo de ruptura; Hp à condição hidrológica; Sp à possibilidade de movimentação de sedimentos; e Vp à estabilidade dos vãos.

Na geração do mapa de suscetibilidade geotécnica de base, foi atribuída a pontuação de 15 ao parâmetro mecanismo de ruptura em toda a superfície interna. Esse valor representa a condição menos desfavorável prevista para o parâmetro, uma vez que a influência das feições de instabilidade individualizadas foi incorporada posteriormente, evitando que o mesmo mecanismo fosse contabilizado duas vezes.

A partir dessa pontuação, os setores foram classificados em diferentes classes de suscetibilidade geotécnica, conforme os critérios apresentados no Apêndice A. Nessa classificação, os maiores valores correspondem às condições geotécnicas mais favoráveis, enquanto a redução da pontuação indica o aumento da suscetibilidade.

Após a elaboração do mapa-base, foram definidas as áreas de influência das feições de instabilidade internas. A delimitação dessas áreas considerou o tamanho da feição e sua trajetória provável de movimentação, incluindo queda vertical, ricochete ou rolamento. As áreas foram representadas no SIG por meio de buffers com raios definidos conforme essas características.

A penalização aplicada em cada área de influência foi calculada pela diferença entre a pontuação máxima do parâmetro mecanismo de ruptura e a pontuação atribuída ao mecanismo definido para a feição:

$$Pi = 15 - Mi$$

em que Pi corresponde à penalização associada à feição e Mi , à pontuação do respectivo mecanismo de ruptura. Dessa forma, quanto menor a pontuação atribuída ao mecanismo, maior a penalização aplicada ao mapa de base.

Nos locais em que duas ou mais áreas de influência se sobrepunham, foi mantida somente a maior penalização incidente, sem a soma dos valores. Esse procedimento foi adotado para representar o mecanismo mais desfavorável de cada área e evitar o rebaixamento artificial da pontuação pela sobreposição de buffers.

A pontuação geotécnica final foi obtida pela subtração da maior penalização incidente sobre cada célula do mapa de base:

$$Zf = Zb - Pmax$$

em que Zf corresponde à pontuação final do zoneamento e $Pmax$, à maior penalização presente no local analisado.

O produto dessa etapa consistiu no mapa de zoneamento geotécnico da cavidade, no qual foram representadas as classes de suscetibilidade e as principais feições de instabilidade mapeadas. Para facilitar a comparação entre os diferentes setores internos, também foi elaborada uma classificação de suscetibilidade geotécnica relativa, definida a partir do intervalo de pontuações finais obtido para a própria cavidade. Essa classificação não substitui nem altera as classes absolutas adaptadas de Noce (2016), sendo utilizada apenas para distinguir as condições mais e menos desfavoráveis dentro da Lapa de Antônio Pereira.

7.9 Uso público, tempo de exposição e setores de visitação

A caracterização do uso público da Lapa de Antônio Pereira foi realizada de forma complementar à análise geotécnica, com o objetivo de relacionar os setores de suscetibilidade identificados na cavidade às áreas de circulação, permanência e visitação. Para isso, foram utilizadas as informações apresentadas no Plano de Manejo Espeleológico da Gruta Nossa Senhora da Conceição da Lapa, especialmente aquelas relacionadas aos tipos de uso da cavidade, aos roteiros de visitação e ao tempo de exposição dos visitantes (PLANTUC, 2025). Também foram consideradas as atividades de uso operacional relacionadas à manutenção, à conservação, ao manejo e ao monitoramento técnico da cavidade.

Para a análise, os usos foram organizados em cenários de turismo convencional, uso religioso ou missa, Jubileu e eventos religiosos, espeleoturismo, uso educativo e uso

operacional. O uso operacional foi subdividido em vistorias rápidas, manutenções de rotina e manutenções prolongadas, considerando as diferenças na duração e na permanência das equipes. A partir dessas informações, os setores da cavidade foram avaliados quanto à presença ou ausência de circulação de visitantes, à permanência de pessoas em determinados trechos e à relação entre os locais de uso público e as feições geotécnicas mapeadas.

O tempo de exposição foi considerado como um fator importante para a análise do risco geotécnico, uma vez que setores com maior permanência de visitantes podem apresentar maior relevância na avaliação do risco, mesmo quando o perigo geotécnico identificado não corresponde à classe mais elevada. Além do tempo de permanência, foram considerados a quantidade e a concentração de pessoas, a frequência de passagem pelo setor, o grau de controle da atividade e a possibilidade de afastamento da área exposta. Dessa forma, a análise não se restringiu à condição física do maciço rochoso, incorporando também a forma como cada setor da cavidade é utilizado durante as atividades de visitação.

As informações de uso público foram associadas à planta da cavidade e comparadas com o zoneamento geotécnico, permitindo identificar trechos onde há sobreposição entre suscetibilidade geotécnica e exposição de visitantes. Os trajetos, pontos de parada e setores de permanência foram representados separadamente para cada cenário de uso, uma vez que as atividades não utilizam a cavidade da mesma forma. Essa integração serviu de base para relacionar os perigos geotécnicos ao grau de exposição associado ao uso da cavidade.

É importante destacar que o presente trabalho considerou o uso público e o uso operacional apenas como fator de exposição aos perigos geotécnicos. Assim, não foram avaliados de forma direta os riscos operacionais próprios da visitação e das atividades de trabalho, como escorregamentos de usuários, iluminação insuficiente, aglomeração, quedas em desníveis ou dificuldades de evacuação, os quais pertencem a uma abordagem complementar de gestão do uso público.

7.10 Análise do risco geotécnico

A análise do risco geotécnico considerou o zoneamento geotécnico da cavidade, o mapeamento das feições de instabilidade, a avaliação da estabilidade dos vãos, os registros históricos e documentais disponíveis e a caracterização do uso público e operacional da Lapa de Antônio Pereira. Essa etapa teve como objetivo relacionar os perigos geotécnicos identificados no maciço rochoso às áreas de circulação, permanência e exposição de visitantes e trabalhadores. Neste trabalho, a análise de risco foi limitada aos perigos geotécnicos associados à instabilidade do maciço da cavidade.

A identificação dos perigos geotécnicos foi realizada com base nos resultados do mapeamento geológico-geotécnico, da inventariação das feições de instabilidade, da estabilidade dos vãos e do zoneamento geotécnico. Foram considerados como indicativos de perigo os setores com presença de blocos parcialmente destacados, fraturas abertas, planos de deslocamento, blocos abatidos no piso, acúmulo de sedimentos, percolação de água, baixa qualidade geomecânica do maciço e condições desfavoráveis de estabilidade dos vãos.

A análise foi realizada separadamente para os domínios interno e externo/transicional, considerando as diferenças entre os dados utilizados para representar os perigos em cada área. No domínio interno, a possibilidade relativa de ocorrência foi representada pela suscetibilidade geotécnica derivada do zoneamento final penalizado pelas feições internas de instabilidade. Para sua aplicação na matriz de risco, a pontuação final do zoneamento foi reclassificada em quatro classes de suscetibilidade: baixa, para valores entre 66 e 80; média, entre 56 e 65; alta, entre 50 e 55; e muito alta, entre 43 e 49. Essas classes representam diferenças relativas entre os setores internos da cavidade e não correspondem a frequências anuais de ocorrência.

No domínio externo/transicional, a frequência estimada dos eventos de instabilidade foi definida de forma qualitativa, considerando as características geomecânicas observadas em campo, a presença de evidências de instabilidade ativa ou pretérita, os registros históricos e documentais disponíveis e as condições estruturais dos diferentes setores desse domínio. Foram considerados, quando disponíveis, registros de ocorrências anteriores, relatos técnicos, registros fotográficos, presença de blocos abatidos, marcas de desprendimento e demais evidências que indiquem recorrência ou possibilidade de novos eventos. A classificação da frequência seguiu critérios adaptados de ITA (2004) e Candido (2010), que permitem organizar os eventos em classes associadas à possibilidade de ocorrência ao longo do tempo.

A severidade das consequências foi avaliada considerando os possíveis danos à integridade física de visitantes e trabalhadores, ao patrimônio natural e cultural, às estruturas associadas ao uso religioso e turístico e à continuidade das atividades realizadas na cavidade. A exposição dos visitantes foi considerada na atribuição da severidade, uma vez que setores com maior circulação ou permanência de pessoas podem apresentar maior criticidade quando coincidem com perigos geotécnicos relevantes. Além do tempo de permanência, foram consideradas a quantidade e a concentração de pessoas, a frequência de passagem, o grau de controle da atividade e a possibilidade de afastamento da área atingida. Para essa etapa, foram utilizadas as informações de uso público e tempo de visita apresentadas no Plano de Manejo Espeleológico da Gruta Nossa Senhora da Conceição da Lapa (PLANTUC, 2025),

complementadas pela caracterização dos cenários de uso público e operacional apresentada na seção anterior.

A determinação do nível de risco foi realizada por meio da combinação entre a suscetibilidade geotécnica, no domínio interno, ou a frequência estimada, no domínio externo/transicional, e a severidade das consequências, utilizando matriz de risco adaptada da ABGE (2025). A matriz permitiu classificar os setores analisados em diferentes níveis de risco, possibilitando reconhecer áreas com maior necessidade de controle, monitoramento, restrição de acesso ou adoção de medidas mitigadoras. Para os dois domínios, foram adotadas quatro classes para a primeira variável — baixa, média, alta e muito alta — e quatro classes de severidade das consequências, resultando em níveis de risco baixo, moderado, alto e crítico.

A matriz foi aplicada separadamente para cada cenário de uso, considerando os trajetos, locais de passagem, pontos de parada e setores de permanência associados às atividades de turismo convencional, uso religioso ou missa, Jubileu e eventos religiosos, espeleoturismo, uso educativo e uso operacional. Dessa forma, um mesmo setor poderia apresentar diferentes níveis de risco em função das características de exposição de cada cenário.

Os critérios utilizados para classificação da frequência, severidade das consequências, matriz de risco e níveis de aceitabilidade encontram-se apresentados no Apêndice B. Os resultados obtidos nessa etapa foram posteriormente espacializados em planta, permitindo a elaboração do mapa de risco geotécnico da Lapa de Antônio Pereira. Foram elaborados mapas independentes para cada cenário de uso, integrando os domínios interno e externo/transicional. Nas áreas influenciadas pelos dois domínios, foi mantida a maior classe de risco incidente, sem a soma dos valores. As áreas não utilizadas no cenário avaliado permaneceram sem classificação, o que representa ausência de exposição naquele uso específico, e não ausência de suscetibilidade geotécnica.

Por se tratar de uma análise semiquantitativa, as classes obtidas representam condições relativas de risco para o período e para os cenários avaliados. A análise não corresponde ao cálculo de probabilidades anuais de ruptura e deve ser atualizada caso ocorram novos eventos de instabilidade, alterações no maciço, intervenções na cavidade ou mudanças nas formas de uso.

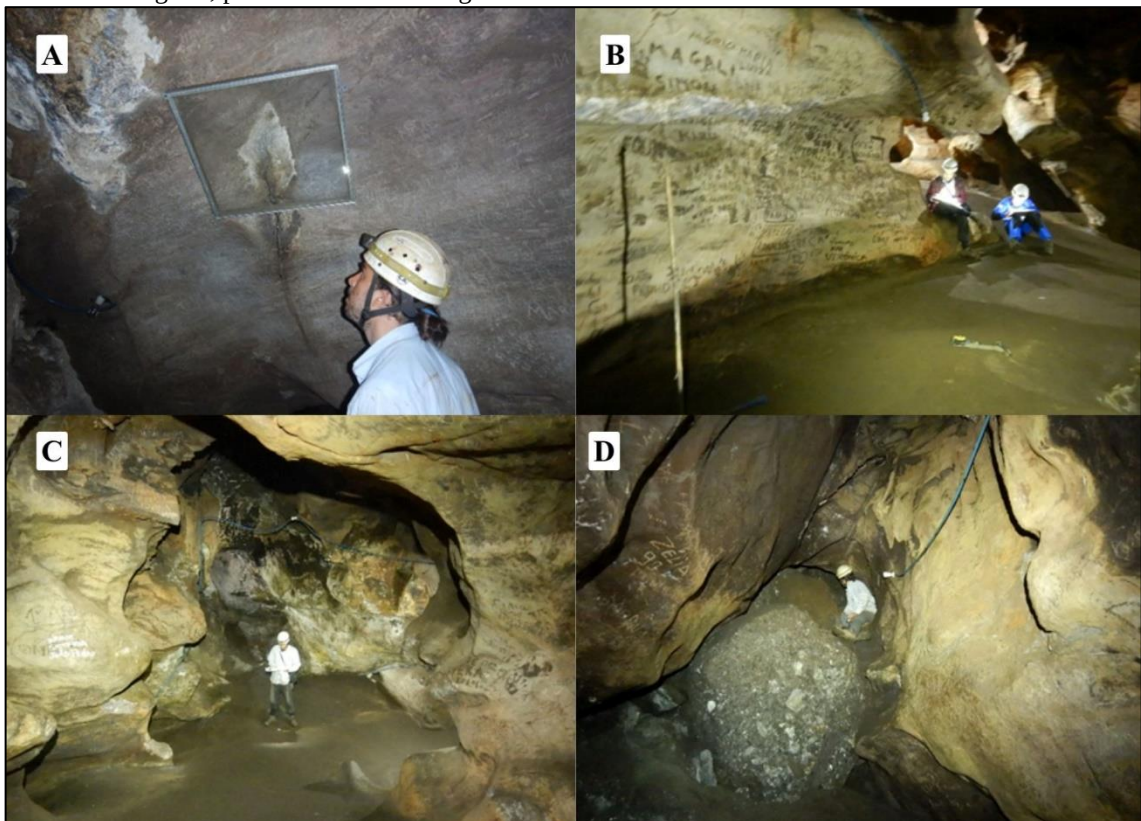
A separação entre os domínios e o uso da suscetibilidade interna são necessários porque os resultados utilizam o zoneamento final penalizado no interior e as feições individualizadas no domínio externo/transicional. A integração cartográfica mantém a maior classe incidente em cada setor.

8 RESULTADOS

8.1 Mapeamento geológico da cavidade

A Lapa de Antônio Pereira se desenvolve predominantemente em mármore dolomítico associado à Formação Gandarela. Essa litologia constitui a principal rocha encaixante e controla a maior parte da geometria dos seus salões, condutos, paredes e tetos. Ao longo da cavidade, o mármore apresenta variações de coloração, com tons cinzentos, roxeados, esbranquiçados, laranjados e rosados, além de intercalações entre níveis mais escuros, ricos em dolomita, e níveis mais claros, ricos em quartzo (FIG. 17). No setor final da cavidade, foi identificado material brechado de filito/xisto associado a um bloco rolado de grande porte (FIG. 17). Essa ocorrência representa uma variação litológica localizada e indica a possível proximidade de um contato litológico, provavelmente relacionado às rochas da Formação Cercadinho.

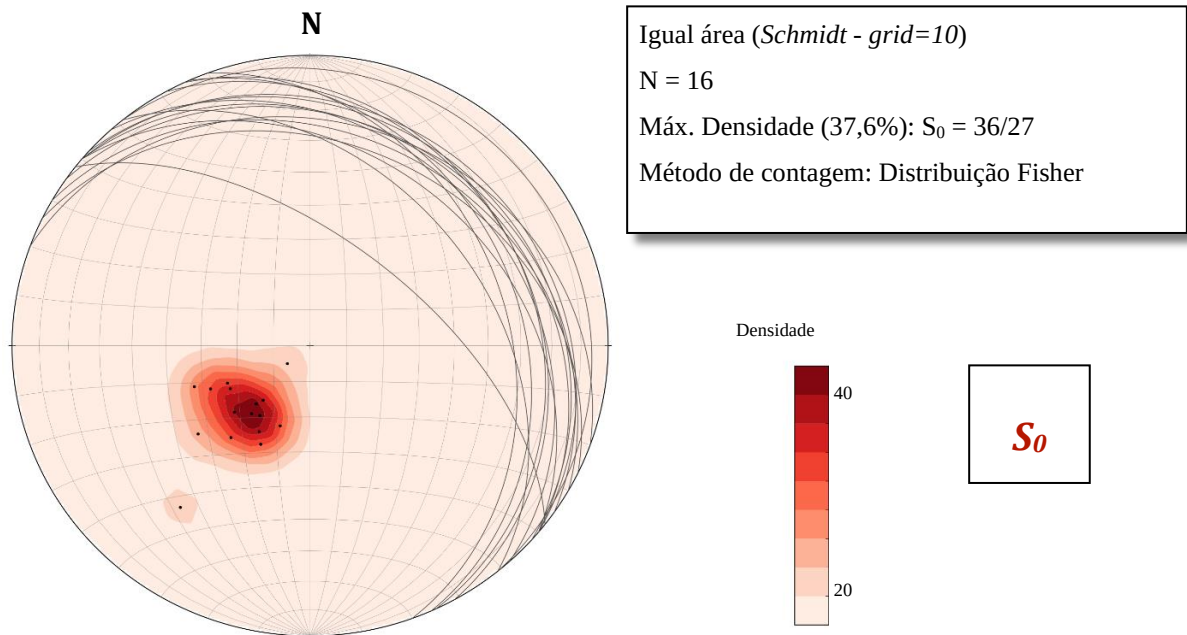
Figura 17 - Mármore dolomítico de coloração cinzenta e roxeada (A), esbranquiçada (B) e laranjada e rosada (C e D). São cobertos ora com espeleotemas e ações antrópicas (A) e pichações (B e D). Volumoso bloco abatido no extremo norte na gruta, possível contato litológico.



Fonte: MecRoc (2020)

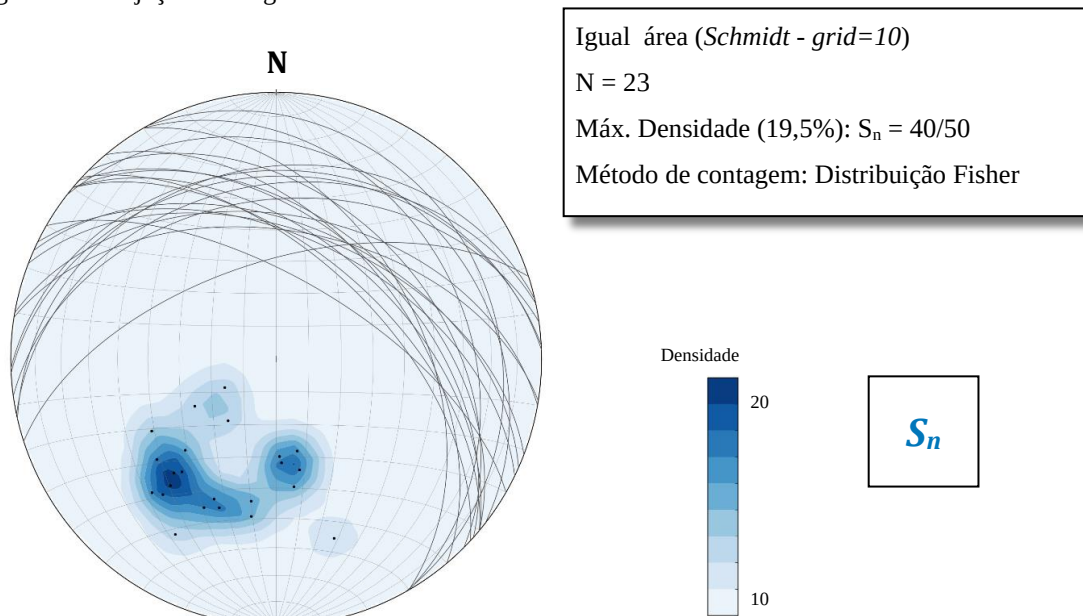
Entre as estruturas planares mapeadas, destacam-se o acamamento, denominado S0, e a foliação, denominada Sn (FIG. 18). O plano de acamamento é marcado por superfícies protuberantes e quinas sub-horizontalizadas nas paredes dos condutos, associadas à dissolução preferencial do mármore. Foram registradas 16 medidas de acamamento no interior da Lapa, com mergulho preferencial para nordeste e orientação média de $S0 = 36/27$.

Figura 18 - Projeção esferográfica de S0



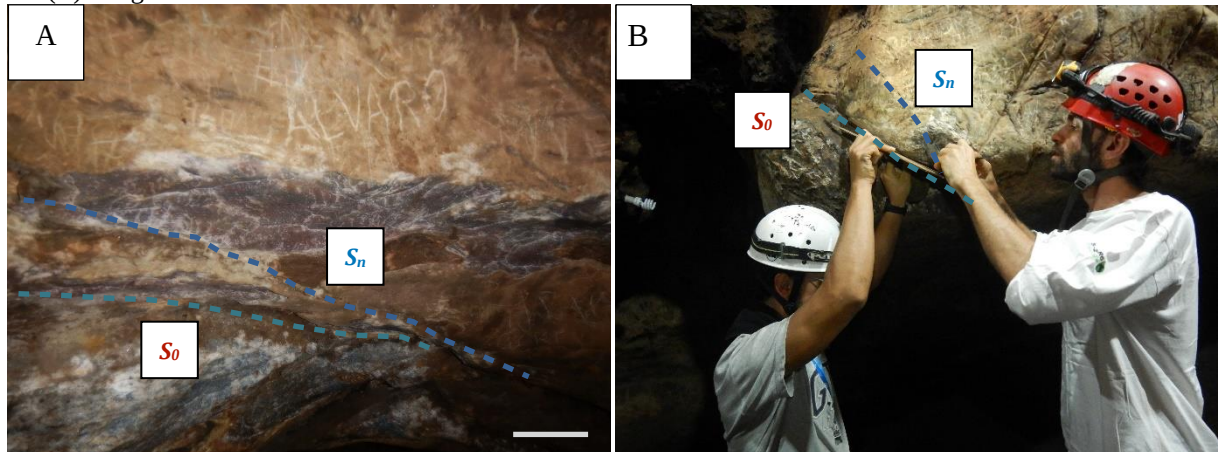
Fonte: MecRoc (2020).

A foliação S_n ocorre de forma subparalela ao acamamento, sendo marcada por planos ondulados nas paredes e por superfícies mais escuras que orientam minerais em microescala (FIG. 19). Foram registradas 23 medidas de foliação no interior da gruta, também com mergulho para nordeste, porém com ângulo mais acentuado. A orientação média obtida foi $S_n = 40/50$. A relação entre S_0 e S_n indica que essas estruturas apresentam orientação semelhante, mas com a foliação mergulhando de forma mais intensa, sugerindo rotação anti-horária quando observadas em perfil (FIG. 20).

Figura 19 - Projeção esferográfica de S_n 

Fonte: MecRoc (2020).

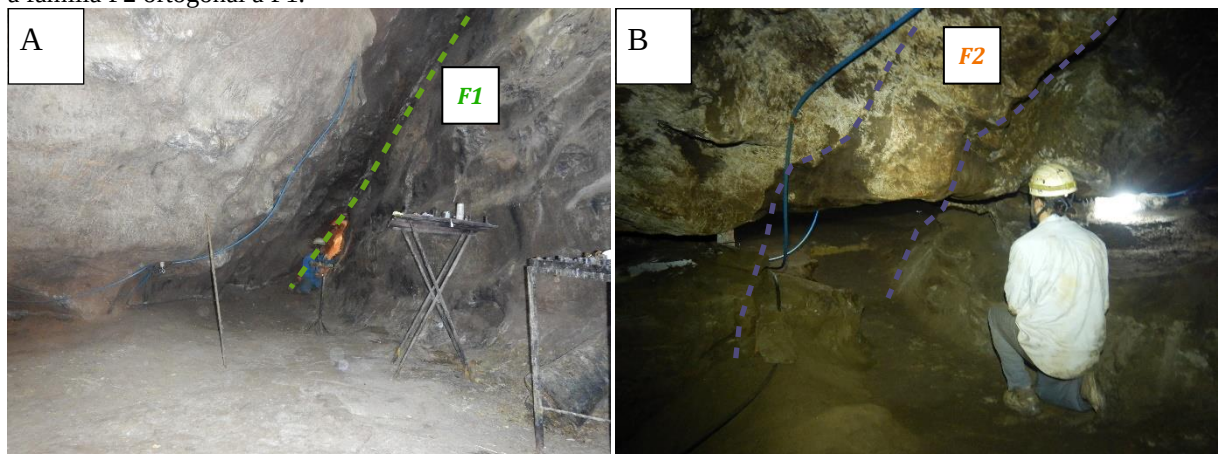
Figura 20 - Relação de mergulho entre S_0 e S_n , em (A) mergulho mais comum observado ao longo da cavidade; em (B) mergulho acentuado de S_0 e S_n .



Fonte: MecRoc (2020).

As estruturas de acamamento e foliação são interrompidas por famílias de descontinuidades representadas por fraturas, juntas e falhas de pequeno rejeito (FIG. 21). Essas estruturas foram organizadas em famílias principais e secundárias, de acordo com sua frequência, intensidade e importância no maciço rochoso. As famílias F1 e F2 correspondem às principais descontinuidades da cavidade, enquanto F3, F4 e F5 ocorrem de forma mais localizada e com menor expressão.

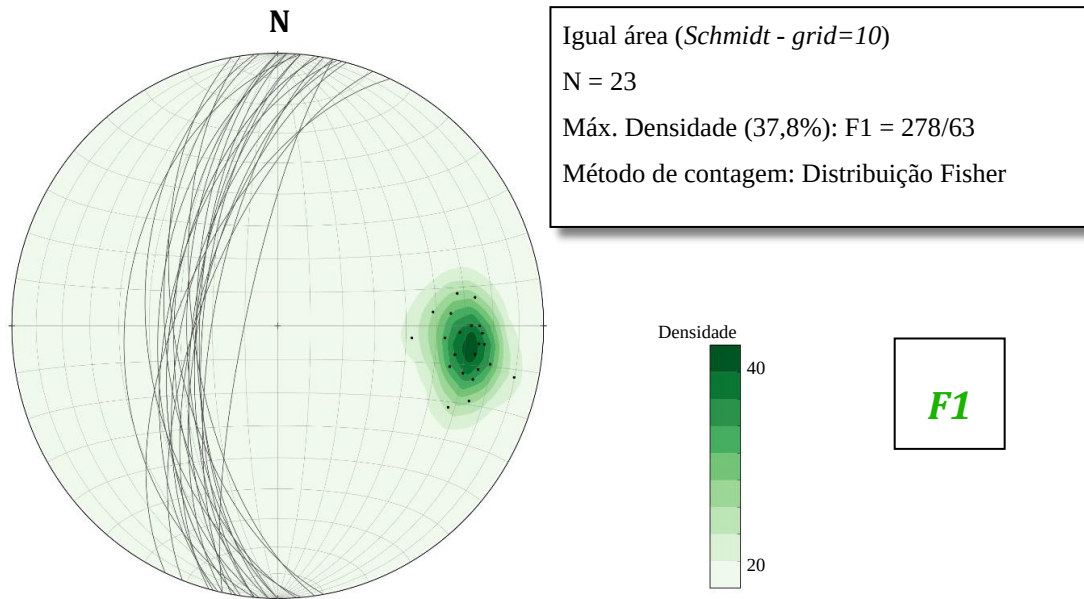
Figura 21 - Famílias de descontinuidades observadas dentro da gruta, em (A) a família F1, mais marcante; em (B) a família F2 ortogonal a F1.



Fonte: MecRoc (2020).

A família F1 é a mais expressiva da gruta. Essa estrutura apresenta direção geral norte-sul e coincide com a orientação preferencial dos condutos mais extensos, como o salão da capela, o salão das velas e a região da caixa d'água (FIG. 22). Foram registradas 23 medidas de atitude das superfícies de F1, com orientação média de $F1 = 278/63$. Embora não tenham sido observados grandes rejeitos de falha ou evidências expressivas de movimentação ao longo dessas superfícies, essa família pode estar relacionada à Falha do Frazão, sendo interpretada como uma importante família de fraturas no interior da cavidade.

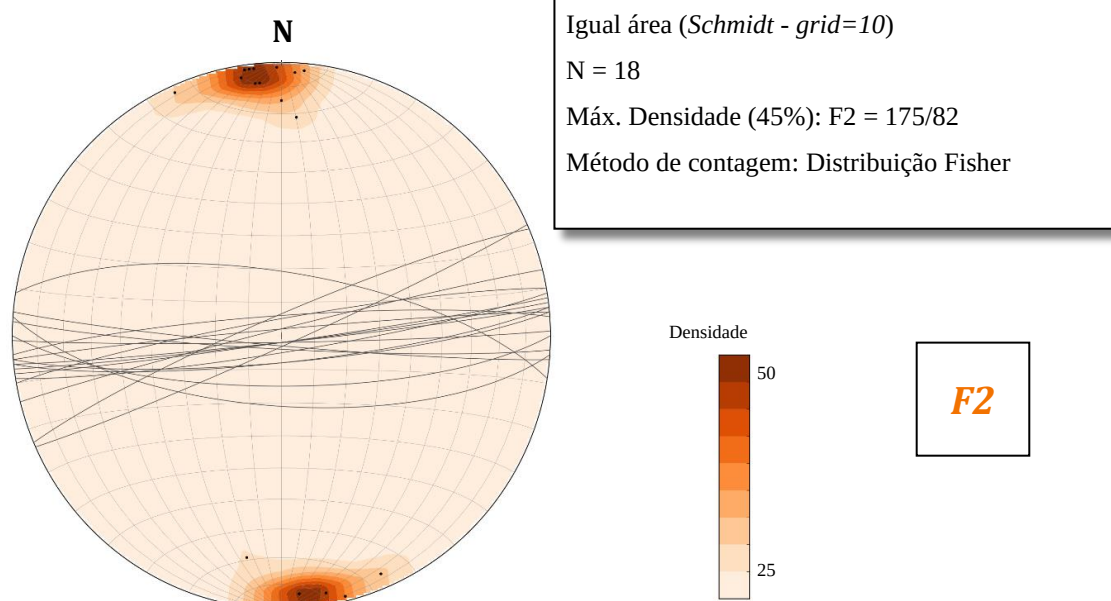
Figura 22 - Projeção esferográfica de F1.



Fonte: MecRoc (2020).

A família F2 também é expressiva ao longo da gruta e apresenta direção geral leste-oeste, aproximadamente ortogonal à família F1 (FIG. 23). Essa estrutura conecta os salões principais de direção norte-sul por meio de condutos e marca setores importantes da circulação interna da cavidade. Foram registradas 18 medidas de atitude das superfícies de F2, com orientação média de F2 = 175/82. Em alguns pontos, foram observados indícios de pequeno rejeito e movimentação associada a empurrão com transporte tectônico para norte, o que pode estar relacionado à formação de material brechado com clastos de filito/xisto.

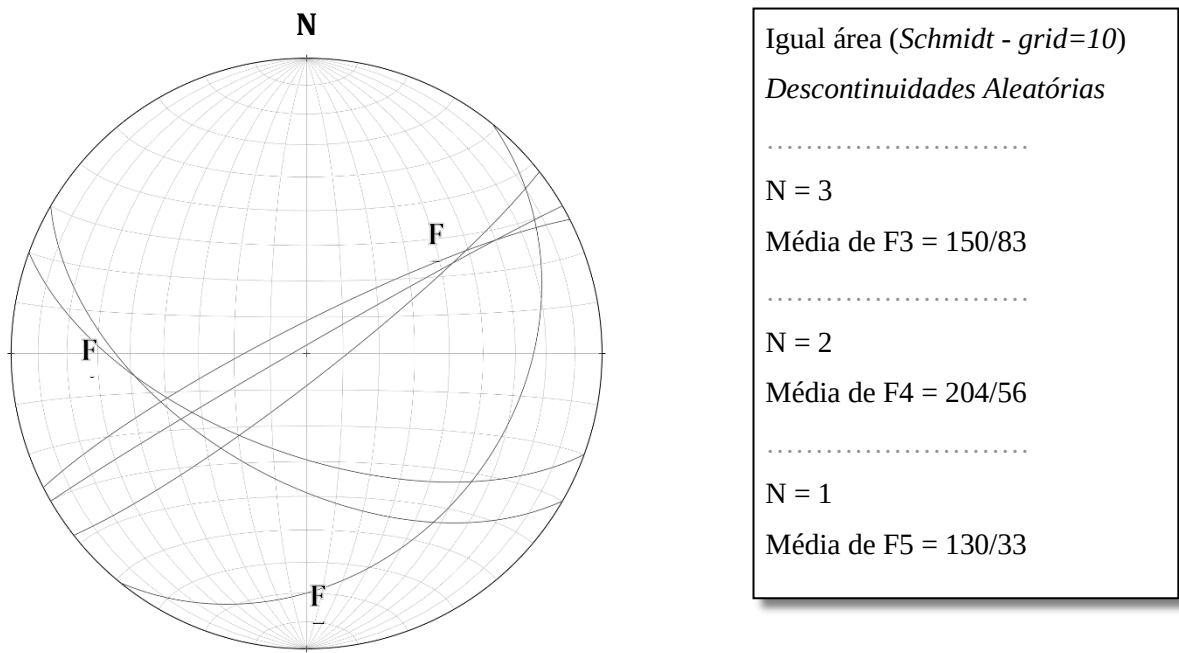
Figura 23 - Projeção esferográfica de F2.



Fonte: MecRoc (2020).

As famílias F3, F4 e F5 ocorrem em poucos locais da cavidade, sendo interpretadas como famílias secundárias ou aleatórias (FIG. 24). A família F3 apresentou três medidas, com orientação média de F3 = 150/83. Sua orientação e alto ângulo de mergulho sugerem possível relação com uma rotação anti-horária da família F2. As famílias F4 e F5 apresentaram atitudes médias de 204/56 e 130/33, respectivamente, com menor influência na geometria geral da cavidade.

Figura 24 - Projeção esferográfica de F3.



Fonte: MecRoc (2020).

Também foram registradas lineações de interseção, denominadas Li, formadas pela interseção entre os planos de acamamento S0 e foliação Sn. Foram obtidas três medidas dessas estruturas lineares, com atitude média Li = 111/07. O baixo caimento dessas lineações é compatível com os baixos valores de mergulho observados no acamamento.

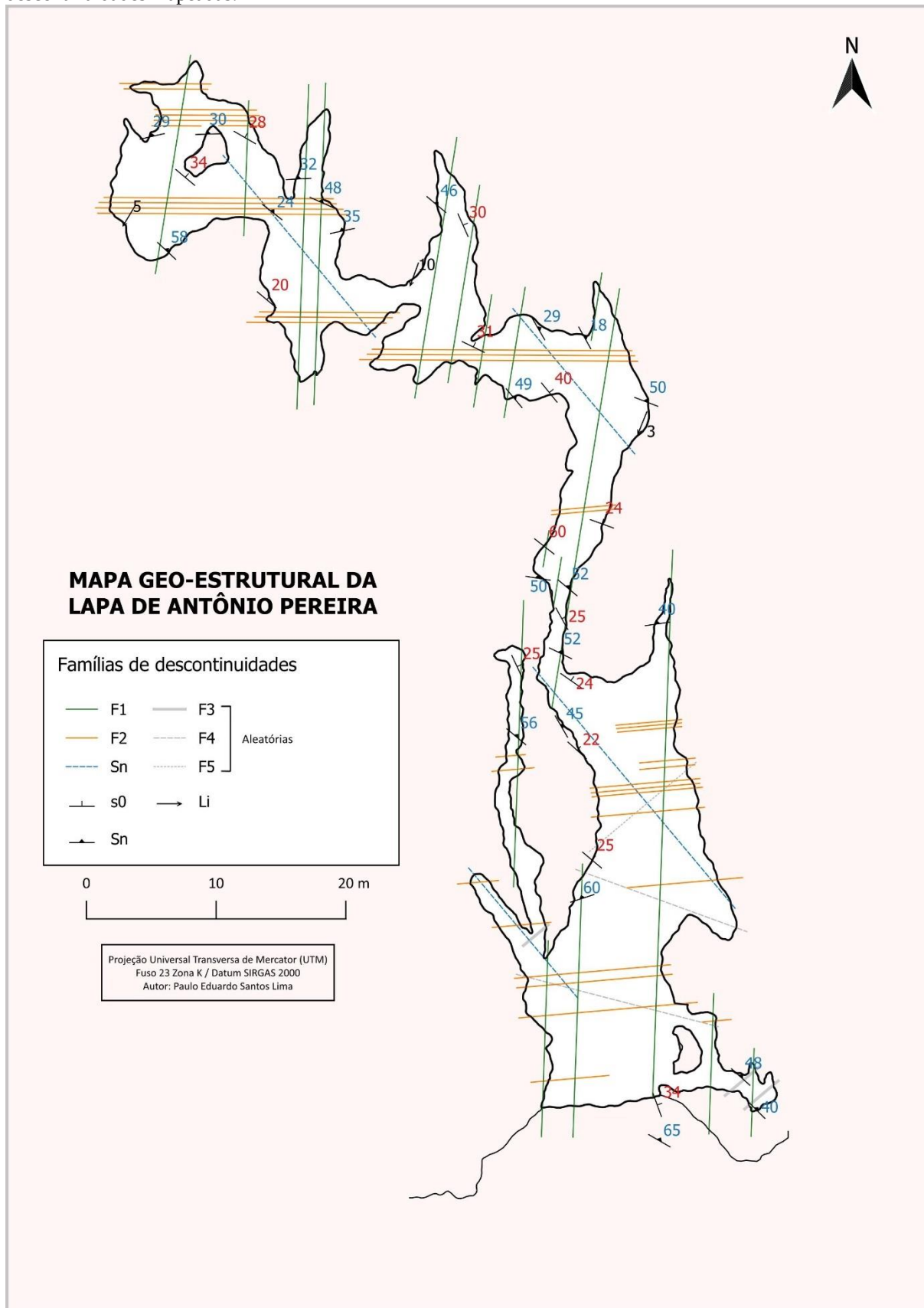
A síntese das principais estruturas geológicas mapeadas é apresentada na TAB. 1. O mapa geológico-estrutural das estruturas planares e lineares é apresentado na FIG. 25.

Tabela 1 - Síntese das estruturas geológicas mapeadas na Lapa de Antônio Pereira.

Estrutura	Nº Medidas	Dip/Dir	Observações
S0	16	36/27	Acamamento do mármore, marcado por intercalações.
Sn	23	40/50	Foliação metamórfica, plano paralela com S0.
F1	23	278/63	Família mais expressiva; condiciona os condutos principais.
F2	18	175/82	Família ortogonal à F1; conecta salões por condutos.
F3	3	150/83	Família secundária, possivelmente relacionada à rotação de F2.
F4	2	204/56	Família aleatória, com baixa influência estrutural.
F5	1	130/33	Família aleatória, com baixa influência estrutural.
Li	3	111/07	Lineação de interseção entre S0 e Sn.

Fonte: elaborado pelo autor (2026).

Figura 25 - Mapa geológico-estrutural da Lapa de Antônio Pereira, com representação das famílias de descontinuidades mapeadas.



Fonte: elaborado pelo autor, com base em MecRoc (2020).

A distribuição espacial das estruturas indica que a geometria da Lapa de Antônio Pereira é fortemente condicionada pelo arranjo entre o acamamento, a foliação e as principais famílias de fraturas. A família F1 exerce papel central no controle dos condutos mais extensos, principalmente aqueles orientados na direção norte-sul. A família F2, por sua vez, atua de forma aproximadamente ortogonal à F1, conectando salões e compartimentando o maciço em setores transversais. Já as estruturas S0 e Sn condicionam superfícies planares internas ao mármore, contribuindo para a anisotropia estrutural da rocha encaixante.

8.2 Caracterização geotécnica do maciço rochoso

Foram avaliados 14 pontos de controle geotécnico distribuídos ao longo da Lapa de Antônio Pereira (FIG. 26). Em praticamente toda a cavidade, o maciço é constituído por mármore dolomíticos da Formação Gandarela, geralmente não alterados a pouco alterados, muito coerentes e resistentes, exceto pelo ponto P13, associado ao material brechado no setor final. A condição predominante da rocha intacta é representada pelas classes W1–W3, C1-C3 e R1-R4, indicando boa qualidade geotécnica do material rochoso (TAB. 2).

Tabela 2 - Caracterização da rocha intacta nos pontos de controle geotécnico.

Ponto	Litologia	Alteração	Coerência	Resistencia
P1	Mármore dolomítico	W1	C1	R4
P2	Mármore dolomítico	W1	C1	R4
P3	Mármore dolomítico	W1	C1	R4
P4	Mármore dolomítico	W1	C1	R4
P5	Mármore dolomítico	W1	C1	R4
P6	Mármore dolomítico	W1	C1	R4
P7	Mármore dolomítico	W1	C1	R4
P8	Mármore dolomítico	W1	C1	R4
P9	Mármore dolomítico	W1	C1	R4
P10	Mármore dolomítico	W1	C1	R4
P11	Mármore dolomítico	W1	C1	R4
P12	Mármore dolomítico	W1	C1	R4
P13	Material brechado	W3	C3	R1
P14	Mármore dolomítico	W1	C1	R4

Fonte: elaborado pelo autor (2026).

As principais variações observadas entre os pontos estão associadas ao fraturamento, à abertura das descontinuidades, à presença de preenchimento, à ação localizada da água e à ocorrência de material brechado no setor final da cavidade. Assim, a diferença entre os setores

não está relacionada à baixa resistência do mármore, mas à forma como o maciço se encontra compartimentado e localmente afetado por água ou preenchimentos (TAB. 3).

Tabela 3 - Condições das descontinuidades, presença de água e preenchimento nos pontos de controle geotécnico.

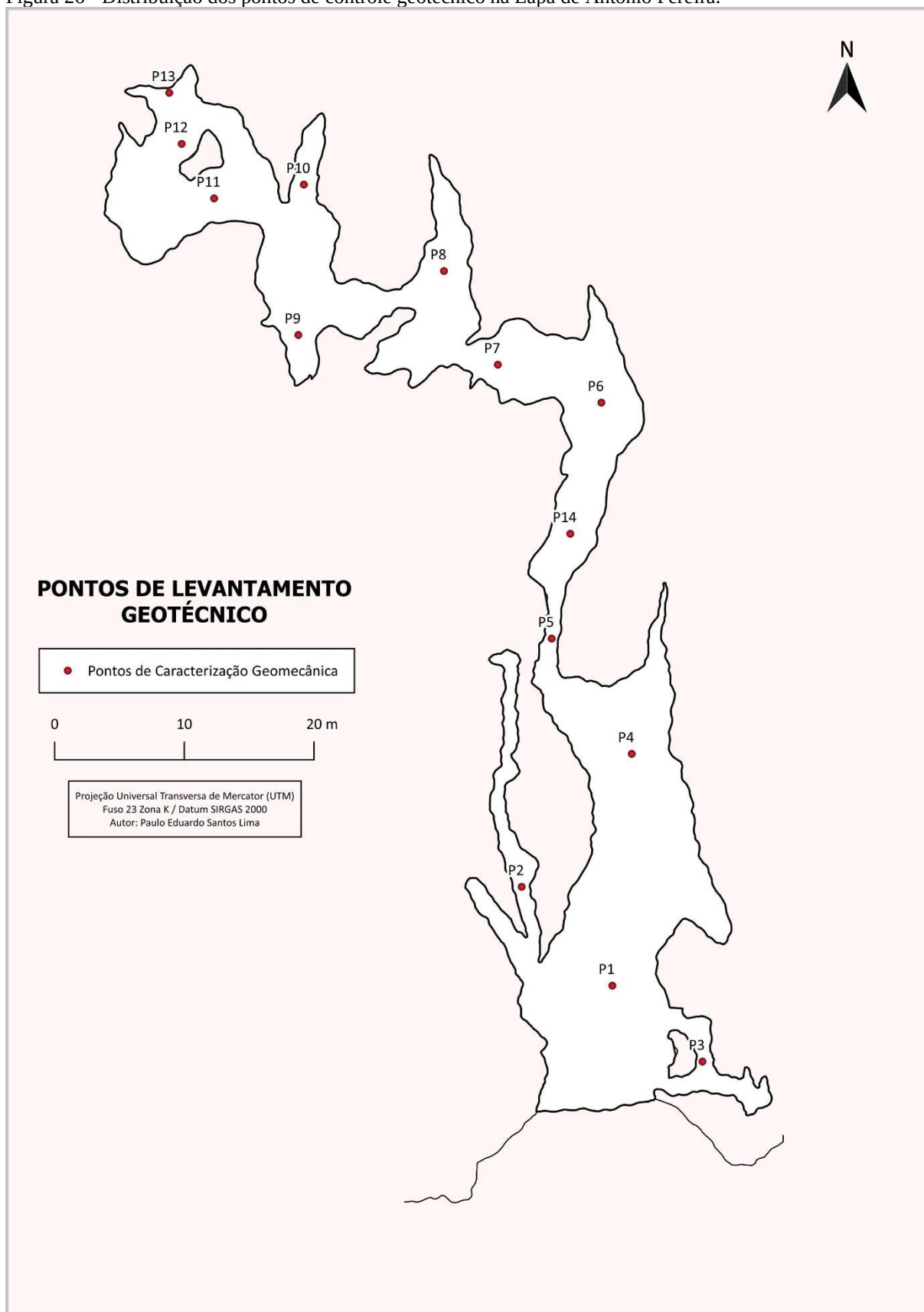
Ponto	Condição das descontinuidades	Água	Preenchimento
P1	F1 bem marcada; quatro ou mais famílias	Escorrimento	preenchimento duro > 5 mm
P2	Quatro ou mais famílias; F1 e F2 marcadas	Escorrimento	preenchimento duro > 5 mm
P3	F1 e F2 bem marcadas	Seco	Sem preenchimento
P4	F1 marcada teto e parede; F2 nas paredes	Seco	preenchimento duro > 5 mm
P5	F1 penetrativa teto; F2 laterais	Percolação	sem preenchimento
P6	F1 teto e lateral direita; F2 lateral	Seco	sem preenchimento
P7	F2 ou Sn predominante; F1 nas laterais	Seco	sem preenchimento
P8	F1 teto e lateral direita; F2 pontual	Seco	preenchimento mole < 5 mm
P9	F1 forma bloco no teto; F2 pouco visível	Escorrimento	preenchimento mole > 5 mm
P10	F1 e F2 presentes; repetição de fraturas	Úmido	preenchimento mole > 5 mm
P11	F2 predominante, associada a S0/Sn	Seco	sem preenchimento
P12	F1 marcada; quatro ou mais famílias	Seco	preenchimento mole > 5 mm
P13	F2 e F3; contato com material brechado	Seco	sem preenchimento
P14	F1 teto e lateral direita	Seco	sem preenchimento

Fonte: elaborado pelo autor (2026).

A maior parte dos pontos mantém condição W1, C1 e R4, com rocha pouco alterada, muito coerente e resistente. Os pontos P3, P7 e P11 apresentam as melhores condições relativas, por reunirem rocha seca, ausência de preenchimento expressivo e menor influência direta da água. Os pontos P1, P2, P4, P6, P8, P10, P12 e P14 representam condição intermediária, com rocha intacta favorável, mas maior compartimentação estrutural, preenchimento local, umidade ou presença de blocos associados às descontinuidades.

As condições mais desfavoráveis ocorrem em P5, P9 e P13. Em P5, a piora está associada à entrada de água e aos escorrimentos ao longo das descontinuidades. Em P9, a combinação entre escorrimentos, preenchimento mole e bloco no teto torna o setor mais sensível. Em P13, a condição distinta decorre da presença de material brechado com matriz argilosa e clastos polimíticos, com predomínio de fragmentos pelíticos/filíticos, associado ao possível contato tectônico com rochas da Formação Cercadinho.

Figura 26 - Distribuição dos pontos de controle geotécnico na Lapa de Antônio Pereira.



Fonte: elaborado pelo autor, com base em MecRoc (2020).

8.3 Classificações geomecânicas do maciço rochoso

As classificações geomecânicas foram aplicadas aos 14 pontos de controle geotécnico da Lapa de Antônio Pereira. Foram considerados os resultados de RQD, RMR e Índice Q, permitindo comparar a qualidade do maciço rochoso ao longo da cavidade.

8.3.1 Rock Quality Designation Index — RQD

Os valores de RQD indicam que o fraturamento não se distribui de forma homogênea na cavidade (TAB. 4). Os maiores valores foram registrados nos pontos P4, P6 e P8, com RQD de 90%, 91% e 96%, respectivamente. Esses pontos representam os setores com menor grau relativo de fraturamento, classificados como de qualidade excelente pelo RQD. Em contrapartida, o menor valor foi registrado em P3, com 40%, indicando o setor de maior fraturamento relativo entre os pontos avaliados.

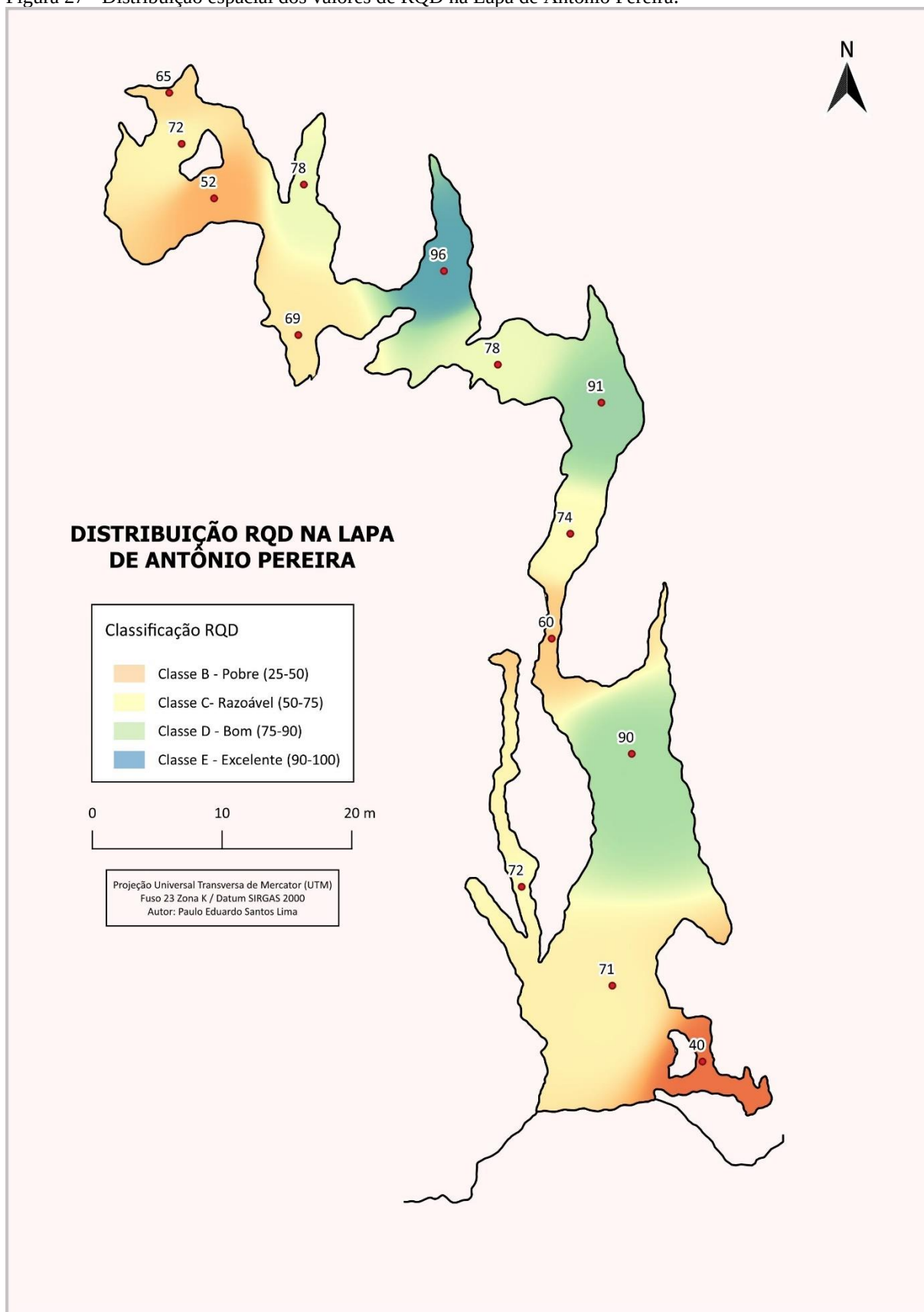
A maior parte dos pontos apresentou valores entre 50% e 75%, indicando qualidade de fraturamento razoável. Os pontos P5, P9, P11, P12, P13 e P14 ficam nesse intervalo, embora com diferenças importantes. O ponto P11, com RQD de 52%, aproxima-se do limite inferior da classe razoável, enquanto P14, com 74%, aproxima-se da classe boa. Os pontos P1, P2, P7 e P10 apresentaram valores entre 71% e 78%, representando condição relativamente melhor, próxima ou dentro da classe boa. A distribuição dos valores de RQD é apresentada na FIG. 27.

Tabela 4 - Parâmetros utilizados na estimativa do RQD e valores obtidos nos pontos de controle geotécnico.

Ponto	S0		Sn		F1		F2		F3		Jv	RQD (%)
	s	λ	s	λ	s	λ	s	λ	s	λ		
P1	0,43	2,31	0,18	5,71	0,25	4,07	0,75	1,33	-	-	13,43	71
P2	0,45	2,25	0,16	6,19	0,50	2,00	0,39	2,56	-	-	13,01	72
P3	0,15	6,56	0,27	3,66	0,13	7,50	0,20	5,13	-	-	22,84	40
P4	0,38	2,67	20,00	0,05	0,44	2,30	0,40	2,50	-	-	7,52	90
P5	0,20	5,00	0,28	3,57	0,47	2,14	0,17	6,00	-	-	16,71	60
P6	1,00	1,00	0,32	3,13	0,46	2,17	1,00	1,00	-	-	7,30	91
P7	0,50	2,00	0,20	5,00	0,80	1,25	0,34	2,94	-	-	11,19	78
P8	0,67	1,50	0,47	2,14	0,57	1,74	2,29	0,44	-	-	5,82	96
P9	0,37	2,73	0,23	4,29	0,50	2,00	0,20	5,00	-	-	14,01	69
P10	0,38	2,63	0,75	1,33	0,40	2,50	0,22	4,62	-	-	11,08	78
P11	0,28	3,64	0,18	5,56	0,30	3,33	0,16	6,43	-	-	18,95	52
P12	0,35	2,86	0,28	3,57	1,13	0,88	0,17	5,83	-	-	13,14	72
P13	0,36	2,78	-	-	-	-	0,13	7,50	0,20	5,00	15,28	65
P14	0,28	3,57	0,36	2,78	0,63	1,60	0,22	4,62	-	-	12,56	74

Fonte: elaborado pelo autor (2026).

Figura 27 - Distribuição espacial dos valores de RQD na Lapa de Antônio Pereira.



Fonte: elaborado pelo autor, com base em MecRoc (2020).

8.3.2 Rock Mass Rating — RMR

Os valores de RMR variaram entre 44 e 72, classificando o maciço entre rocha de qualidade razoável e rocha de boa qualidade (TAB. 5). O menor valor foi registrado em P9, com RMR = 44. Valores baixos também ocorreram em P1 e P2, ambos com RMR = 45, e em P5, com RMR = 47. Esses pontos são influenciados pela presença de água, especialmente escorrimientos, gotejamento ou umidade, fator que penaliza a classificação.

Os maiores valores de RMR foram registrados em P7, com RMR = 72, seguido por P6, com 66, P11, com 64, e P14, com 63. Esses pontos apresentam melhor condição relativa pelo RMR, principalmente pela combinação entre rocha resistente, menor influência de água e melhores condições das descontinuidades. O ponto P7 representa o melhor resultado desse método, sendo classificado como rocha de boa qualidade.

A distribuição dos valores mostra que o RMR é mais sensível à presença de água do que o RQD. Pontos como P1, P2, P5 e P9 não apresentam necessariamente os menores valores de RQD, mas foram penalizados no RMR pela condição hidrológica e pelas características das descontinuidades.

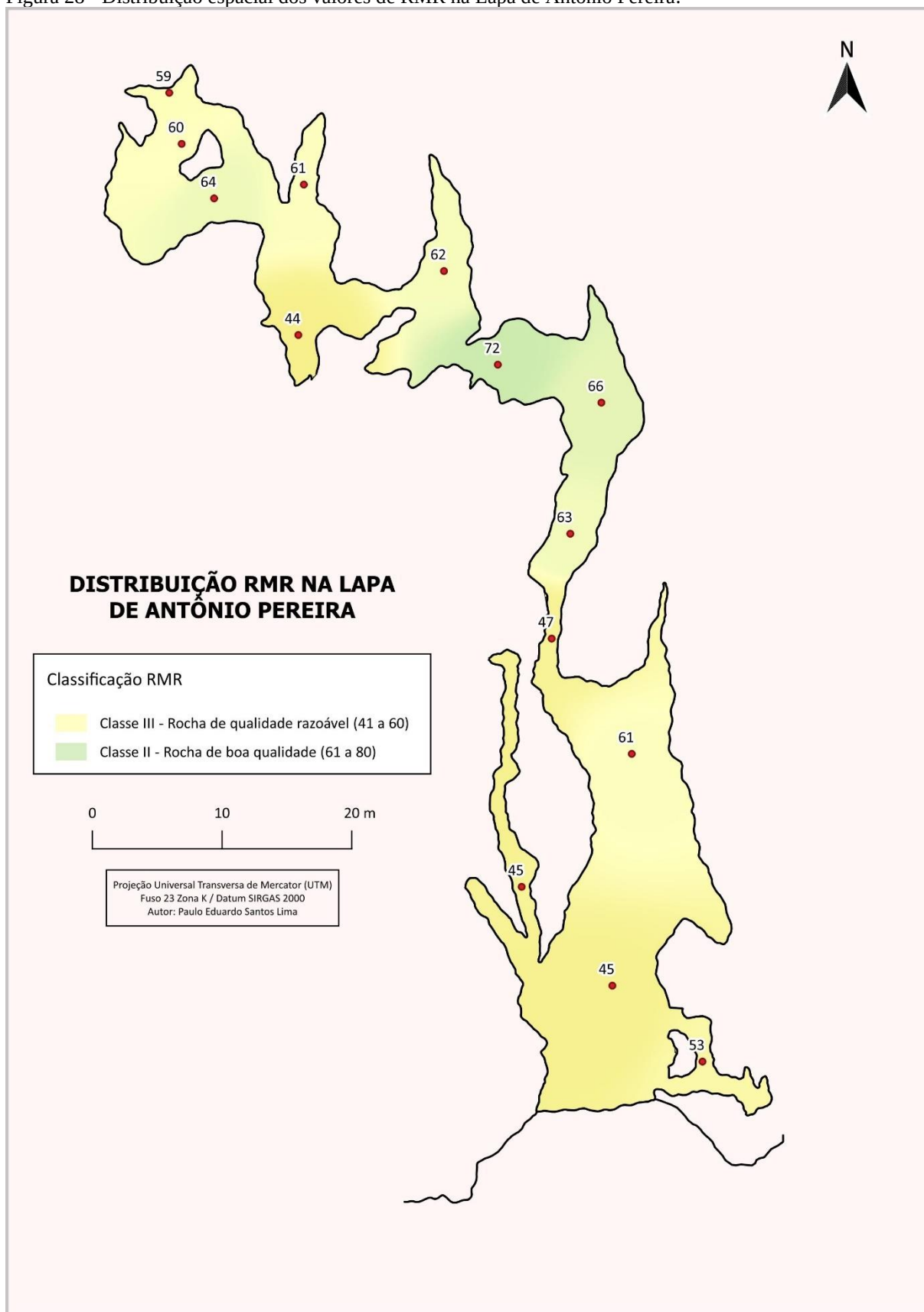
Tabela 5 - Pontuações dos parâmetros do RMR e valores obtidos nos pontos de controle geotécnico.

Ponto	RCU (MPa)	RQD	Água	Descontinuidades						RMR
				Espaçam.	Persis	Abertura	Rugisi	Preenc	Alter	
P1	7	13	4	10	0	0	1	4	6	45
P2	7	13	4	10	0	0	1	4	6	45
P3	7	8	15	8	2	0	1	6	6	53
P4	7	20	15	10	0	0	1	2	6	61
P5	7	13	4	10	0	0	1	6	6	47
P6	7	20	15	10	1	0	1	6	6	66
P7	7	17	15	10	4	6	1	6	6	72
P8	7	20	15	10	1	0	1	2	6	62
P9	7	13	4	10	1	0	1	2	6	44
P10	7	17	7	10	1	6	1	6	6	61
P11	7	13	15	8	2	6	1	6	6	64
P12	7	13	15	15	1	0	1	2	6	60
P13	7	13	15	8	2	6	1	1	6	59
P14	7	13	15	15	0	0	1	6	6	63

Fonte: elaborado pelo autor (2026).

A distribuição espacial dos valores de RMR é apresentada na FIG. 28.

Figura 28 - Distribuição espacial dos valores de RMR na Lapa de Antônio Pereira.



Fonte: elaborado pelo autor, com base em MecRoc (2020).

8.3.3 Rock Tunneling Quality Index — Q

Os valores do Índice Q variaram entre 1,4043 e 3,4062. Todos os pontos foram classificados como maciço ruim, dentro da faixa de 1 a 4 (TAB. 6). Apesar de todos permanecerem na mesma classe, há diferenças relevantes entre os pontos.

Os maiores valores foram registrados em P8, com $Q = 3,4062$, P6, com $Q = 3,2325$, e P4, com $Q = 3,2071$. Esses três pontos também apresentam os maiores valores de RQD, acima de 90%, indicando menor grau de fraturamento e melhor qualidade relativa do maciço.

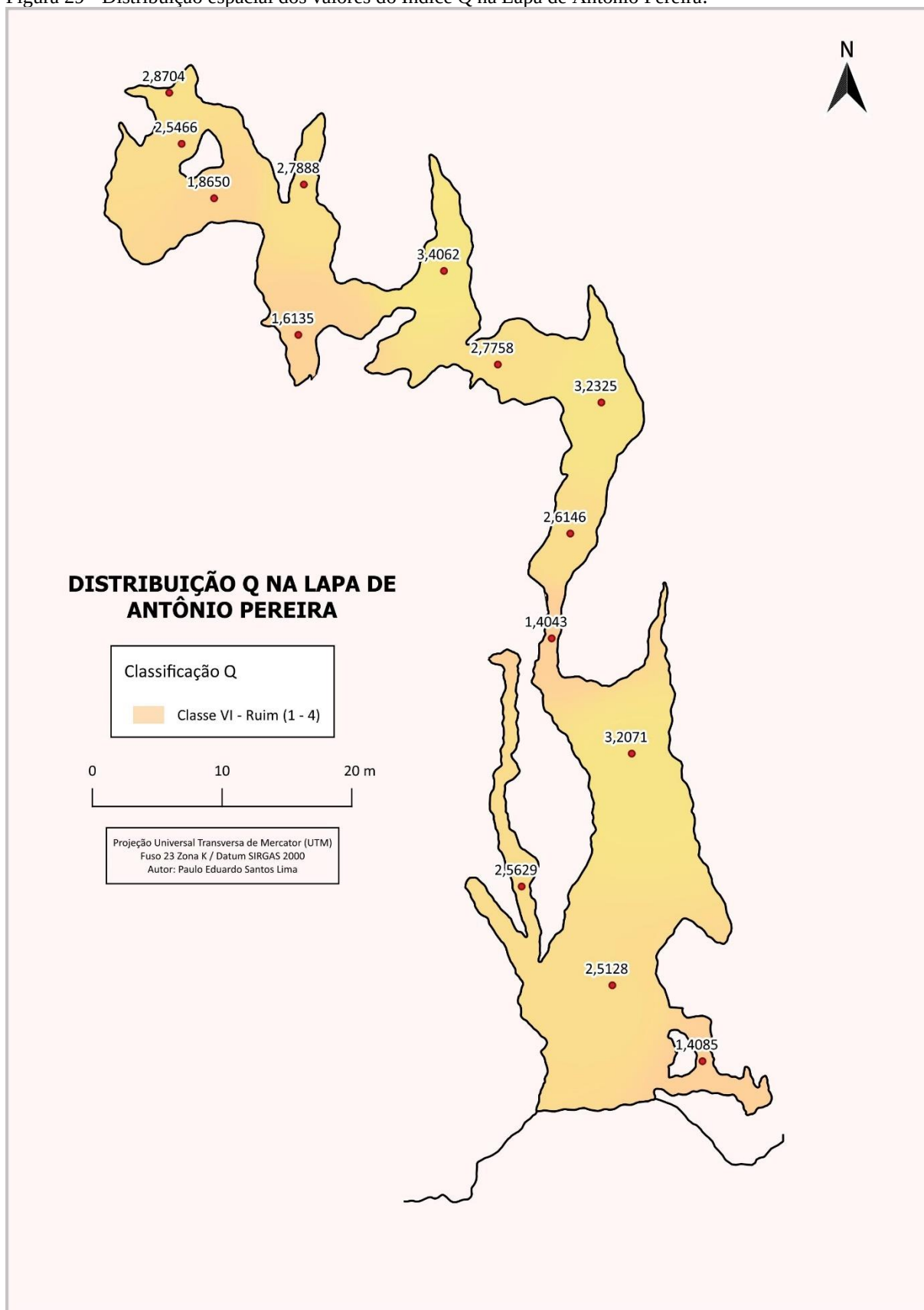
Os menores valores ocorreram em P5, com $Q = 1,4043$, P3, com $Q = 1,4085$, P9, com $Q = 1,6135$, e P11, com $Q = 1,8650$. Em P3 e P11, os baixos valores estão relacionados principalmente ao maior grau de fraturamento, expresso pelos menores valores de RQD. Em P5 e P9, a redução do Q está associada à influência da água, representada pelo menor valor de J_w . A distribuição espacial dos valores do Índice Q é apresentada na FIG. 29.

Tabela 6 - Parâmetros do sistema Q e valores do Índice Q obtidos nos pontos de controle geotécnico.

Ponto	RQD	Jn	Jr	Ja	Jw	SRF	Q
P1	71	15	2	0,75	1	5	2,5128
P2	72	15	2	0,75	1	5	2,5629
P3	40	15	2	0,75	1	5	1,4085
P4	90	15	2	0,75	1	5	3,2071
P5	60	15	2	0,75	0,66	5	1,4043
P6	91	15	2	0,75	1	5	3,2325
P7	78	15	2	0,75	1	5	2,7758
P8	96	15	2	0,75	1	5	3,4062
P9	69	15	2	0,75	0,66	5	1,6135
P10	78	15	2	0,75	1	5	2,7888
P11	52	15	2	0,75	1	5	1,8650
P12	72	15	2	0,75	1	5	2,5466
P13	65	12	2	0,75	1	5	2,8704
P14	74	15	2	0,75	1	5	2,6146

Fonte: elaborado pelo autor (2026).

Figura 29 - Distribuição espacial dos valores do Índice Q na Lapa de Antônio Pereira.



Fonte: elaborado pelo autor, com base em MecRoc (2020).

A comparação entre os métodos indica que P4, P6 e P8 apresentam os melhores resultados relativos, principalmente pelos maiores valores de RQD e Q. Os pontos P3, P5, P9 e P11 concentram as condições mais desfavoráveis. Em P3 e P11, os baixos valores estão associados ao maior grau de fraturamento. Em P5 e P9, a piora é condicionada pela presença de água. O RMR reforça essa influência hidrológica, especialmente em P1, P2, P5 e P9, onde a água penaliza a classificação.

De forma geral, os resultados mostram que a qualidade geomecânica da cavidade é heterogênea. A rocha intacta apresenta boa condição, mas os índices variam em função do fraturamento, da condição das descontinuidades e da presença localizada de água.

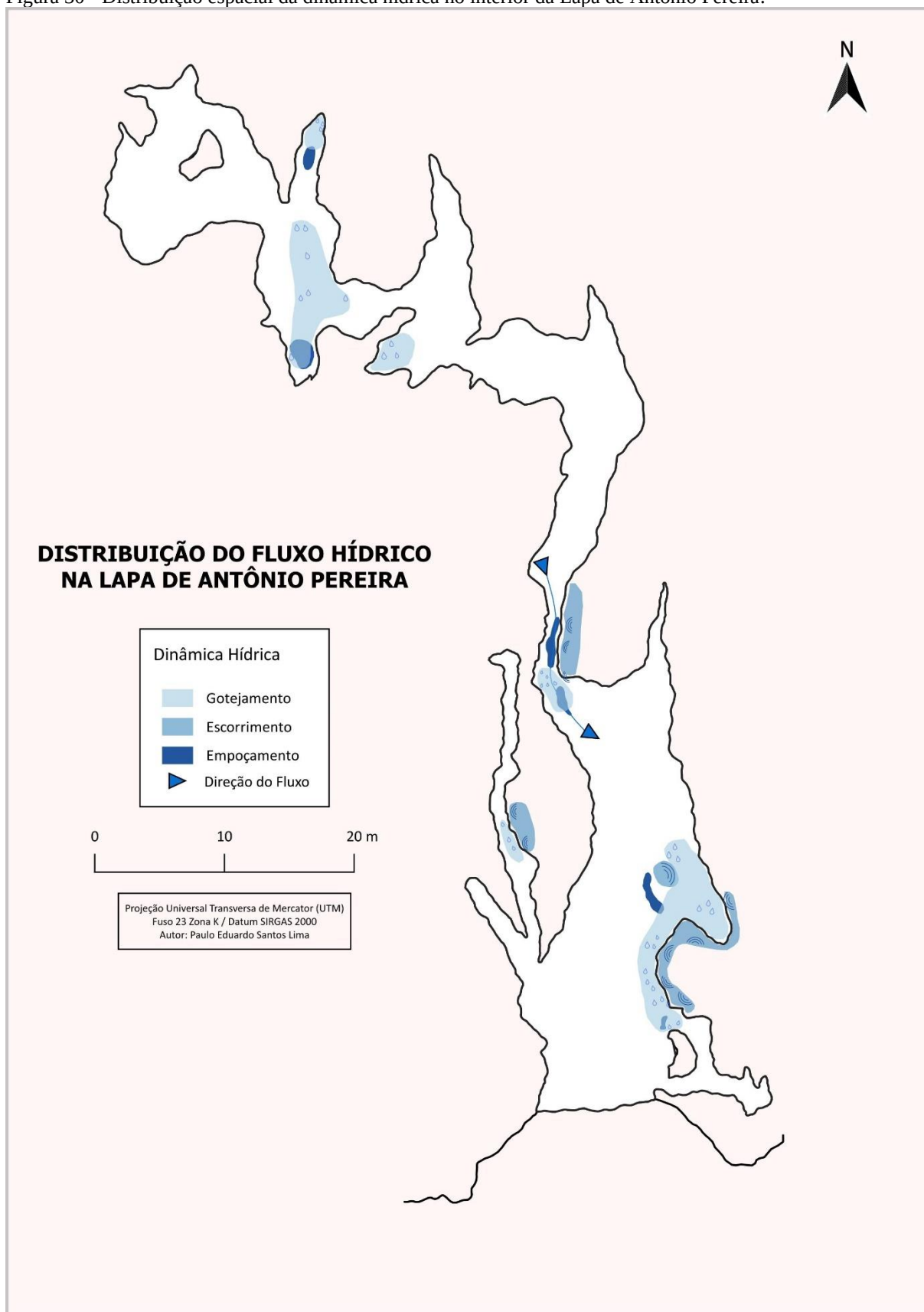
8.4 Dinâmica hídrica

A presença e a circulação de água no interior da Lapa de Antônio Pereira são condicionadas pelo grau de fraturamento do maciço rochoso, pelas propriedades das descontinuidades e pela própria natureza dos mármores dolomíticos, que apresentam potencial de dissolução e favorecem o alargamento de condutos. A cavidade insere-se em microbacias do Ribeirão da Água Suja, afluente do Rio Gualaxo do Norte, na bacia do Rio Doce. Nesse contexto, a água atua tanto no interior das fraturas quanto na superfície das paredes e do piso, influenciando localmente a condição geotécnica do maciço.

Predominam, no interior da cavidade, setores secos, mas foram identificados pontos com atuação efetiva da água. Os escorrimentos ocorrem principalmente nos pontos P1, P5 e P9, associados sobretudo a descontinuidades da família F1. Nesses setores também é comum a presença de empoçamentos. O gotejamento, por sua vez, foi observado em regiões relacionadas à interseção entre as famílias F1 e F2, como no setor sul do salão próximo ao P8 e ao longo do trecho entre P9 e P10. No P5, ponto mais baixo da cavidade, foi reconhecido ainda um pequeno fluxo de água no sentido norte-sul, marcado por canais incipientes no piso. Nesse setor, a dinâmica hídrica parece ter sido parcialmente modificada por intervenções antrópicas, favorecendo o acúmulo de água em pequenas áreas de empoçamento.

A distribuição espacial dessas feições mostra que a dinâmica hídrica não é homogênea e se concentra em setores estruturalmente favoráveis à circulação da água (FIG. 30). A associação entre água e fraturas persistentes, especialmente da família F1, reforça a influência da hidrologia subterrânea na alteração local do maciço e no aumento da suscetibilidade geotécnica em pontos específicos.

Figura 30 - Distribuição espacial da dinâmica hídrica no interior da Lapa de Antônio Pereira.



Fonte: elaborado pelo autor, com base em MecRoc (2020).

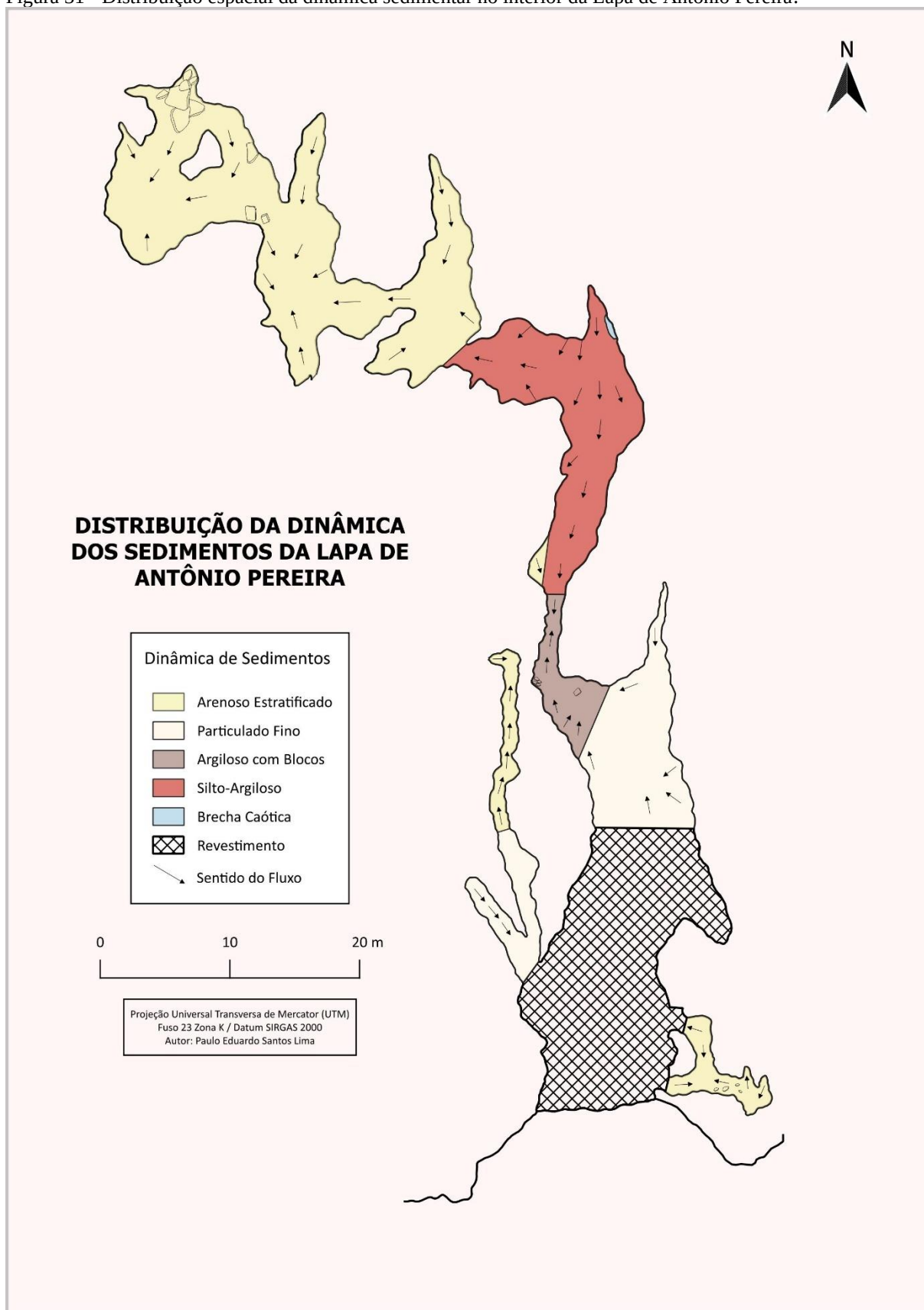
8.5 Dinâmica sedimentar

Apesar da remobilização e da retirada parcial de sedimentos por ação antrópica, foram reconhecidos diferentes tipos de depósitos no interior da cavidade. Esses materiais auxiliam na interpretação da dinâmica interna da gruta e na identificação de setores com maior instabilidade ou maior mobilização de material. Foram individualizados cinco tipos principais de sedimentos, além das porções do piso revestidas artificialmente.

O depósito arenoso estratificado corresponde a material arenoso com camadas centimétricas bem definidas, marcando variações texturais e composicionais. O depósito de brecha caótica é composto por blocos angulosos e arredondados de filito e dolomito filitoso, imersos em matriz argilosa escura, e representa o material mais heterogêneo reconhecido na cavidade. O material silto-argiloso corresponde a sedimentos finos com presença de grânulos dispersos. O depósito argiloso com blocos é formado predominantemente por blocos de dimensões métricas recobertos por matriz argilosa, sendo interpretado como resultado de colapsos localizados do teto. Por fim, o particulado fino recobre trechos do piso, paredes e espeleotemas, indicando deposição superficial de material muito fino.

A distribuição desses depósitos revela contrastes importantes no interior da cavidade (FIG. 31). Os materiais finos tendem a se concentrar em áreas de menor energia e maior retenção de umidade, enquanto os depósitos com blocos e brechas marcam setores de maior instabilidade ou de colapsos pretéritos. O setor final da cavidade se destaca pela presença de material brechado, coerente com a ocorrência já descrita de material brechado com matriz argilosa e clastos polimíticos, associado ao possível contato tectônico com rochas da Formação Cercadinho.

Figura 31 - Distribuição espacial da dinâmica sedimentar no interior da Lapa de Antônio Pereira.



Fonte: elaborado pelo autor, com base em MecRoc (2020).

8.6 Avaliação da estabilidade dos vãos

A avaliação da estabilidade dos vãos foi realizada nos 14 pontos de controle geotécnico da Lapa de Antônio Pereira, considerando o tamanho do vão, a altura do setor e o valor do Índice Q correspondente (TAB. 7). Os vãos foram definidos a partir da maior circunferência inscrita na seção da cavidade ou pela medida direta do trecho durante o mapeamento geotécnico.

Os vãos considerados variaram de 0,90 m a 10,70 m. Os menores valores foram registrados em P5 e P13, ambos com 0,90 m, correspondentes a passagens estreitas. Os maiores vãos ocorrem nos salões principais e setores de interseção, com destaque para P1, no Salão da Capela, com 10,70 m; P9, no Salão dos Sedimentos, com 9,88 m; e P4, no Salão das Velas, com 7,56 m. Essa distribuição mostra que os maiores espaços livres da cavidade estão concentrados nos salões de maior volume, enquanto as ramificações e passagens internas apresentam vãos mais restritos.

Tabela 7 - Dimensões dos vãos, Índice Q, dimensão equivalente e classes de estabilidade nos pontos de controle.

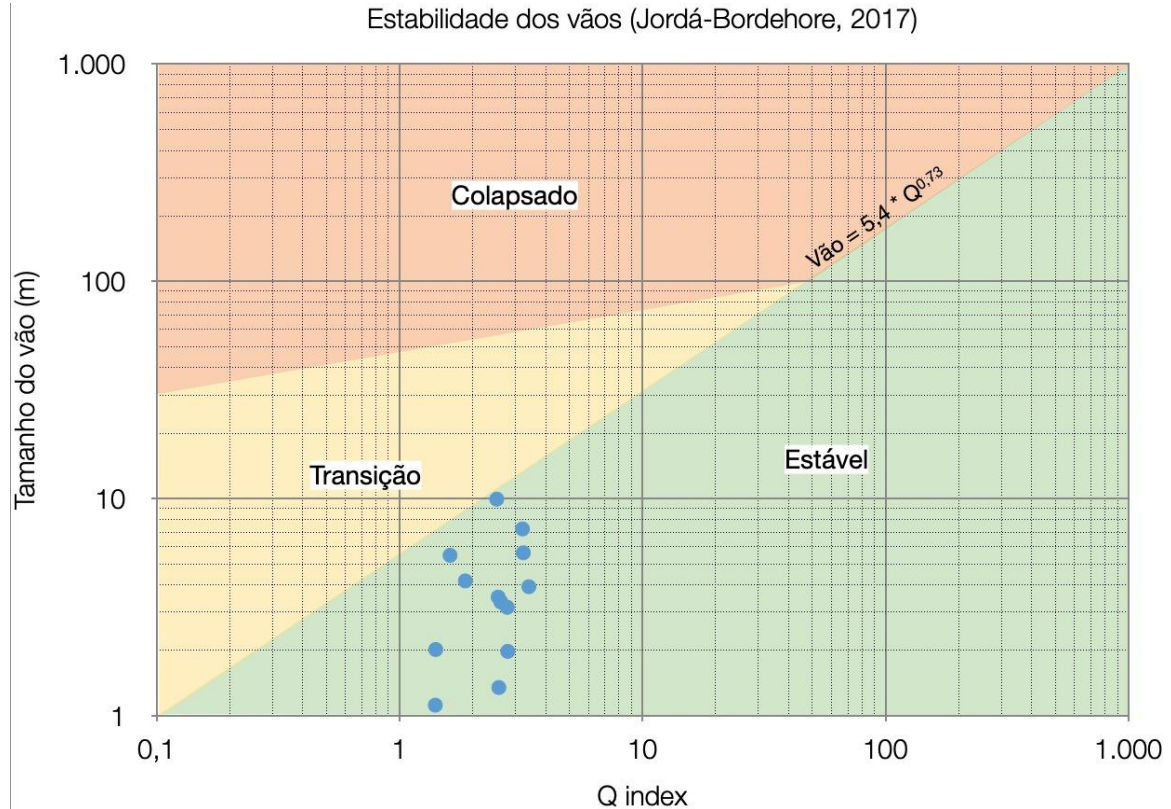
Ponto	Setor	Vão (m)	Altura (m)	Índice Q	ESR	Classe
P1	Salão da Capela	10,70	7,80	2,5128	1	Estável
P2	Ramificação Esquerda	1,00	4,12	2,5629	1	Estável
P3	Ramificação Direita	1,50	2,54	1,4085	1	Estável
P4	Salão das Velas	7,56	5,79	3,2071	1	Estável
P5	Passagem Caixa D'Água	0,90	2,15	1,4043	1	Estável
P6	Final do Salão da Rampa	4,23	3,65	3,2325	1	Estável
P7	Descida Salão dos Sedimentos	5,40	2,68	2,7758	1	Estável
P8	Salão da Trincheira	4,34	3,40	3,4062	1	Estável
P9	Salão dos Sedimentos	9,88	7,73	1,6135	1	Estável
P10	Salão dos Sedimentos	4,05	2,70	2,7888	1	Estável
P11	Começo do Salão Final	5,70	2,00	1,8650	1	Estável
P12	Salão Final	4,00	6,40	2,5466	1	Estável
P13	Ramificação Final	0,90	3,40	2,8704	1	Estável
P14	Começo Salão da Rampa	3,30	5,00	2,6146	1	Estável

Fonte: elaborado pelo autor (2026).

A plotagem dos pontos no ábaco de Jordá-Bordehore indica que todos os setores avaliados se encontram na zona de estabilidade (FIG.32). Nenhum ponto foi classificado na faixa de transição ou na zona de colapso. Apesar disso, os pontos com maiores vãos apresentam maior proximidade relativa com o limite de transição, especialmente P1, no Salão da Capela, em função do vão de 10,70 m. O ponto P9, no Salão dos Sedimentos, também merece atenção

por combinar vão elevado, de 9,88 m, com Índice Q relativamente baixo, de 1,6135, embora permaneça dentro da zona estável.

Figura 32 - Ábaco de estabilidade de vãos em cavidades naturais, com plotagem dos pontos avaliados na Lapa de Antônio Pereira.



Fonte: MecRoc (2020).

Os resultados indicam condição favorável quanto à estabilidade global dos vãos da cavidade. Os setores de menor vão, como P5 e P13, permanecem afastados da zona de transição, mesmo apresentando diferenças geotécnicas importantes em relação ao restante da cavidade. Já os maiores salões, especialmente P1, P4 e P9, representam os setores mais sensíveis nessa avaliação, não por indicarem colapso, mas pela maior dimensão livre associada ao maciço fraturado.

Assim, a análise pelo ábaco de Jordá-Bordehore não indica instabilidade global dos vãos nos pontos avaliados. No entanto, essa condição não elimina a possibilidade de instabilidades localizadas, principalmente associadas a blocos individualizados por descontinuidades em teto e paredes.

8.7 Inventariação das feições de instabilidade

Foram reconhecidas 44 feições de instabilidade na Lapa de Antônio Pereira, sendo 35 no interior da cavidade e 9 na fachada, no pórtico e no entorno imediato da entrada. No interior, as feições ocorrem principalmente em tetos e paredes de salões, condutos, rampas e ramificações. Na porção externa, concentram-se na fachada, no pórtico, na entrada e em blocos ou feições apoiadas por sedimentos. O inventário identificou blocos individualizados, pendentes, pontões, espeleotemas, veios de calcita, blocos soltos e uma torre residual/calcária na entrada da cavidade. O inventário completo, com os pontos, classificações e parâmetros descritivos utilizados na análise, é apresentado no Apêndice D.

A distribuição espacial dessas feições permite reconhecer setores com maior concentração de ocorrências no interior da cavidade, especialmente no Salão da Capela, Salão das Velas, passagem da caixa d'água, rampas, Salão dos Sedimentos, salões finais e ramificações (FIG. 34). Na área externa, os pontos se concentram na entrada, no pórtico, na fachada e na rampa de acesso, onde ocorrem blocos individualizados, blocos soltos, feições apoiadas por sedimentos e a torre residual/calcária associada à entrada da cavidade (FIG. 35 e FIG. 36).

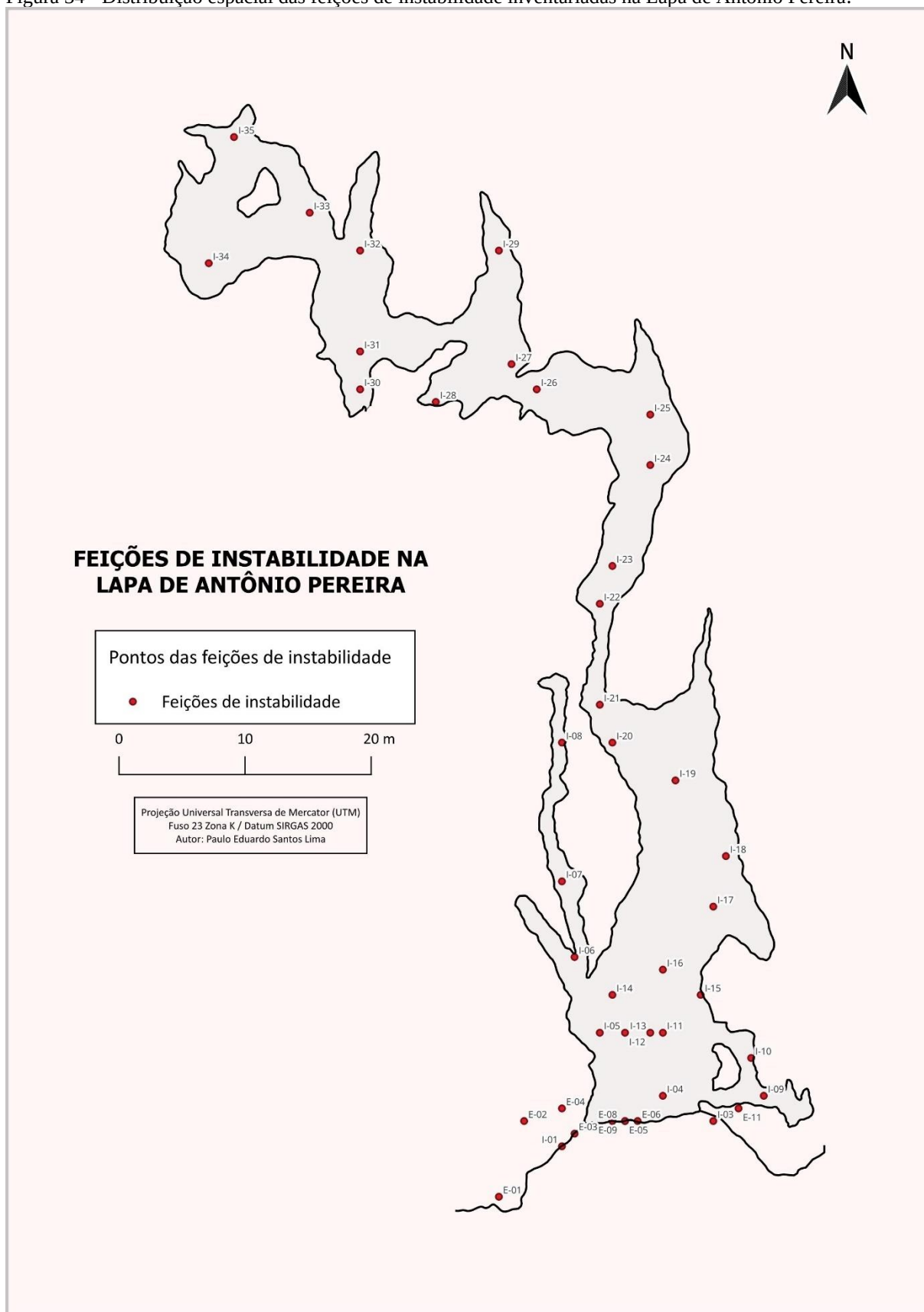
Entre as feições mapeadas, algumas se destacam pelo porte, pela posição ou pelo mecanismo associado. Na porção externa, destacam-se a torre residual/calcária E-02, o bloco solto E-01 e os blocos individualizados E-03, E-06, E-09 e E-11, associados a perda de suporte basal, rolamento longo, ruptura em cunha ou queda oblíqua curta. No interior da cavidade, destacam-se o bloco I-11, no Salão da Capela, associado a tombamento; o pendente muito grande I-05, também no Salão da Capela; o bloco solto I-20, na passagem da caixa d'água, apoiado em sedimentos; o bloco I-31, no Salão dos Sedimentos; e o bloco I-35, nos salões finais/ramificações finais, associado a perda de suporte basal e rolamento longo.

Figura 33 - Exemplos de feições de instabilidade reconhecidas nos domínios externo e interno da Lapa de Antônio Pereira em (A) torre residual, referente ao ponto E-02; em (B) bloco com possibilidade de tombamento, referente ao ponto I-11; em (C) pendente em balanço, referente ao ponto I-05; em (D) bloco com possibilidade de rolamento, referente ao ponto I-35.



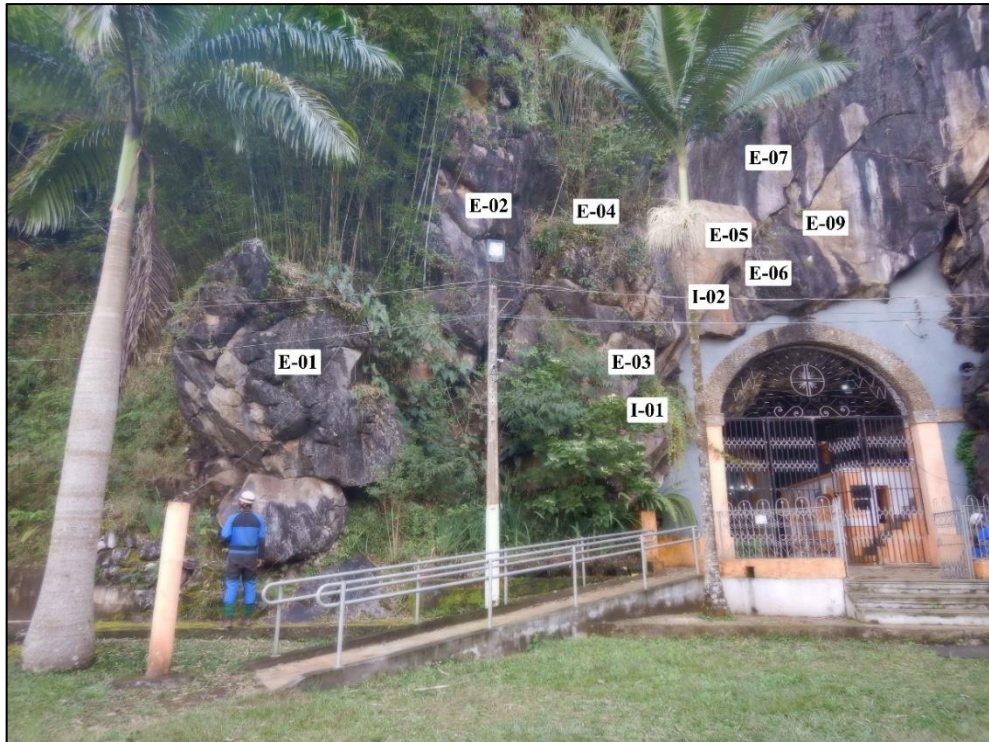
Fonte: MecRoc (2020).

Figura 34 - Distribuição espacial das feições de instabilidade inventariadas na Lapa de Antônio Pereira.



Fonte: elaborado pelo autor, com base em MecRoc (2020).

Figura 35 - Feições de instabilidade mapeadas na fachada, no pórtico e no entorno da entrada da Lapa de Antônio Pereira.



Fonte: elaborado pelo autor, com base em MecRoc (2020).

Figura 36 - Feições de instabilidade mapeadas na fachada, no pórtico e no entorno da entrada da Lapa de Antônio Pereira.



Fonte: elaborado pelo autor, com base em MecRoc (2020).

Os blocos individualizados constituem o principal tipo de feição mapeada, com 17 ocorrências. Em seguida aparecem os pendentes, com 8 ocorrências, e os pontões, com 7 ocorrências. Espeleotemas, blocos soltos, veios de calcita e a torre residual/calcária ocorrem em menor número, mas representam feições importantes para a caracterização da instabilidade local. A TAB. 8 sintetiza os tipos de feições reconhecidos.

Tabela 8 - Distribuição dos tipos de feições de instabilidade inventariadas

Tipo de feição	Quantidade	Caracterização
Bloco individualizado	17	Blocos delimitados por descontinuidades, com faces conectadas ao maciço e faces livres voltadas ao vazio da cavidade ou da fachada.
Pendente	8	Feições em balanço, principalmente no teto, associadas a saliências do maciço e superfícies de destacamento.
Pontões	7	Saliências rochosas e porções proeminentes do maciço, geralmente em teto ou parede.
Espeleotema	5	Feições de precipitação mineral aderidas ao teto ou à parede.
Bloco solto	4	Blocos já destacados ou apoiados no piso, na parede, na fachada ou sobre sedimentos.
Veio de calcita	2	Veios ou preenchimentos de calcita expostos em parede.
Torre residual/calcária	1	Feição residual de grande porte na entrada, associada à perda de suporte basal e possibilidade de deslocamento por rolamento.
Total	44	—

Fonte: elaborado pelo autor (2026).

Os blocos individualizados são controlados principalmente pelas famílias F1, F2 e pelos planos S0/Sn, que compartimentam o maciço e delimitam volumes rochosos no teto, nas paredes e na fachada. As famílias F1 e F2 formam faces laterais e posteriores, enquanto S0 e Sn funcionam como superfícies de teto, base ou destacamento. Quando essas estruturas interceptam faces livres voltadas para o piso, salões, condutos, acesso ou fachada, formam volumes individualizados com diferentes graus de confinamento.

Os blocos individualizados de maior destaque são aqueles com maior porte, maior abertura ou mecanismo cinemático mais definido. No pórtico e na entrada, destacam-se I-03, E-03, E-06, E-09 e E-11, relacionados a deslocamento planar, ruptura em cunha, queda oblíqua curta ou ricochete local. No interior, destacam-se I-11, no Salão da Capela, por apresentar mecanismo de tombamento e abertura superior a 5 mm; I-14, também no Salão da Capela, associado a deslocamento planar; I-31, no Salão dos Sedimentos, por se tratar de bloco muito grande com queda de bloco e ricochete local; e I-35, nos salões finais/ramificações finais, por estar associado à perda de suporte basal e rolamento longo.

Os pendentes e pontões representam feições recorrentes no interior da cavidade. Os pendentes ocorrem principalmente no teto, com geometria em balanço, enquanto os pontões correspondem a saliências e volumes localizados do maciço. Entre os pendentes, destacam-se I-05, no Salão da Capela, por seu porte muito grande; I-06 e I-07, na ramificação esquerda; I-16, no Salão da Capela; I-21, na passagem da caixa d'água; I-22, na rampa de subida; e I-28,

na rampa de descida. Entre os pontões, destacam-se I-12 e I-13, no Salão da Capela; I-19, no Salão das Velas; I-24, na rampa de subida; e E-08, no pórtico. Em parte desses pontos, os planos foram registrados como “não definidos” devido à limitação de acesso direto ao teto ou à parede. Esse registro não indica ausência de controle estrutural, mas impossibilidade de medição direta da superfície de descontinuidade.

A torre residual/calcária localizada na entrada representa uma feição externa singular no inventário. Trata-se de uma feição de porte muito grande, associada à perda de suporte basal e trajetória provável de rolamento longo. Sua importância decorre da posição na entrada da cavidade, da dimensão da feição e da relação com o setor externo de acesso, onde também ocorrem blocos soltos, blocos individualizados e feições apoiadas ou parcialmente condicionadas por sedimentos.

Os mecanismos definidos indicam predomínio de deslocamento planar, seguido por ruptura em cunha e queda de bloco. O deslocamento planar aparece em feições controladas por um plano dominante, enquanto a ruptura em cunha está associada à combinação entre duas ou mais estruturas. A queda de bloco foi atribuída a feições com desprendimento predominantemente gravitacional. A perda de suporte basal ocorre em blocos ou feições apoiadas sobre sedimentos, base desfavorável ou suporte parcialmente comprometido. A TAB. 9 apresenta a distribuição dos mecanismos definidos.

Tabela 9 - Distribuição dos mecanismos potenciais de instabilidade definidos para as feições inventariadas.

Mecanismo definido	Quantidade	Caracterização
Deslocamento planar	14	Movimento controlado por um plano dominante, como F1, F2, S0 ou Sn.
Ruptura em cunha	8	Blocos delimitados pela combinação entre duas ou mais estruturas.
Queda de bloco	7	Desprendimento gravitacional de bloco ou porção rochosa.
Queda de espeleotema	5	Desprendimento de espeleotema ou material aderido ao teto ou à parede.
Perda de suporte basal	4	Instabilidade associada à perda ou fragilidade do material de apoio.
Deslocamento de bloco solto	2	Movimentação de bloco já destacado do maciço.
Lascamento local	2	Desprendimento superficial de lascas, pontões ou fragmentos localizados.
Queda de pendente	1	Queda de saliência ou volume em balanço.
Tombamento	1	Rotação de bloco em direção à face livre.
Total	44	—

Fonte: elaborado pelo autor (2026).

As trajetórias prováveis são predominantemente curtas. A maior parte das feições tende a cair próxima ao ponto de origem, seja por queda vertical, seja por ricochete local. As maiores trajetórias ou áreas de influência estão associadas a feições muito grandes, a blocos apoiados sobre sedimentos e a setores externos ou finais da cavidade. Nesse grupo, destacam-se I-35, E-01 e E-02, com rolamento longo e área de influência de 6 m; I-31, no Salão dos Sedimentos,

com queda com ricochete local e área de influência de 5 m; e E-11, na entrada, com queda oblíqua curta e área de influência de 5 m. Também apresentam influência ampliada I-03, I-22, I-24, I-30, I-32 e E-03, todos com área de influência de 4 m. Essa distribuição é apresentada na TAB. 10.

Tabela 10 - Distribuição das trajetórias prováveis de movimentação das feições de instabilidade.

Trajetória provável de queda	Quantidade	Caracterização
Queda vertical curta	25	Queda próxima à projeção vertical da feição.
Queda com ricochete local	12	Queda com impacto em parede, piso ou irregularidades próximas.
Rolamento longo	3	Deslocamento associado a blocos ou feições muito grandes apoiadas em sedimentos, base desfavorável ou setores externos.
Queda oblíqua curta	2	Queda com pequeno deslocamento lateral.
Tombamento com queda frontal	1	Rotação e queda na direção da face livre.
Rolamento curto	1	Deslocamento limitado de bloco apoiado ou solto.
Total	44	—

Fonte: elaborado pelo autor (2026).

Quanto às condições físicas, predominam feições em condição seca, com 29 ocorrências, enquanto 14 feições foram registradas como úmidas e 1 associada a escorrimento. As feições úmidas concentram-se principalmente a partir da passagem da caixa d'água e nos setores internos mais profundos, incluindo I-20 e I-21, na passagem da caixa d'água; I-22, I-23 e I-24, na rampa de subida; I-27, I-28 e I-29, na rampa de descida; I-31 e I-32, no Salão dos Sedimentos; I-33 e I-34, no Salão final; e I-35, nos salões finais/ramificações finais. O ponto I-30, no Salão dos Sedimentos, foi o único associado a escorrimento, também com trajetória de ricochete local. No Salão da Capela, a feição I-17 foi registrada como úmida.

Nas discontinuidades em que o preenchimento foi avaliado, predominam superfícies sem preenchimento; também foram reconhecidos casos pontuais com preenchimento por espeleotema e argila. A abertura das discontinuidades varia desde superfícies sem abertura visível até fraturas abertas superiores a 5 mm, com ocorrência frequente de aberturas finas entre 0,1 e 1 mm. Em relação ao tamanho, predominam feições grandes, com 19 ocorrências, seguidas por feições médias, com 13 ocorrências, pequenas, com 6 ocorrências, e muito grandes, também com 6 ocorrências. A rugosidade foi reconhecida principalmente como rugosa ou lisa nos pontos acessíveis, enquanto parte das feições em teto permaneceu como não definida devido à limitação de acesso direto.

A presença dessas feições mostra que a estabilidade local da cavidade não depende apenas da condição global dos vãos. Mesmo em setores classificados como estáveis pela análise de estabilidade, ocorrem instabilidades localizadas associadas à compartimentação estrutural do maciço, à presença de faces livres, à formação de pendentes e pontões, ao apoio de blocos

sobre sedimentos, à presença localizada de água e à ocorrência de feições externas de maior porte.

8.8 Zoneamento geotécnico da cavidade

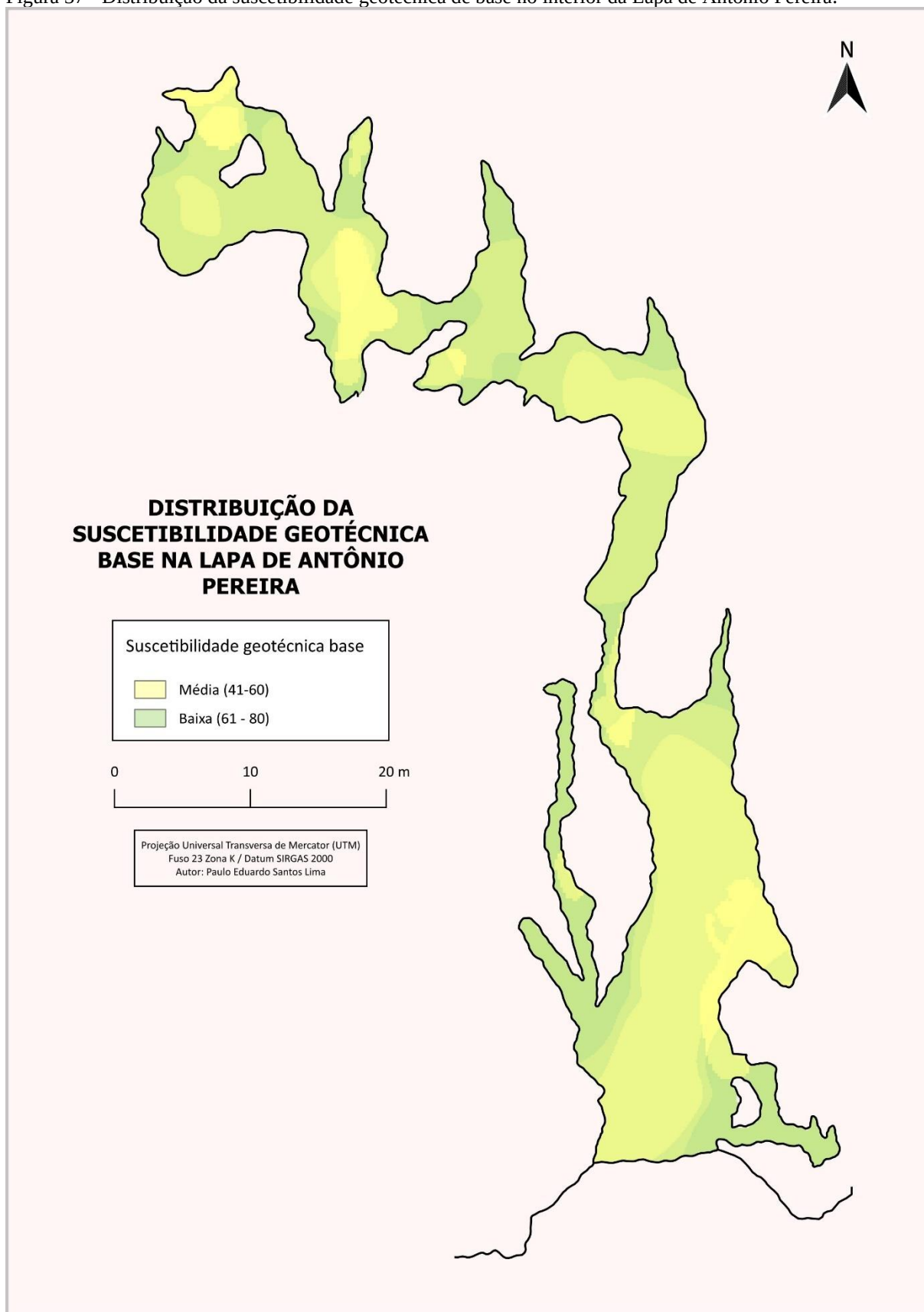
O zoneamento geotécnico da Lapa de Antônio Pereira foi elaborado para o interior da cavidade, tendo como limite espacial o contorno interno da Lapa. O inventário de instabilidades apresentado no item anterior inclui feições internas e externas; entretanto, para o zoneamento geotécnico foram consideradas apenas as áreas de influência das feições que interceptam o espaço interno da cavidade. As feições externas, localizadas na entrada, no pórtico, na fachada e na rampa de acesso, serão tratadas posteriormente na avaliação do risco associado ao uso público desses setores.

O zoneamento foi desenvolvido a partir da distribuição espacial da pontuação geotécnica sobre a área interna da cavidade. O resultado foi interpretado pela forma como essa pontuação se distribui no espaço, varia entre os setores da Lapa e é modificada pela presença das feições de instabilidade internas.

A construção do zoneamento ocorreu em quatro etapas principais. A primeira corresponde à distribuição da suscetibilidade geotécnica de base, obtida pela interpolação da pontuação dos pontos de análise geotécnica. A segunda corresponde à espacialização das áreas de influência das feições de instabilidade internas. A terceira etapa integra essas duas informações, subtraindo a penalização das instabilidades sobre o mapa-base. Por fim, a quarta etapa apresenta a distribuição da suscetibilidade geotécnica relativa, utilizada para melhorar a leitura espacial dos setores mais e menos desfavoráveis no interior da cavidade.

A distribuição da suscetibilidade geotécnica de base é apresentada na FIG. 37. Esse mapa representa a condição geral da cavidade antes da penalização pelas instabilidades localizadas. A superfície inicial foi construída a partir da integração entre Índice Q, condição hidrológica, dinâmica sedimentar, estabilidade dos vãos e uma pontuação-base para o parâmetro mecanismo. Como os mecanismos de ruptura foram incorporados posteriormente por meio das áreas de influência das feições de instabilidade, toda a superfície inicial recebeu 15 pontos nesse parâmetro.

Figura 37 - Distribuição da suscetibilidade geotécnica de base no interior da Lapa de Antônio Pereira.



Fonte: elaborado pelo autor.

O mapa-base evidencia que, antes da incorporação das instabilidades localizadas, a cavidade apresenta predomínio de áreas de baixa suscetibilidade geotécnica, com manchas de suscetibilidade média distribuídas de forma localizada. Essa distribuição reflete a baixa variação dos valores do Índice Q, a classificação estável dos vãos e a influência mais expressiva dos parâmetros hidrológicos e sedimentares. Assim, os setores com menor pontuação-base estão associados principalmente à passagem da caixa d'água e ao Salão dos Sedimentos, onde a presença de água e a dinâmica sedimentar reduzem a condição geotécnica relativa. Por outro lado, os setores com maior pontuação-base correspondem às áreas onde os parâmetros avaliados indicam condição mais favorável do maciço.

Após a geração do mapa-base, foram incorporadas as áreas de influência das feições de instabilidade internas. No zoneamento geotécnico, foram consideradas 32 áreas de influência, correspondentes às feições internas mapeadas entre I-04 e I-35. Cada área foi definida conforme o tamanho estimado da feição e sua trajetória provável de queda (TAB. 11). Feições pequenas e com queda vertical curta geram influência restrita ao entorno imediato, enquanto feições grandes, muito grandes, com ricochete ou rolamento apresentam influência espacial ampliada.

Tabela 11 - Critérios de definição dos raios de influência das feições de instabilidade internas.

Raio de influência	Feições internas	Caracterização geral
1 m	3	Feições pequenas, com influência restrita ao entorno imediato.
2 m	9	Feições pequenas com ricochete ou feições médias com queda vertical curta.
3 m	13	Feições médias com ricochete/rolamento curto ou feições grandes com queda vertical curta.
4 m	5	Feições grandes com ricochete ou feições muito grandes com queda vertical curta.
5 m	1	Feição muito grande com ricochete local e influência ampliada.
6 m	1	Feição muito grande com rolamento longo.
Total	32	—

Fonte: elaborado pelo autor (2026).

A distribuição espacial dessas áreas é apresentada na FIG.38. O mapa mostra que a maior parte das feições internas possui raio de influência entre 2 m e 3 m, indicando predomínio de instabilidades localizadas, com alcance restrito ao entorno do ponto de origem. As áreas de influência ampliada ocorrem de forma pontual, associadas principalmente a feições de maior porte ou a trajetórias prováveis mais desfavoráveis.

Destacam-se, nesse conjunto, o ponto I-31, localizado no Salão dos Sedimentos, com raio de influência de 5 m, e o ponto I-35, situado nos salões finais/ramificações finais, com raio de influência de 6 m. Esses pontos representam as maiores áreas de influência consideradas no zoneamento interno e, por isso, exercem papel importante na ampliação local das áreas de menor pontuação final. Também apresentam influência ampliada os pontos I-05, I-22, I-24, I-

30 e I-32, todos com raio de 4 m, associados a feições de maior porte ou com possibilidade de deslocamento para além da projeção imediata do ponto de origem.

A pontuação aplicada às áreas de influência foi definida conforme o mecanismo de ruptura de cada feição (TAB.12). Os mecanismos mais desfavoráveis receberam menor pontuação e, conseqüentemente, maior penalização no mapa-base. A penalização corresponde à diferença entre a pontuação máxima do parâmetro mecanismo, equivalente a 15 pontos, e a pontuação atribuída ao mecanismo definido para cada feição. Dessa forma, mecanismos com pontuação 10 geram penalização de 5 pontos; mecanismos com pontuação 5 geram penalização de 10 pontos; e mecanismos com pontuação 0 geram penalização de 15 pontos.

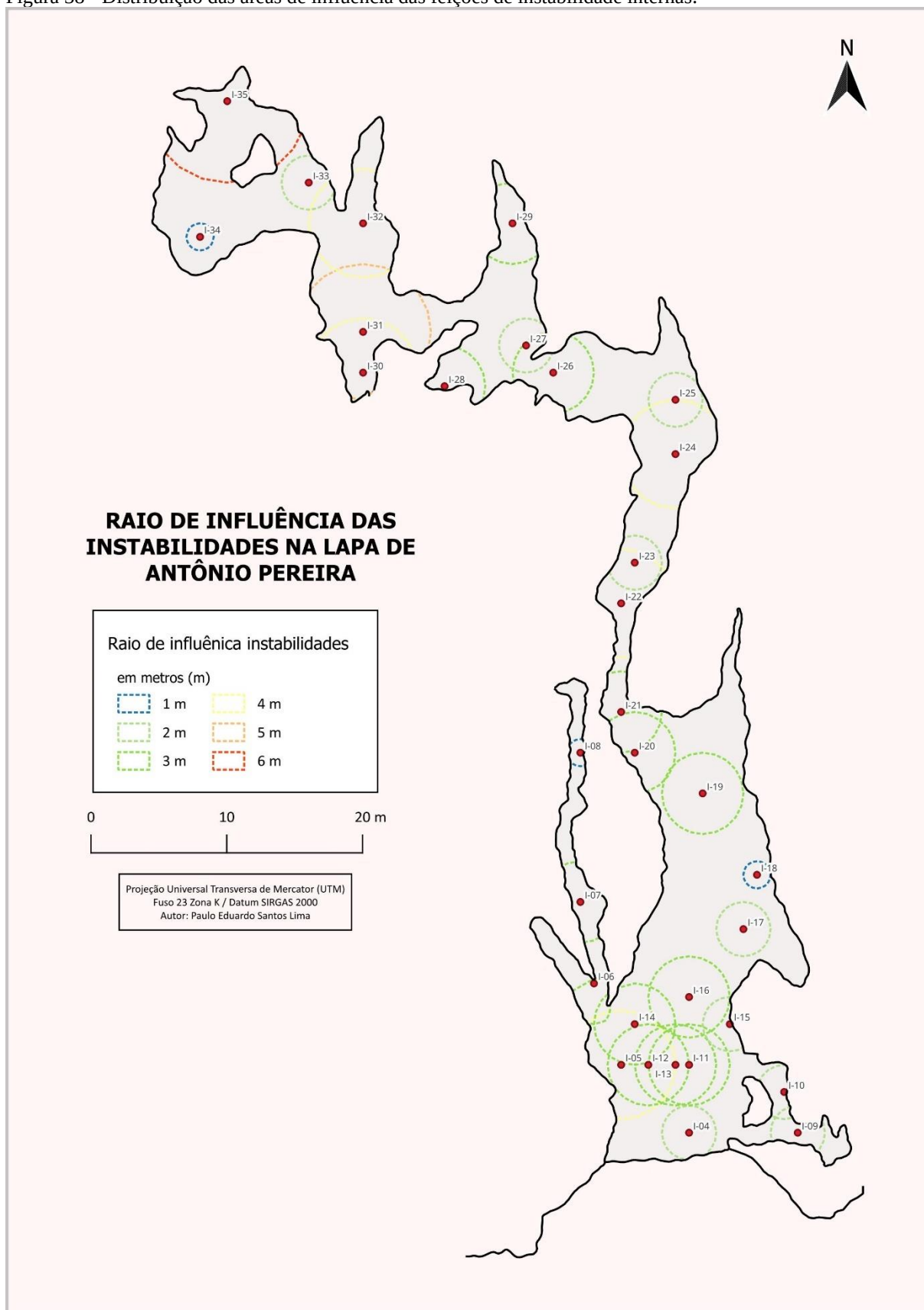
Tabela 12 - Mecanismos definidos, número de feições internas e penalizações aplicadas no zoneamento geotécnico.

Mecanismo definido	Nº de feições internas	Pontuação do mecanismo	Penalização aplicada
Desplacamento planar	11	10	5
Queda de bloco	7	5	10
Queda de espeleotema	5	5	10
Ruptura em cunha	3	0	15
Perda de suporte basal	2	5	10
Lascamento local	2	5	10
Queda de pendente	1	5	10
Tombamento	1	0	15
Total	32	—	—

Fonte: elaborado pelo autor (2026).

As maiores penalizações estão associadas às feições classificadas como ruptura em cunha e tombamento, que receberam pontuação 0 no parâmetro mecanismo e, portanto, penalização de 15 pontos. Embora ocorram em menor número, essas feições são importantes na definição das manchas mais desfavoráveis do zoneamento, pois rebaixam localmente a pontuação final nas áreas em que suas zonas de influência interceptam o interior da cavidade. As feições classificadas como queda de bloco, queda de espeleotema, perda de suporte basal, lascamento local e queda de pendente receberam penalização intermediária, de 10 pontos, também contribuindo para a ampliação das áreas de suscetibilidade relativa mais elevada.

Figura 38 - Distribuição das áreas de influência das feições de instabilidade internas.



Fonte: elaborado pelo autor.

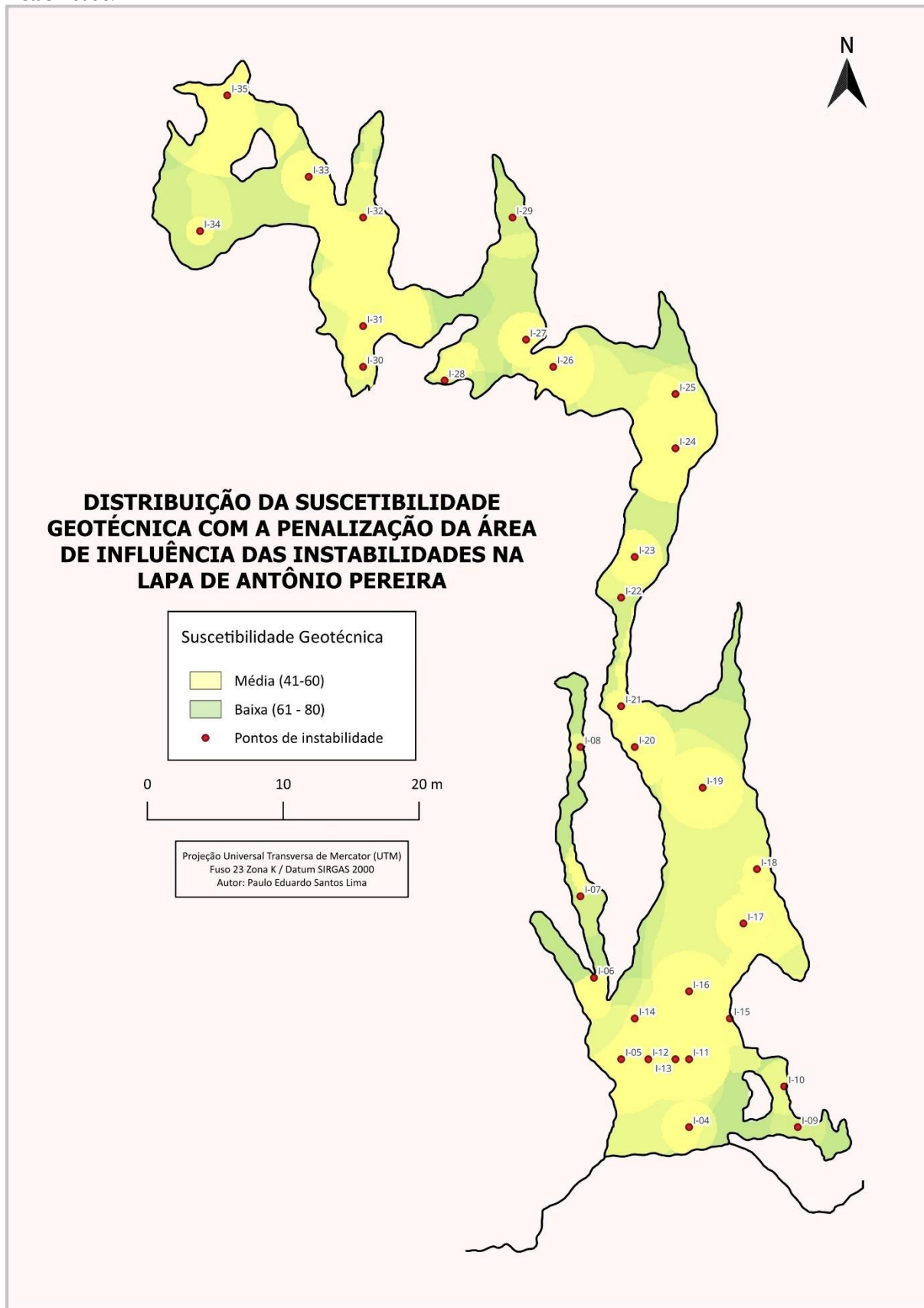
Nos setores onde houve sobreposição entre áreas de influência, foi mantida a maior penalização. Esse procedimento evita a soma acumulada de penalizações em regiões com várias feições próximas e representa, em cada célula do mapa, a condição geotécnica mais desfavorável incidente. A sobreposição das áreas de influência não ocorre de forma homogênea na cavidade, concentrando-se em setores com maior densidade de feições, como o Salão da Capela, as rampas internas e o Salão dos Sedimentos. Nesses setores, a combinação entre proximidade das feições, raios de influência ampliados e mecanismos mais penalizantes explica o rebaixamento localizado da pontuação final.

A distribuição da suscetibilidade geotécnica após a penalização das áreas de influência é apresentada na FIG. 39. Esse mapa corresponde ao zoneamento geotécnico final em escala absoluta de pontuação, resultante da subtração das penalizações das instabilidades internas sobre o mapa-base.

A pontuação final variou entre 43 e 80 pontos. Pela escala absoluta do método, esse intervalo permanece concentrado entre as classes de média e baixa suscetibilidade. Essa concentração decorre da baixa variação do Índice Q, da classificação estável dos vãos e da aplicação localizada das penalizações por instabilidade. Entretanto, mesmo sem gerar uma classe absoluta de alta suscetibilidade, a penalização modifica a distribuição espacial da pontuação, ampliando setores de menor valor final em áreas onde há maior influência das feições internas.

A comparação entre o mapa-base e o mapa final penalizado mostra que a suscetibilidade geotécnica da cavidade não é controlada apenas pela condição geral do maciço. As instabilidades internas modificam localmente a pontuação, principalmente onde suas áreas de influência coincidem com setores já penalizados por água ou sedimentos. Esse comportamento é observado em trechos do Salão da Capela, nas rampas internas e no Salão dos Sedimentos. No Salão dos Sedimentos, por exemplo, a presença do ponto I-31, com raio de influência de 5 m, contribui para o rebaixamento local da pontuação final. Na porção final da cavidade, a influência do ponto I-35, com raio de 6 m, também amplia a área afetada pela penalização. Já os pontos I-05, I-22, I-24, I-30 e I-32, com raios de 4 m, explicam manchas localizadas de menor pontuação em setores onde feições de maior porte ou trajetórias mais desfavoráveis interceptam áreas de circulação interna.

Figura 39 - Distribuição da suscetibilidade geotécnica após a penalização pelas áreas de influência das feições de instabilidade.



Fonte: elaborado pelo autor.

Para melhorar a leitura espacial do resultado, foi adotada uma classificação relativa intra-cavidade, com três classes: alta suscetibilidade relativa, média suscetibilidade relativa e baixa suscetibilidade relativa. Essa classificação não altera a pontuação obtida, mas permite diferenciar os setores mais desfavoráveis dentro do intervalo real de valores obtidos para a Lapa (TAB.13). Assim, a classe de alta suscetibilidade relativa corresponde aos menores valores finais do zoneamento, e não necessariamente à classe de alta suscetibilidade da escala absoluta original.

Tabela 13 - Área e proporção das classes de suscetibilidade geotécnica relativa no interior da Lapa de Antônio Pereira.

Classe relativa	Intervalo de pontuação	Área aproximada	Percentual
Alta suscetibilidade relativa	43–55	208,23 m ²	26,77%
Média suscetibilidade relativa	56–65	340,93 m ²	43,83%
Baixa suscetibilidade relativa	66–80	228,61 m ²	29,39%
Total	—	777,77 m ²	100%

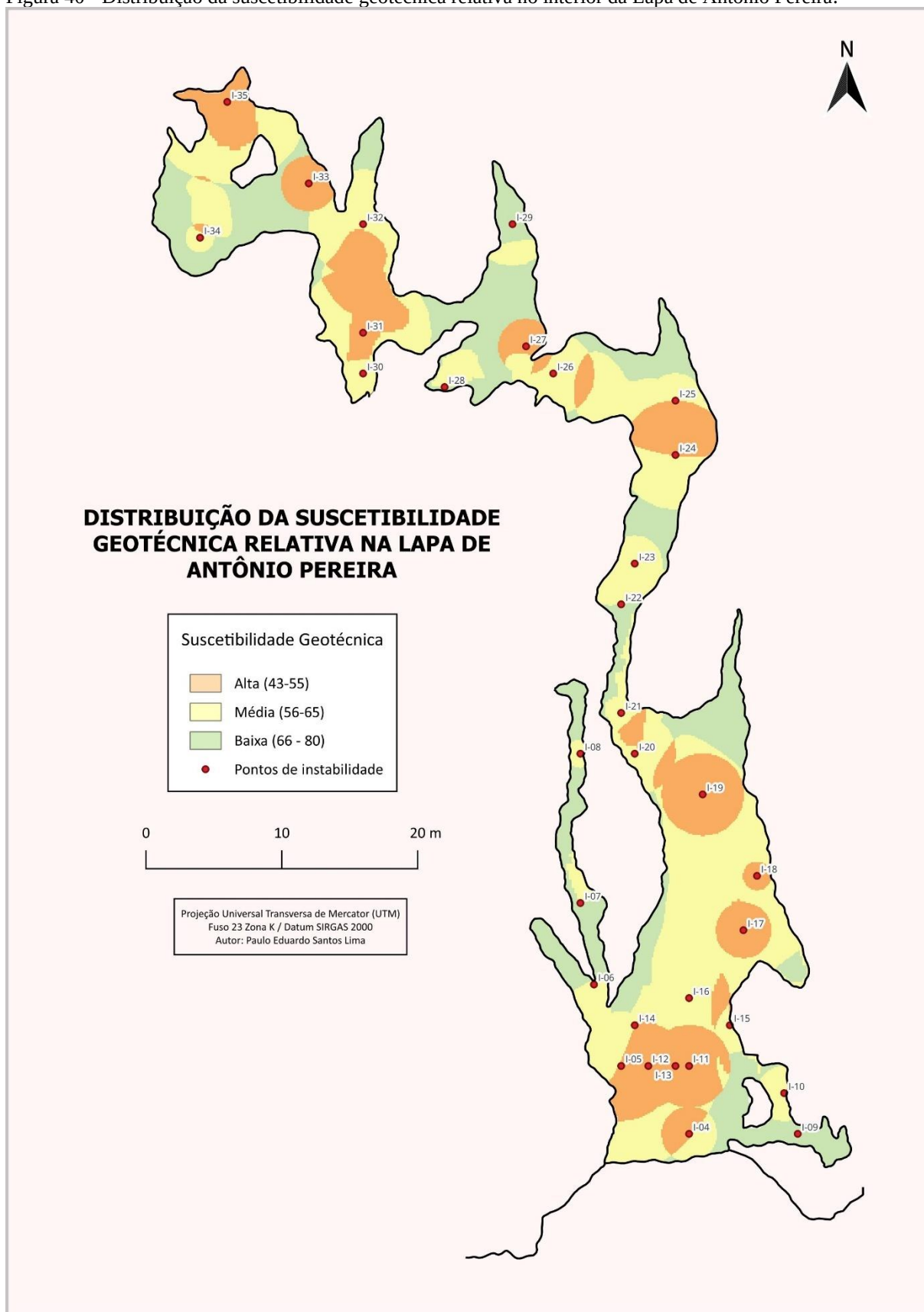
Fonte: elaborado pelo autor (2026).

A distribuição da suscetibilidade geotécnica relativa é apresentada na FIG.40. Esse mapa constitui a síntese interpretativa do zoneamento geotécnico, pois evidencia de forma mais clara a distribuição espacial dos setores mais desfavoráveis no interior da cavidade.

A classe de alta suscetibilidade relativa ocupa 208,23 m², correspondendo a 26,77% da área interna avaliada. Essa classe concentra os setores com menor pontuação final, geralmente associados à combinação entre menor pontuação-base e penalização por feições de instabilidade internas. As áreas de alta suscetibilidade relativa ocorrem de forma localizada, principalmente na passagem da caixa d'água, em trechos das rampas internas, no Salão dos Sedimentos e em pontos específicos do Salão da Capela. Nesses setores, a presença de feições com maior área de influência, como I-31 e I-35, e de feições com penalizações intermediárias ou máximas, associadas a mecanismos como queda de bloco, ruptura em cunha e tombamento, contribui para a formação das manchas mais desfavoráveis.

A média suscetibilidade relativa ocupa 340,93 m², equivalente a 43,83% da área avaliada, sendo a classe mais representativa da cavidade. Essa distribuição indica que grande parte do interior da Lapa apresenta condição intermediária dentro do intervalo real de pontuação obtido, seja pela presença de penalizações localizadas, seja pela influência de parâmetros hidrológicos e sedimentares. Já a baixa suscetibilidade relativa ocupa 228,61 m², equivalente a 29,39% da área interna, e corresponde aos setores com maior pontuação final, menor influência das áreas de instabilidade e melhor condição relativa no conjunto avaliado.

Figura 40 - Distribuição da suscetibilidade geotécnica relativa no interior da Lapa de Antônio Pereira.



Fonte: elaborado pelo autor.

O resultado mostra que o interior da Lapa não apresenta suscetibilidade geotécnica elevada de forma generalizada. As áreas mais desfavoráveis são localizadas e resultam da associação entre água, sedimentos, menor pontuação-base e áreas de influência das feições internas de instabilidade. Entre essas feições, destacam-se aquelas com maior raio de influência e aquelas associadas aos mecanismos mais penalizantes, pois exercem maior controle sobre a redução local da pontuação final. Dessa forma, o zoneamento geotécnico permite diferenciar a condição física interna da cavidade, mas não representa, isoladamente, o risco ao uso público. A avaliação do risco dependerá da relação entre essas zonas de suscetibilidade, as feições internas e externas de instabilidade e os padrões de circulação, permanência e concentração de visitantes.

8.9 Caracterização do uso público, uso operacional, roteiros de visitação e exposição

A caracterização do uso da Lapa de Antônio Pereira foi realizada com base no Plano de Manejo Espeleológico da Gruta de Nossa Senhora da Conceição da Lapa, considerando os cenários de uso público, o uso operacional, a quantificação da visitação, as zonas de manejo, os roteiros internos, os pontos de parada e a capacidade de carga. Neste tópico, a exposição é entendida como a presença, circulação ou permanência de pessoas nos diferentes setores da cavidade, variando conforme o tipo de atividade, a região utilizada, a duração da permanência e o grau de controle do acesso.

Foram considerados cinco tipos principais de uso público: religioso/missa, Jubileu e eventos religiosos, turístico convencional, espeleoturístico e educativo. Além desses, foi considerado também o uso operacional, relacionado às atividades de manutenção, manejo e monitoramento técnico. Cada tipo de uso apresenta dinâmica própria de circulação, permanência, concentração de pessoas e controle de acesso (TAB. 14).

Tabela 14 - Caracterização dos cenários de uso e setores principalmente utilizados na Lapa de Antônio Pereira.

Tipo de uso ou atividade	Caracterização geral	Setores principalmente utilizados
Religioso / missa	Uso devocional regular, com permanência e concentração de pessoas.	Zona externa e região da Capela.
Jubileu / eventos religiosos	Uso religioso de maior intensidade, com grande concentração temporal de visitantes.	Zona externa e região da Capela.
Turístico convencional	Visitação contemplativa aos setores iniciais, sem avanço sistemático para o roteiro interno afótico.	Zona externa e região da Capela.
Espeleoturístico	Visitação conduzida, com menor permanência e maior controle de grupo.	Zona externa, região da Capela e região afótica.
Educativo	Atividade orientada, com grupos, paradas interpretativas e permanência moderada.	Zona externa, região da Capela e região afótica.
Uso operacional	Atividades de manutenção, manejo, monitoramento técnico, conservação e inspeção.	Toda a cavidade, incluindo setores restritos e ramificações.

Fonte: elaborado pelo autor (2026), com base em PLANTUC (2025).

A quantificação do uso mostra variação temporal significativa (TAB. 15). Entre fevereiro e maio de 2025, foi registrada média de 581 visitantes por mês, o que permite estimar uma visitação anual de 6.972 visitantes, sem considerar o período do Jubileu. Em 2025, o maior pico registrado em fim de semana ou feriado foi de 220 pessoas, durante missa realizada em 09 de março, enquanto o maior pico durante a semana foi de 85 pessoas, em 25 de maio.

Durante o Jubileu de Nossa Senhora da Lapa, em agosto de 2025, foram registrados 3.882 visitantes no interior da caverna. O maior fluxo ocorreu em 15/08/2025, com 2.833 visitantes. Esse valor foi considerado mínimo pelo Plano de Manejo, pois o portão possui largura aproximada de 3 m e, nos horários de maior fluxo, mais de uma pessoa cruzava simultaneamente a linha de contagem. Durante o Jubileu, o acesso foi bloqueado após a caixa d'água, restringindo a visitação aos primeiros salões, especialmente ao Salão de Entrada e ao Salão das Velas.

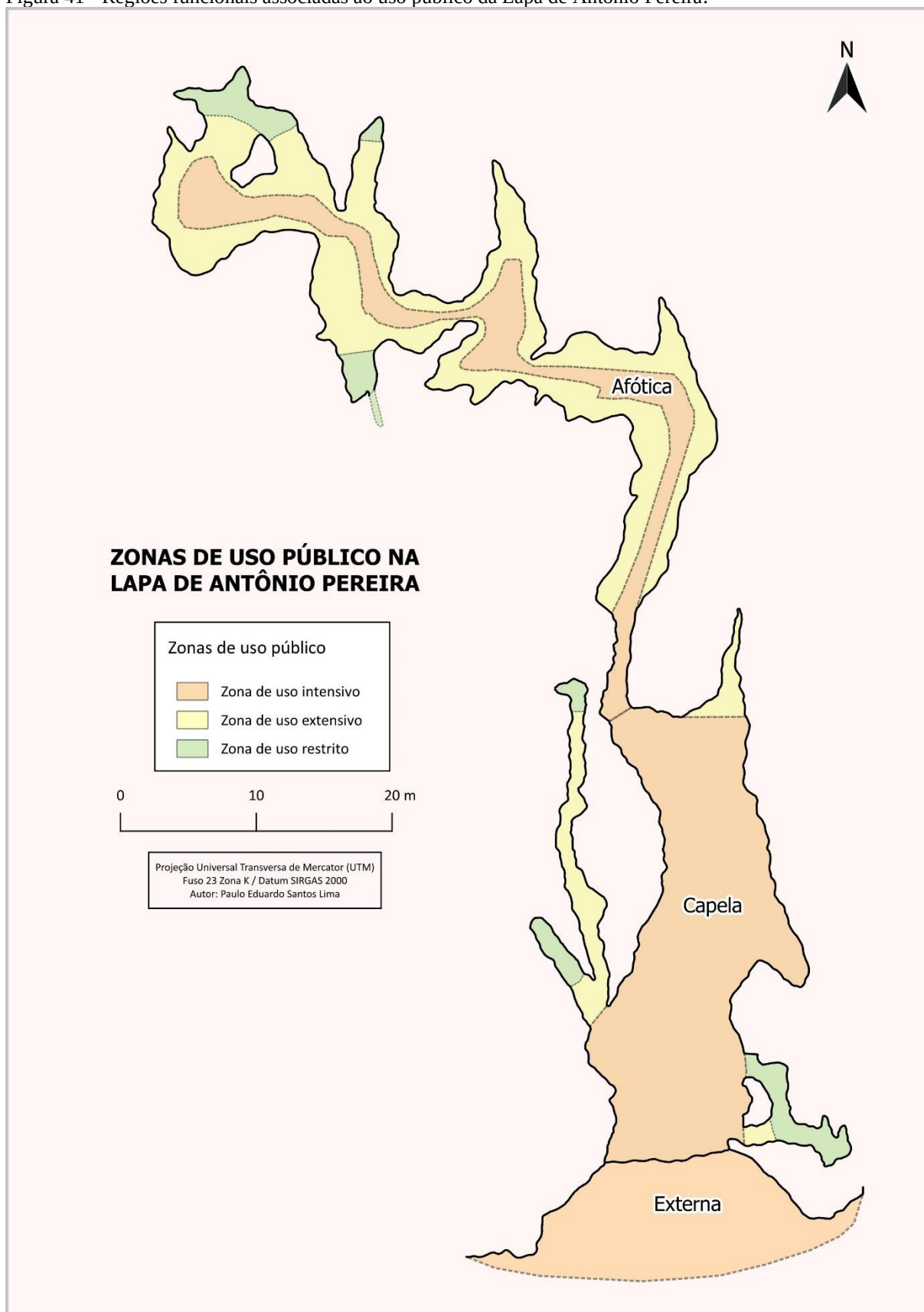
Tabela 15 - Quantificação da visitação e implicações para a exposição nos diferentes usos da cavidade.

Situação de uso	Quantificação	Setores mais afetados	Implicação para exposição
Média mensal regular	581 visitantes/mês	Cavidade conforme roteiro de visitação	Exposição distribuída ao longo do ano.
Projeção anual sem Jubileu	6.972 visitantes/ano	Uso religioso, turístico e espeleoturístico	Exposição regular.
Pico em missa / fim de semana	220 pessoas	Zona externa, Salão da Capela e Salão das Velas	Concentração pontual em setores iniciais.
Pico durante a semana	85 pessoas	Setores iniciais da cavidade	Concentração menor, porém relevante.
Jubileu de agosto de 2025	3.882 visitantes	Salão de Entrada e Salão das Velas	Exposição concentrada em poucos dias.
Dia de maior visitação no Jubileu	2.833 visitantes	Setores iniciais da cavidade	Maior exposição registrada.
Visitação anual mínima estimada	10.854 visitantes/ano	Uso religioso + visitação regular	Soma da projeção anual regular com o Jubileu registrado.
Uso operacional	Sem quantificação por visitantes	Toda a cavidade	Exposição variável conforme a atividade executada.

Fonte: elaborado pelo autor (2026), com base em PLANTUC (2025).

O zoneamento espeleológico definido no Plano de Manejo organiza a cavidade em zonas com diferentes graus de uso, restrição e controle. Para a análise de exposição, a Zona de Uso Intensivo é a mais relevante, pois corresponde aos setores destinados à permanência e circulação regular de visitantes (FIG. 41). Também foram consideradas as zonas de uso extensivo, uso restrito, preservação e zona externa, por influenciarem a circulação eventual e as atividades operacionais.

Figura 41 - Regiões funcionais associadas ao uso público da Lapa de Antônio Pereira.



Fonte: elaborado pelo autor.

A Zona de Uso Intensivo foi subdividida, para fins de análise, em três regiões funcionais: zona externa, região da Capela e região afótica (TAB. 16). A zona externa inclui a fachada, o pórtico e as regiões de acesso à cavidade. A região da Capela compreende o Salão da Capela e o Salão das Velas, setores associados ao uso religioso, à contemplação e à permanência. A região afótica inclui a caixa d'água, as rampas, o Salão dos Sedimentos e o Salão Final, compondo o trecho interno do roteiro conduzido. As ramificações direita e esquerda não integram a Zona de Uso Intensivo, sendo tratadas como setores de uso mais restrito, eventual ou operacional.

Tabela 16 - Regiões funcionais da Zona de Uso Intensivo e respectivas funções no uso da cavidade.

Região funcional	Setores incluídos	Função no uso
Zona externa	Fachada, pórtico, acesso, recepção e áreas de organização dos grupos.	Chegada, espera, circulação de entrada e saída, concentração em eventos.
Região da Capela	Salão da Capela e Salão das Velas.	Permanência religiosa, visita contemplativa, missa e circulação inicial.
Região afótica	Caixa d'água, rampas, Salão dos Sedimentos e Salão Final.	Roteiro conduzido, visitas educativas, espeleoturismo e interpretação ambiental.
Ramificações e setores restritos	Ramificações direita e esquerda, condutos laterais e setores fora do roteiro intensivo.	Acesso restrito, eventual, técnico ou operacional.

Fonte: elaborado pelo autor (2026), com base em PLANTUC (2025).

O roteiro principal de visitação é linear, com entrada e saída pelo mesmo caminho. Do portão de entrada até a caixa d'água, o visitante percorre aproximadamente 35 m sobre superfícies regulares, predominantemente pavimentadas ou com solo compactado. Da caixa d'água até o último salão, o percurso tem cerca de 80 m, em terreno natural compactado, com trechos íngremes, escorregadios, passagens baixas e pontos de parada. A duração da visita varia entre 12 e 30 minutos, com seis pontos principais de parada.

A diferença entre os setores iniciais e os pontos internos é relevante para a análise de exposição. A zona externa e a região da Capela concentram usos com maior permanência, maior circulação e maior potencial de concentração de pessoas. Já a região afótica é utilizada principalmente em atividades conduzidas, com grupos menores, roteiro definido e permanência mais controlada. As ramificações e setores fora da Zona de Uso Intensivo tendem a apresentar exposição eventual, associada ao uso operacional, como manejo, manutenção, monitoramento ou atividades técnicas.

A capacidade de carga também varia conforme o tipo de uso. No uso religioso, a capacidade não foi fixada apenas por número de visitantes, pois depende da disponibilidade de espaço nos setores iniciais, da ocupação segura da capela e do adro, além do comportamento microclimático da cavidade durante e após eventos. O Plano de Manejo recomenda que eventos religiosos sejam avaliados por meio de monitoramento de temperatura, umidade e concentração de CO₂, de modo a verificar o tempo necessário para retorno às condições naturais da cavidade.

Para o roteiro de espeleoturismo, a capacidade de carga foi estimada com base no tamanho dos grupos, número de condutores, tempo médio de visita e número de entradas diárias. Para visitas escolares, o Plano de Manejo propõe grupos com 20 alunos, 1 professor e 2 condutores, totalizando 23 pessoas por grupo, com 16 grupos por dia e visita média de 30 minutos, resultando em 368 pessoas por dia. Para visitas regulares, propõe 10 visitantes e 2 condutores por grupo, com 32 grupos por dia, entradas a cada 15 minutos, 8 horas de visitação e capacidade de 384 pessoas por dia. Grupos excepcionais podem ter até 20 visitantes para 2 condutores, desde que respeitada a capacidade diária.

A capacidade de carga não foi utilizada apenas como limite quantitativo de visitação, mas como indicador da forma de ocupação da cavidade (TAB. 17). Cenários com grupos menores, entrada controlada e roteiro conduzido tendem a reduzir a exposição. Por outro lado, eventos religiosos concentram pessoas nos setores iniciais e ampliam a consequência potencial associada ao uso desses espaços.

Tabela 17 - Capacidade de carga e implicações para a exposição nos diferentes roteiros e modalidades de visitação.

Modalidade	Parâmetros principais	Capacidade indicada	Implicação para exposição
Uso religioso	Salão de Entrada, Salão da Capela, Salão das Velas e caixa d'água; avaliação por espaço, CO ₂ , temperatura e umidade.	Não fixada numericamente	Exposição concentrada, dependente do porte da celebração.
Visitas escolares / educativas	16 grupos/dia; 20 alunos + 1 professor + 2 condutores; visita média de 30 min.	368 pessoas/dia	Exposição controlada por grupos, horários e condução.
Visitas regulares / espeleoturísticas	32 grupos/dia; 10 visitantes + 2 condutores; entradas a cada 15 min; 8 h/dia.	384 pessoas/dia	Exposição distribuída ao longo do dia e controlada por roteiro.
Grupos excepcionais	Até 20 visitantes para 2 condutores, respeitando a capacidade diária.	Sem aumento da capacidade diária	Exposição pontualmente maior por grupo.
Uso operacional	Atividades técnicas sem relação direta com capacidade turística.	Não se aplica	Exposição variável conforme tarefa, duração e setor acessado.

Fonte: elaborado pelo autor (2026), com base em PLANTUC (2025).

A partir dos cenários de uso público, do uso operacional, da variação temporal, das regiões funcionais da Zona de Uso Intensivo, dos pontos de parada e da capacidade de carga, foram definidas classes de exposição ao perigo geotécnico (TAB. 18). A exposição foi avaliada por tipo de atividade e por região utilizada. Assim, uma mesma região pode apresentar exposição diferente conforme a atividade realizada. Por exemplo, a região da Capela apresenta exposição alta durante missas, muito alta durante o Jubileu, média no turismo convencional e baixa no espeleoturismo conduzido.

Essa classificação não representa a suscetibilidade geotécnica dos setores, mas apenas o grau de presença, circulação, permanência e concentração de pessoas associado a cada cenário

de uso. No item seguinte, essas classes serão incorporadas à matriz de risco como componente da variável consequência/exposição.

Tabela 18 - Classes de exposição atribuídas aos cenários de uso por região funcional da cavidade.

Tipo de uso ou atividade	Zona externa	Região da Capela	Região afótica	Ramificações / zonas restritas
Religioso / missa	Alta	Alta	Não se aplica	Não se aplica
Jubileu / eventos religiosos	Muito alta	Muito alta	Não se aplica	Não se aplica
Turístico convencional	Média	Média	Não se aplica	Não se aplica
Espeleoturístico	Baixa	Baixa	Baixa	Não se aplica
Educativo	Média	Média	Média	Não se aplica
Uso operacional	Variável	Variável	Variável	Variável

Fonte: elaborado pelo autor (2026), com base em PLANTUC (2025).

A exposição alta foi atribuída às situações com maior permanência, concentração de pessoas, circulação recorrente e maior dificuldade de controle, como missas na zona externa e na região da Capela. A exposição muito alta foi reservada ao Jubileu e aos eventos religiosos de grande concentração temporal, nos quais há maior adensamento de pessoas nos setores iniciais da cavidade e maior dificuldade de controle de fluxo. A exposição média corresponde a usos com circulação regular, permanência moderada ou grupos organizados, como o turismo convencional nos setores iniciais e as atividades educativas ao longo do roteiro. A exposição baixa foi atribuída a atividades conduzidas, com grupos menores, menor tempo de permanência e maior controle, como o espeleoturismo.

No caso do uso operacional, a exposição pode ocorrer em toda a cavidade. Inspeções rápidas, leituras de instrumentos ou registros fotográficos pontuais tendem a representar exposição baixa. Atividades com permanência moderada, uso de ferramentas leves, manutenção de iluminação, limpeza de trilha, reparo em escadas ou intervenção na caixa d'água tendem a representar exposição média. Trabalhos prolongados, intervenções próximas a blocos, pendentes ou taludes, uso de ferramentas, esforço físico, vibração ou remoção de material podem representar exposição alta. Portanto, para esse uso, a classe de exposição deve ser definida caso a caso, considerando duração, setor acessado, proximidade com feições de instabilidade e tipo de intervenção.

Essa caracterização fornece a base funcional da exposição associada ao uso público e operacional da cavidade. Ela indica onde as pessoas circulam, permanecem ou se concentram em cada tipo de atividade. No item seguinte, essa exposição será integrada às áreas de influência das feições de instabilidade e ao zoneamento geotécnico, permitindo avaliar como o risco geotécnico varia entre missa, Jubileu, turismo convencional, espeleoturismo, atividades educativas e uso operacional.

8.10 Avaliação do risco geotécnico nos diferentes cenários de uso

A avaliação do risco geotécnico da Lapa de Antônio Pereira foi realizada a partir da integração entre a condição geotécnica interna da cavidade, as feições de instabilidade mapeadas na entrada, pórtico, fachada e entorno imediato, e os diferentes cenários de uso público e operacional definidos no item anterior. Diferentemente do zoneamento geotécnico, que representa a condição física da cavidade, a análise de risco incorpora a exposição de pessoas, considerando circulação, permanência, concentração, duração da atividade e controle operacional.

Os cenários avaliados foram: turismo convencional, religioso/missa, Jubileu/eventos religiosos, espeleoturismo, uso educativo e uso operacional. Este último foi subdividido em três situações: vistorias rápidas, manutenções de rotina e manutenções prolongadas. Para cada cenário foi elaborado um mapa integrado de risco, permitindo observar como a alteração da consequência/exposição modifica a distribuição espacial das classes de risco, mesmo quando a condição geotécnica da cavidade permanece a mesma.

A avaliação foi estruturada em dois domínios espaciais complementares. O primeiro corresponde ao domínio interno, representado pelo zoneamento geotécnico final penalizado pelas instabilidades internas. O segundo corresponde ao domínio externo/transicional, representado pelas áreas de influência das feições localizadas na zona externa, entrada, pórtico, fachada, rampa de acesso e setores imediatamente associados ao acesso da cavidade. A integração desses dois domínios resultou nos mapas de risco por cenário de uso.

8.10.1 Integração dos domínios interno e externo

A integração dos domínios interno e externo/transicional foi realizada com o objetivo de representar, em um único produto cartográfico, a condição de risco associada a cada cenário de uso da Lapa de Antônio Pereira. O domínio interno expressa o risco derivado da relação entre o zoneamento geotécnico final penalizado e a consequência/exposição de cada tipo de uso. Já o domínio externo/transicional expressa o risco associado às feições de instabilidade individualizadas da entrada, pórtico, fachada e entorno imediato.

No domínio interno, a base utilizada foi o zoneamento geotécnico final penalizado pelas instabilidades internas. Esse produto já incorpora a influência das feições internas de instabilidade sobre a condição geotécnica da cavidade. Dessa forma, os blocos, pendentes, pontões e demais feições internas não foram novamente avaliados de forma individualizada nesta etapa, evitando a dupla contagem das penalizações.

Para uso na matriz de risco, a pontuação final do zoneamento geotécnico foi reclassificada em quatro classes de suscetibilidade geotécnica (TAB. 19). Como os menores

valores do zoneamento representam setores mais desfavoráveis, as pontuações mais baixas foram associadas às classes mais elevadas de suscetibilidade.

Tabela 19 - Classes de suscetibilidade geotécnica interna definidas a partir da pontuação final do zoneamento.

Pontuação final do zoneamento	Suscetibilidade geotécnica interna
66–80	Baixa
56–65	Média
50–55	Alta
43–49	Muito alta

Fonte: elaborado pelo autor (2026).

No domínio externo/transicional, a avaliação foi realizada a partir das áreas de influência das feições instáveis mapeadas na entrada, pórtico, fachada e entorno imediato. Essas áreas foram delimitadas conforme o tamanho das feições, a trajetória provável de queda ou rolamento, a probabilidade/frequência estimada e o potencial de dano físico. Nos trechos onde duas ou mais áreas de influência externa se sobrepõem, foi mantida a maior classe de risco incidente, representando o risco dominante por área.

A compatibilização entre os dois domínios foi feita a partir da equivalência entre a suscetibilidade geotécnica interna e a probabilidade/frequência das feições externas (TAB. 20). Assim, embora os dados de origem sejam diferentes, ambos foram organizados na mesma escala de interpretação.

Tabela 20 - Correspondência ordinal entre a suscetibilidade geotécnica interna e a frequência estimada no domínio externo/transicional.

Classe	Domínio interno	Domínio externo/transicional
Baixa	Baixa suscetibilidade geotécnica interna	Baixa probabilidade/frequência da feição
Média	Média suscetibilidade geotécnica interna	Média probabilidade/frequência da feição
Alta	Alta suscetibilidade geotécnica interna	Alta probabilidade/frequência da feição
Muito alta	Muito alta suscetibilidade geotécnica interna	Muito alta probabilidade/frequência da feição

Tabela 21 - Bases espaciais utilizadas na integração dos domínios interno e externo/transicional.

Domínio	Base utilizada	Unidade espacial	Interpretação
Interno	Zoneamento geotécnico final penalizado pelas instabilidades internas	Área interna da cavidade	Risco associado à suscetibilidade geotécnica interna e à exposição do cenário de uso.
Externo/transicional	Áreas de influência das feições da entrada, pórtico, fachada e entorno imediato	Áreas externas de risco dominante	Risco associado às feições individualizadas e à exposição na zona externa.
Integrado	Sobreposição entre os domínios interno e externo/transicional	Mapa final por cenário	Maior classe de risco incidente em cada setor.

Fonte: elaborado pelo autor (2026).

A matriz utilizada para a classificação do risco foi a mesma nos dois domínios (TAB. 22). A suscetibilidade geotécnica/probabilidade de ocorrência foi organizada em quatro classes: baixa, média, alta e muito alta. A consequência/exposição também foi classificada como baixa, média, alta e muito alta, conforme o tipo de uso e o padrão de ocupação do setor.

Tabela 22 - Matriz de classificação do risco geotécnico.

Suscetibilidade geotécnica / Probabilidade de ocorrência	Consequência/exposição			
	Baixa	Média	Alta	Muito alta
Baixa	Baixo	Baixo	Moderado	Moderado
Média	Baixo	Moderado	Moderado	Alto
Alta	Baixo	Moderado	Alto	Alto
Muito alta	Moderado	Alto	Alto	Crítico

Fonte: adaptado de ABGE (2025).

A integração cartográfica foi feita considerando a classe mais restritiva entre os domínios. Assim, quando uma área interna ou transicional era influenciada simultaneamente pelo zoneamento geotécnico e por uma feição externa ou de entrada, manteve-se a maior classe de risco. Esse procedimento evita a soma artificial de riscos e permite representar a condição mais desfavorável para o uso naquele setor.

Nos mapas integrados, as áreas sem classe de risco correspondem a setores não utilizados pelo cenário avaliado, e não necessariamente a áreas sem suscetibilidade geotécnica. Dessa forma, os mapas devem ser lidos a partir da relação entre setor utilizado, tipo de atividade, classe de risco predominante e feições de instabilidade que condicionam os trechos mais restritivos.

8.10.2 Risco associado ao turismo convencional

O cenário de turismo convencional corresponde à visitação contemplativa aos setores iniciais da cavidade, sem avanço sistemático para o roteiro interno afótico. Dessa forma, a exposição concentra-se na zona externa, no pórtico, na entrada e na região da Capela, incluindo o Salão da Capela e o Salão das Velas. A região afótica, os salões finais e as ramificações não foram considerados nesse cenário, pois não integram o uso turístico convencional definido para a análise.

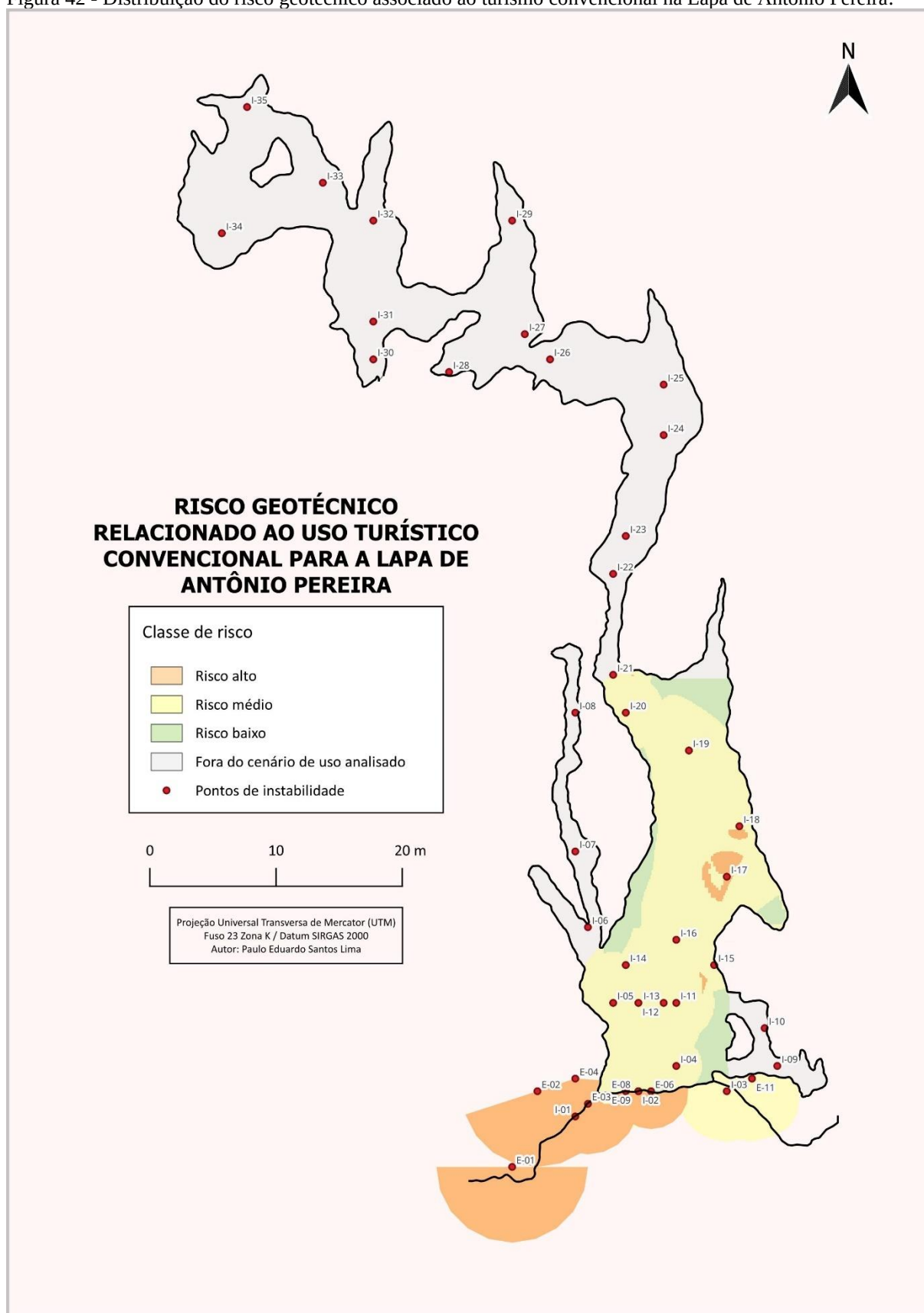
A distribuição espacial do risco nesse cenário mostra predomínio de classes baixo e moderado nos setores internos utilizados, com ocorrência localizada de risco alto (FIG. 42). A ausência de áreas classificadas como risco crítico indica que, para o turismo convencional, a consequência/exposição média não é suficiente para elevar os setores avaliados à classe mais restritiva da matriz. Ainda assim, o mapa evidencia trechos que demandam atenção, especialmente na zona externa, no pórtico e em pontos localizados da região da Capela.

No domínio externo/transicional, o risco alto está associado principalmente às áreas de influência das feições localizadas na entrada e no entorno imediato da cavidade. Destacam-se as feições E-01, E-02, I-01 e E-04, que condicionam manchas de risco alto na zona externa e no setor de acesso. Essas feições são relevantes porque coincidem com áreas de chegada, circulação inicial e passagem dos visitantes, mesmo em um cenário de exposição intermediária.

No interior da cavidade, o risco associado ao turismo convencional é controlado principalmente pela região da Capela e pelos setores iniciais do roteiro. As manchas de risco moderado acompanham áreas onde a suscetibilidade geotécnica interna se combina com a circulação e permanência dos visitantes. Pontos como I-17, I-18, I-19, I-20 e I-21 ajudam a explicar a distribuição das áreas moderadas e altas na porção inicial da cavidade, pois estão associados a setores com presença de feições internas e maior permanência relativa.

Em comparação com os cenários religiosos, o turismo convencional apresenta menor severidade espacial, pois envolve menor concentração de pessoas e maior controle do tempo de permanência. Entretanto, o mapa mostra que a redução da exposição não elimina completamente o risco, sobretudo nos trechos condicionados por feições externas/transicionais e por instabilidades localizadas na região da Capela. Assim, o turismo convencional representa um cenário de risco predominantemente baixo a moderado, com risco alto localizado nos setores de entrada e em pontos específicos da cavidade inicial.

Figura 42 - Distribuição do risco geotécnico associado ao turismo convencional na Lapa de Antônio Pereira.



Fonte: elaborado pelo autor.

8.10.3 Risco associado ao uso religioso/missa

O cenário de uso religioso/missa corresponde às celebrações regulares realizadas nos setores iniciais da Lapa de Antônio Pereira, com concentração principal na zona externa, no pórtico, no Salão da Capela e no Salão das Velas. Nesse tipo de uso, a região afótica e os salões finais não integram o roteiro regular de circulação e permanência dos fiéis, razão pela qual não foram considerados como áreas expostas neste cenário.

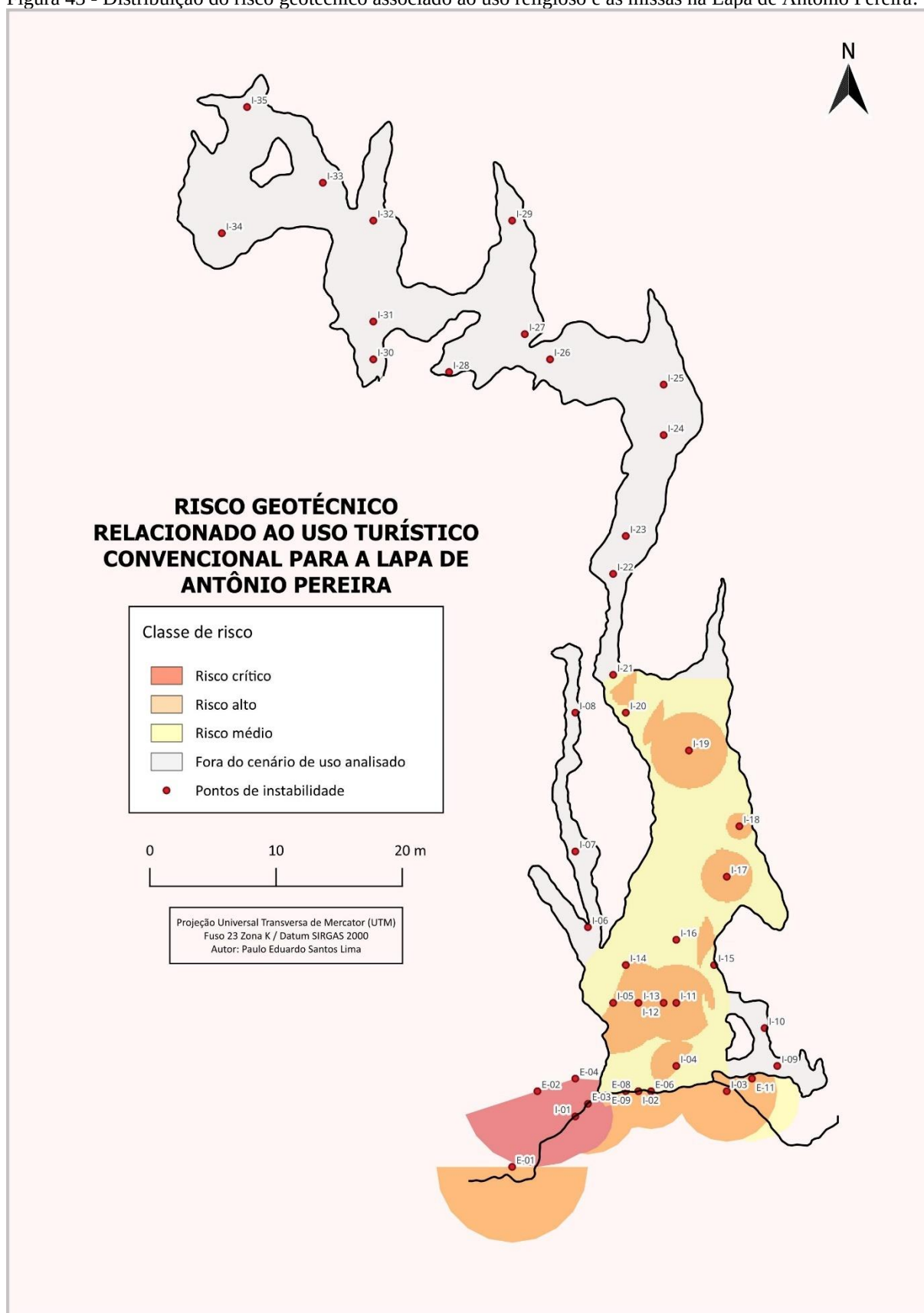
A distribuição espacial do risco no cenário religioso/missa evidencia aumento das classes de risco em relação ao turismo convencional (FIG. 43). Essa diferença decorre principalmente da maior consequência/exposição associada às celebrações, marcadas por maior permanência, concentração de pessoas e circulação recorrente nos setores iniciais da cavidade. Assim, áreas que no turismo convencional aparecem como risco baixo ou moderado passam a apresentar risco moderado ou alto no uso religioso.

No domínio externo/transicional, concentram-se as classes mais restritivas do mapa. As áreas de risco crítico e alto ocorrem principalmente na zona externa, no setor de acesso, no pórtico e na entrada da cavidade. Esse padrão está associado às feições E-01, E-02, I-01 e E-04, que apresentam maior influência sobre os setores de chegada, espera, circulação e organização dos visitantes. A presença dessas feições em áreas utilizadas antes, durante e após as celebrações aumenta a importância do domínio externo na composição do risco desse cenário.

A feição E-02, associada à torre residual/calcária situada no entorno da entrada, destaca-se como uma das principais condicionantes do risco externo, devido ao seu porte, à possibilidade de instabilização e à trajetória potencial de queda ou rolamento em direção a áreas de circulação. Juntamente com E-01, I-01 e E-04, essa feição contribui para a formação das manchas mais restritivas na zona externa e no pórtico, onde há maior permanência e concentração de pessoas durante missas e celebrações.

No interior da cavidade, o risco se distribui principalmente pela região da Capela e pelos setores iniciais do roteiro. Predominam áreas de risco moderado, com manchas de risco alto associadas a trechos onde a suscetibilidade geotécnica interna se combina com maior permanência dos usuários. Nesse contexto, os pontos I-17, I-18, I-19, I-20 e I-21 ajudam a explicar a distribuição das áreas mais restritivas na região da Capela e no trecho de transição para os setores internos.

Figura 43 - Distribuição do risco geotécnico associado ao uso religioso e às missas na Lapa de Antônio Pereira.



Fonte: elaborado pelo autor.

8.10.4 Risco associado ao Jubileu e eventos religiosos

O cenário de Jubileu e eventos religiosos representa a condição de maior intensidade de uso público da Lapa de Antônio Pereira. Esse uso ocorre de forma concentrada no tempo, com elevado número de visitantes, maior permanência nos setores iniciais e maior dificuldade de controle do fluxo de pessoas. Assim como no cenário religioso/missa, a exposição concentra-se na zona externa, no pórtico, na entrada, no Salão da Capela e no Salão das Velas. Durante o Jubileu, o acesso após a caixa d'água é restringido, de modo que a região afótica e os salões finais não compõem a área principal de exposição desse cenário.

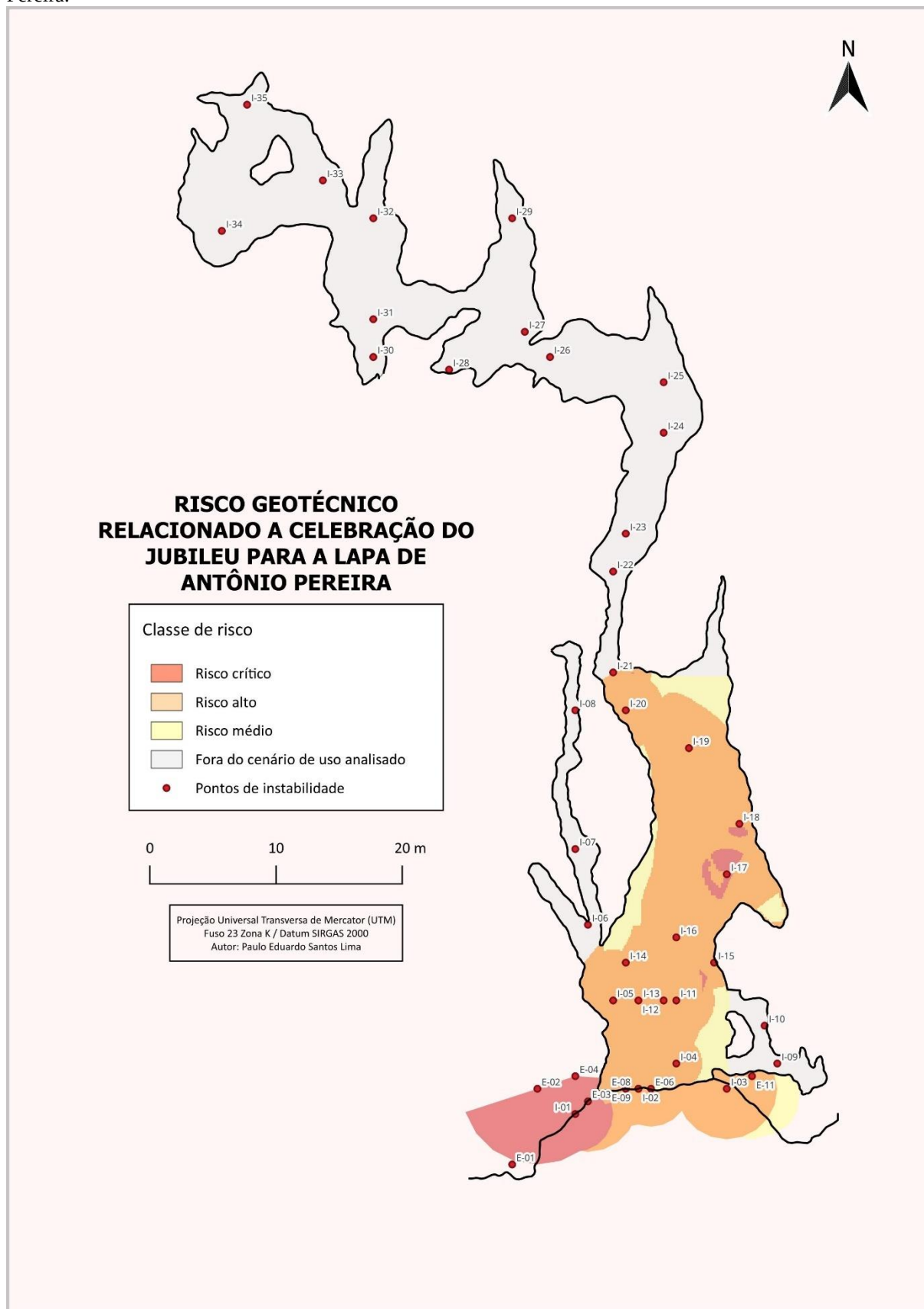
A distribuição espacial do risco no cenário de Jubileu evidencia a condição mais restritiva entre os usos públicos avaliados ((FIG. 44). O mapa apresenta predomínio de risco alto nos setores iniciais da cavidade, além de áreas de risco crítico na zona externa, no pórtico e em manchas localizadas do interior inicial. Essa elevação das classes de risco decorre da consequência/exposição muito alta atribuída ao Jubileu, relacionada à grande concentração de pessoas em poucos dias, à permanência prolongada nos setores religiosos e ao fluxo intenso de entrada e saída.

No domínio externo/transicional, as áreas de risco crítico são condicionadas principalmente pelas feições E-01, E-02, I-01 e E-04. Essas feições incidem sobre setores de chegada, espera, circulação e organização dos visitantes, tornando o entorno da entrada um dos trechos mais restritivos do mapa. A feição E-02, correspondente à torre residual/calçária situada no entorno da cavidade, exerce papel relevante nesse cenário devido ao seu porte e à possibilidade de afetar áreas externas utilizadas durante eventos de grande concentração.

A feição I-01, situada no setor de entrada/transição, também contribui para a formação de áreas críticas, pois sua área de influência coincide com o trajeto de acesso ao interior da Lapa. Já as feições E-01 e E-04 ampliam a zona de risco elevado no entorno imediato, compondo um conjunto de instabilidades que penaliza fortemente o cenário de Jubileu.

No interior da cavidade, o risco alto se distribui principalmente pela região da Capela e pelos setores iniciais do roteiro. As manchas mais restritivas estão associadas à combinação entre maior suscetibilidade geotécnica interna e exposição muito alta. Nesse contexto, os pontos I-17, I-18, I-19, I-20 e I-21 são os principais condicionantes internos, pois ocorrem em áreas relacionadas à permanência, circulação e concentração de pessoas durante celebrações.

Figura 44 - Distribuição do risco geotécnico associado ao Jubileu e aos eventos religiosos na Lapa de Antônio Pereira.



Fonte: elaborado pelo autor.

8.10.5 Risco associado ao espeleoturismo

O cenário de espeleoturismo corresponde à visita conduzida ao longo do roteiro interno da cavidade, envolvendo a zona externa, a região da Capela e a região afótica. Diferentemente do turismo convencional e dos usos religiosos, esse cenário considera o avanço para setores internos, incluindo a caixa d'água, as rampas, o Salão dos Sedimentos e os salões finais. Entretanto, a exposição foi classificada como baixa, em razão do menor número de pessoas por grupo, da condução obrigatória, do controle do tempo de permanência e da circulação orientada ao longo do percurso.

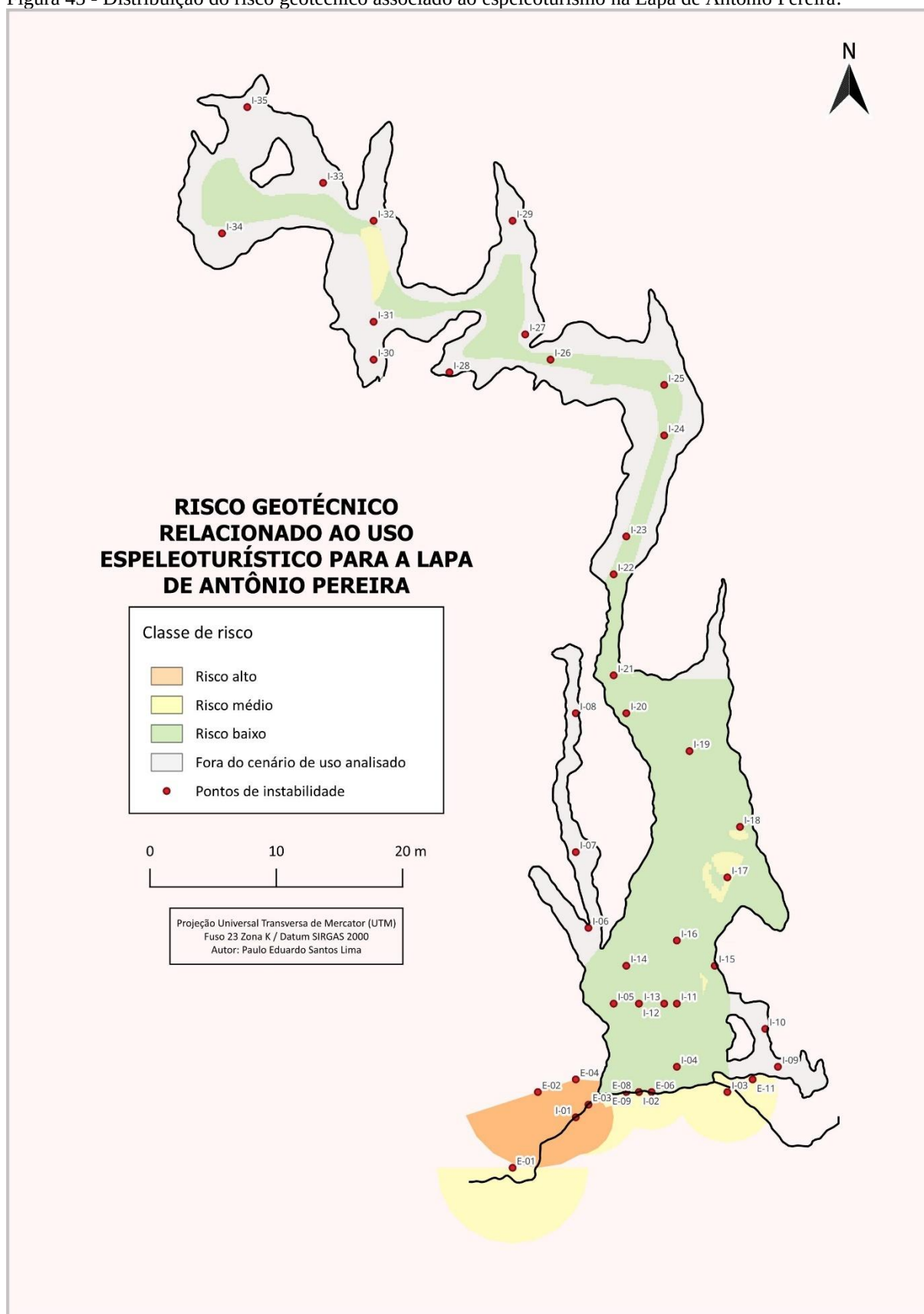
A distribuição espacial do risco no cenário espeleoturístico mostra predomínio de risco baixo ao longo do roteiro interno, com manchas localizadas de risco moderado e ocorrências pontuais de risco alto (FIG. 45). Esse padrão indica que o controle operacional da visita reduz significativamente a classe final de risco, mesmo em setores onde a suscetibilidade geotécnica interna é mais desfavorável. Portanto, o espeleoturismo representa um dos cenários menos restritivos entre os usos públicos avaliados.

No domínio externo/transicional, permanecem áreas de risco moderado e alto associadas às feições localizadas na entrada e no entorno imediato da cavidade. As feições E-01, E-02, I-01 e E-04 continuam relevantes, pois interferem no trajeto obrigatório de acesso e saída dos visitantes. Mesmo com baixa exposição, esses pontos condicionam áreas de atenção na zona externa e no pórtico, especialmente por estarem posicionados em setores de passagem obrigatória.

No interior da cavidade, o risco baixo predomina ao longo da maior parte do roteiro. As áreas de risco moderado ocorrem de forma descontínua, geralmente associadas a trechos onde a suscetibilidade geotécnica interna é mais elevada ou onde há influência de feições de instabilidade próximas ao percurso. Entre os pontos que ajudam a explicar essas manchas destacam-se I-17 e I-18, na região inicial do roteiro, além de feições localizadas nos setores internos e finais, como I-31, I-32, I-34 e I-35.

A presença dessas feições não implica, nesse cenário, risco generalizado para o roteiro, pois a baixa consequência/exposição reduz a classe final obtida na matriz. Contudo, elas indicam trechos que exigem atenção durante a condução das visitas, especialmente em pontos de parada, passagens estreitas, rampas, setores com menor possibilidade de desvio e áreas onde a permanência pode ocorrer de forma interpretativa.

Figura 45 - Distribuição do risco geotécnico associado ao espeleoturismo na Lapa de Antônio Pereira.



Fonte: elaborado pelo autor.

8.10.6 Risco associado ao uso educativo

O cenário de uso educativo corresponde às atividades orientadas realizadas com grupos organizados, envolvendo a zona externa, a região da Capela e a região afótica da cavidade. Diferentemente do turismo convencional e dos usos religiosos, esse cenário considera o avanço pelo roteiro interno conduzido, incluindo a caixa d'água, as rampas, o Salão dos Sedimentos e os salões finais. A consequência/exposição foi classificada como média, devido à permanência moderada dos grupos, à realização de paradas interpretativas e ao deslocamento acompanhado ao longo do percurso.

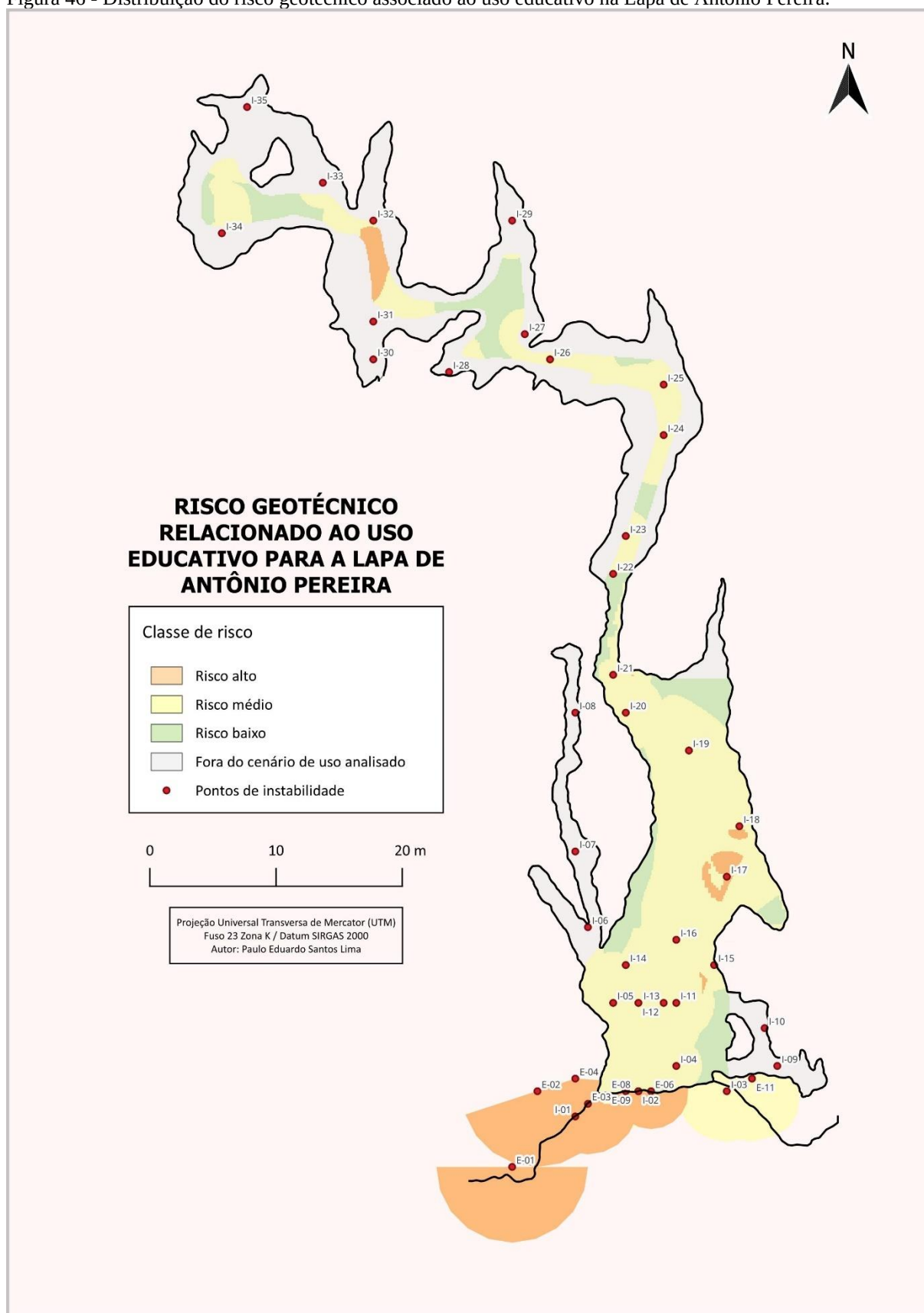
A distribuição espacial do risco no cenário educativo mostra predomínio de risco baixo e risco moderado ao longo do roteiro interno, com ocorrência localizada de risco alto (FIG. 46). Em comparação com o espeleoturismo, observa-se aumento das áreas moderadas e altas, uma vez que as atividades educativas tendem a envolver maior tempo de permanência em determinados pontos, especialmente nos locais utilizados para explicação, observação e interpretação ambiental.

No domínio externo/transicional, o risco alto ocorre principalmente nas áreas de influência das feições localizadas na zona externa e no acesso da cavidade. As feições E-01, E-02, I-01 e E-04 permanecem como condicionantes importantes, pois coincidem com setores de chegada, organização dos grupos, espera e entrada na cavidade. Mesmo em atividades conduzidas, esses trechos representam áreas de atenção, pois funcionam como passagem obrigatória e podem concentrar grupos antes do início ou ao final da visita.

Na região inicial da cavidade, o risco se distribui entre baixo e moderado, com manchas localizadas de risco alto associadas à combinação entre permanência dos grupos e suscetibilidade geotécnica interna. Os pontos I-17, I-18, I-19, I-20 e I-21 contribuem para a formação dessas áreas mais restritivas na região da Capela e nos setores de transição para o roteiro interno. Essa condição é relevante porque o uso educativo pode envolver paradas interpretativas nesses setores, aumentando o tempo de exposição em relação ao espeleoturismo.

Na região afótica, o risco aparece de forma mais descontínua, acompanhando trechos do roteiro conduzido e áreas onde há influência de feições internas. Destacam-se os pontos I-31, I-32, I-34 e I-35, associados ao Salão dos Sedimentos, aos setores superiores e aos salões finais. Essas feições não tornam o risco elevado de forma generalizada, mas indicam trechos que exigem maior atenção durante atividades educativas, sobretudo quando houver parada de grupos, permanência para explicações ou circulação em passagens mais estreitas.

Figura 46 - Distribuição do risco geotécnico associado ao uso educativo na Lapa de Antônio Pereira.



Fonte: elaborado pelo autor.

8.10.7 Risco associado ao uso operacional

O uso operacional corresponde às atividades de manutenção, manejo, monitoramento técnico, inspeção e conservação realizadas na Lapa de Antônio Pereira. Diferentemente dos cenários de uso público, que se concentram em setores específicos da cavidade, o uso operacional pode ocorrer em toda a área mapeada, incluindo a zona externa, a região da Capela, a região afótica, os salões finais, as ramificações e setores de uso restrito.

Por esse motivo, o uso operacional foi tratado separadamente e subdividido em três situações: vistorias rápidas, manutenções de rotina e manutenções prolongadas (TAB-23). Essa subdivisão foi adotada porque a exposição operacional varia conforme a duração da atividade, a permanência nos setores, a proximidade com feições de instabilidade, o uso de ferramentas e o grau de intervenção física no ambiente.

Tabela 23 - Caracterização das situações de uso operacional e classes de consequência associadas.

Situação operacional	Exemplos de atividade	Consequência/exposição
Vistorias rápidas	Inspeções visuais, registros fotográficos, leituras de instrumentos e verificações pontuais.	Baixa
Manutenções de rotina	Limpeza de trilha, pequenos reparos, manutenção de iluminação, inspeção de infraestrutura e ajustes simples.	Média
Manutenções prolongadas	Trabalhos longos, intervenções próximas a feições instáveis, uso de ferramentas, remoção de material ou reparos estruturais.	Alta

Fonte: elaborado pelo autor (2026)

Nas vistorias rápidas, a consequência/exposição foi considerada baixa, pois envolvem inspeções visuais, registros fotográficos pontuais, leituras de instrumentos ou verificações de curta duração. Nas manutenções de rotina, a consequência/exposição foi considerada média, devido à permanência moderada, à execução de tarefas simples e ao possível uso de ferramentas leves. Já nas manutenções prolongadas, a consequência/exposição foi classificada como alta, pois envolve maior tempo de permanência, possibilidade de intervenção direta, esforço físico, vibração, remoção de materiais ou atuação próxima a blocos, pendentes, taludes e demais feições instáveis.

A análise do uso operacional é importante porque, embora envolva menor número de pessoas do que os cenários religiosos ou turísticos, pode ocorrer em setores mais restritos e próximos às feições de instabilidade. Assim, o risco operacional não depende apenas da quantidade de pessoas expostas, mas também do tipo de tarefa, do tempo de permanência e da proximidade direta com áreas potencialmente instáveis.

8.10.7.1 Risco associado a vistorias rápidas

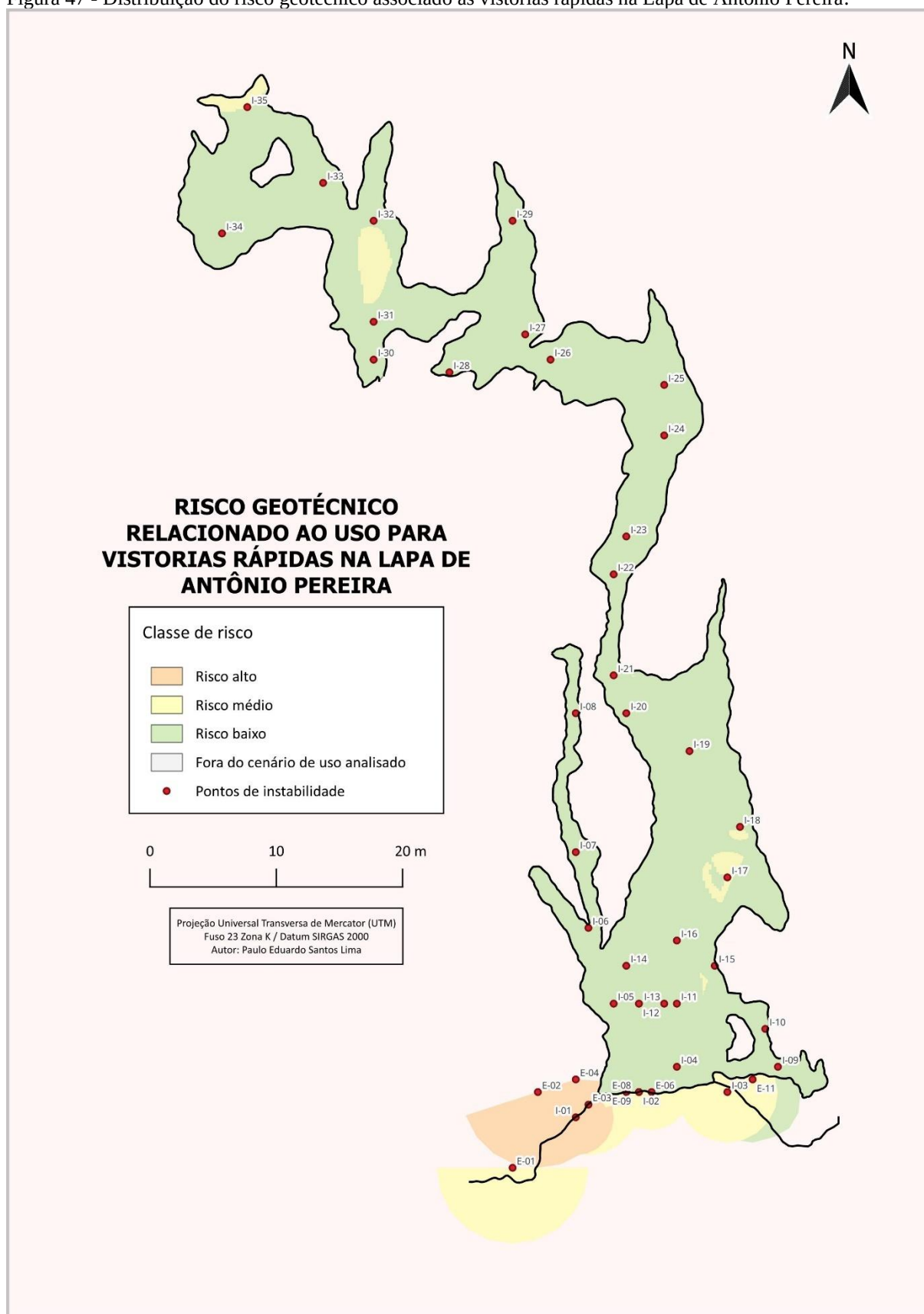
O cenário de vistorias rápidas representa a condição operacional de menor exposição. Ele corresponde a atividades de curta duração, como inspeções visuais, registros fotográficos, conferência de trilhas, leitura de instrumentos ou verificações pontuais de infraestrutura. Nesse cenário, considerou-se que a atividade pode ocorrer em toda a cavidade, mas com baixa permanência em cada setor e sem intervenção física significativa sobre o ambiente.

A distribuição espacial do risco mostra predomínio de risco baixo na maior parte da cavidade, incluindo a região da Capela, a região afótica, as rampas, o Salão dos Sedimentos e os salões finais (FIG. 47). Esse resultado reflete a baixa consequência/exposição atribuída às vistorias rápidas, nas quais o tempo de permanência é reduzido e a circulação tende a ser objetiva. Assim, mesmo em setores com maior suscetibilidade geotécnica, a classe final de risco é atenuada pela baixa exposição operacional.

As áreas de risco moderado aparecem de forma localizada, principalmente nos setores onde a suscetibilidade geotécnica interna é mais elevada ou onde há influência de feições de instabilidade próximas ao percurso. No interior da cavidade, pontos como I-17, I-18, I-31, I-32 e I-35 ajudam a explicar essas manchas moderadas, por estarem associados a setores com feições internas relevantes ou com maior influência espacial no zoneamento geotécnico.

No domínio externo/transicional, o risco é mais expressivo do que no interior, com ocorrência localizada de risco alto na zona externa e no entorno imediato da entrada. Esse padrão é condicionado principalmente pelas feições E-01, E-02 e I-01, associadas ao acesso, à fachada e ao pórtico da cavidade. Embora a exposição seja baixa, essas feições mantêm relevância por estarem em área de passagem obrigatória e por apresentarem maior potencial de dano em caso de instabilização.

Figura 47 - Distribuição do risco geotécnico associado às vistorias rápidas na Lapa de Antônio Pereira.



Fonte: elaborado pelo autor.

8.10.7.2 Risco associado a manutenções de rotina

O cenário de manutenções de rotina corresponde às atividades operacionais de duração moderada, como limpeza de trilhas, pequenos reparos, manutenção de iluminação, inspeção de infraestrutura, ajustes simples em equipamentos e intervenções pontuais relacionadas ao manejo da cavidade. Diferentemente das vistorias rápidas, essas atividades envolvem maior tempo de permanência nos setores acessados e podem exigir uso de ferramentas leves ou deslocamentos mais lentos. Por isso, a consequência/exposição foi classificada como média.

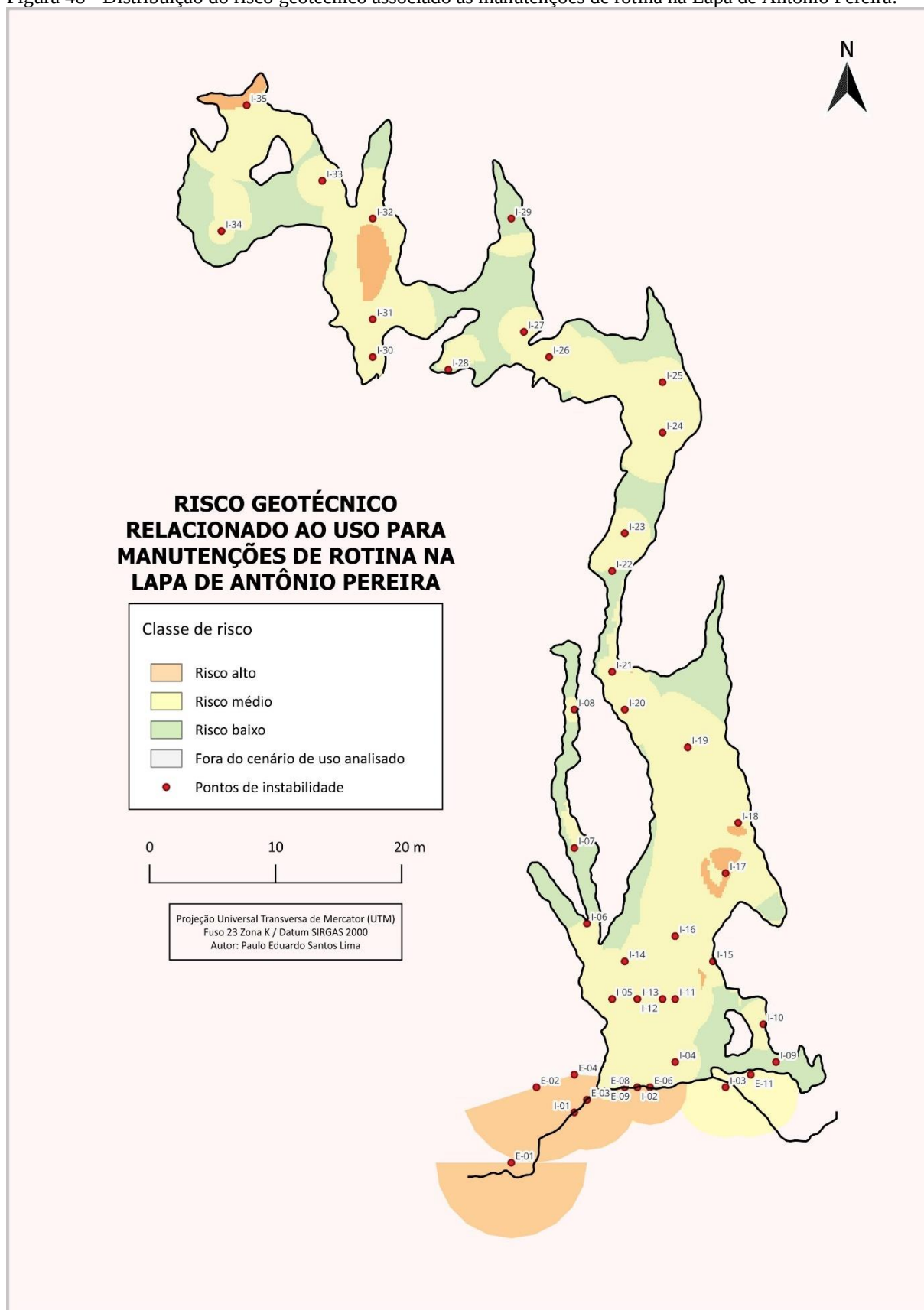
A distribuição espacial do risco nesse cenário mostra aumento das classes em relação às vistorias rápidas (FIG. 48). Embora ainda haja áreas de risco baixo, principalmente em setores com menor suscetibilidade geotécnica, observa-se ampliação das áreas de risco moderado ao longo da cavidade. Esse comportamento reflete a maior permanência associada às atividades de rotina, que eleva a exposição mesmo quando a condição geotécnica permanece inalterada.

No domínio externo/transicional, o risco alto permanece associado às feições localizadas na entrada, fachada, pórtico e entorno imediato. Destacam-se as feições E-01, E-02, I-01 e E-04, que condicionam áreas mais restritivas na zona externa e no acesso à cavidade. Esses setores são importantes para o uso operacional porque concentram passagem obrigatória de equipes, transporte de materiais, organização de equipamentos e eventuais intervenções na infraestrutura de entrada.

No interior da cavidade, o risco moderado se distribui de forma mais contínua que no cenário de vistorias rápidas. Essa ampliação ocorre porque a manutenção de rotina pode demandar permanência em diferentes pontos do roteiro, incluindo a região da Capela, a região afótica, as rampas, o Salão dos Sedimentos e os salões finais. Assim, setores que no cenário de vistoria apareciam predominantemente como risco baixo passam a apresentar risco moderado, principalmente quando associados a feições internas ou a trechos de circulação mais restrita.

As manchas de risco alto no interior são localizadas e estão relacionadas a setores onde a suscetibilidade geotécnica é mais elevada ou onde há maior influência de feições de instabilidade. Nesse contexto, destacam-se os pontos I-17 e I-18, na região inicial do roteiro, além de I-31, I-32 e I-35, associados ao Salão dos Sedimentos, aos setores superiores e aos salões finais. Essas feições penalizam o cenário porque podem coincidir com áreas onde a equipe operacional permanece por mais tempo para limpeza, inspeção, reparo ou monitoramento.

Figura 48 - Distribuição do risco geotécnico associado às manutenções de rotina na Lapa de Antônio Pereira.



Fonte: elaborado pelo autor.

8.10.7.3 Risco associado a manutenções prolongadas

O cenário de manutenções prolongadas representa a condição operacional mais restritiva avaliada para a Lapa de Antônio Pereira. Esse cenário inclui atividades de maior duração, intervenções próximas a feições instáveis, uso de ferramentas, transporte de materiais, reparos em infraestrutura, limpeza mais intensa, remoção localizada de sedimentos ou blocos soltos e trabalhos que possam exigir permanência prolongada em setores específicos da cavidade. Por isso, a consequência/exposição foi classificada como alta.

A distribuição espacial do risco nesse cenário mostra aumento expressivo das classes em relação às vistorias rápidas e às manutenções de rotina (FIG. 49). Como o uso operacional prolongado pode ocorrer em toda a cavidade, o mapa apresenta risco distribuído desde a zona externa até os salões finais e ramificações internas. Predomina a classe de risco moderado, com manchas localizadas de risco alto e ocorrência de risco crítico no domínio externo/transicional.

No domínio externo/transicional, as áreas de risco mais elevado estão associadas principalmente às feições E-01, E-02, I-01 e E-04, localizadas na zona externa, fachada, pátio e setor de acesso. A presença de risco crítico nesse domínio reflete a combinação entre feições com maior potencial de dano e uma condição operacional de maior exposição. Em atividades prolongadas, esses setores podem ser utilizados para passagem recorrente, transporte de materiais, montagem de equipamentos, permanência de equipes ou intervenções na infraestrutura de acesso, aumentando a relevância das feições externas na composição do risco.

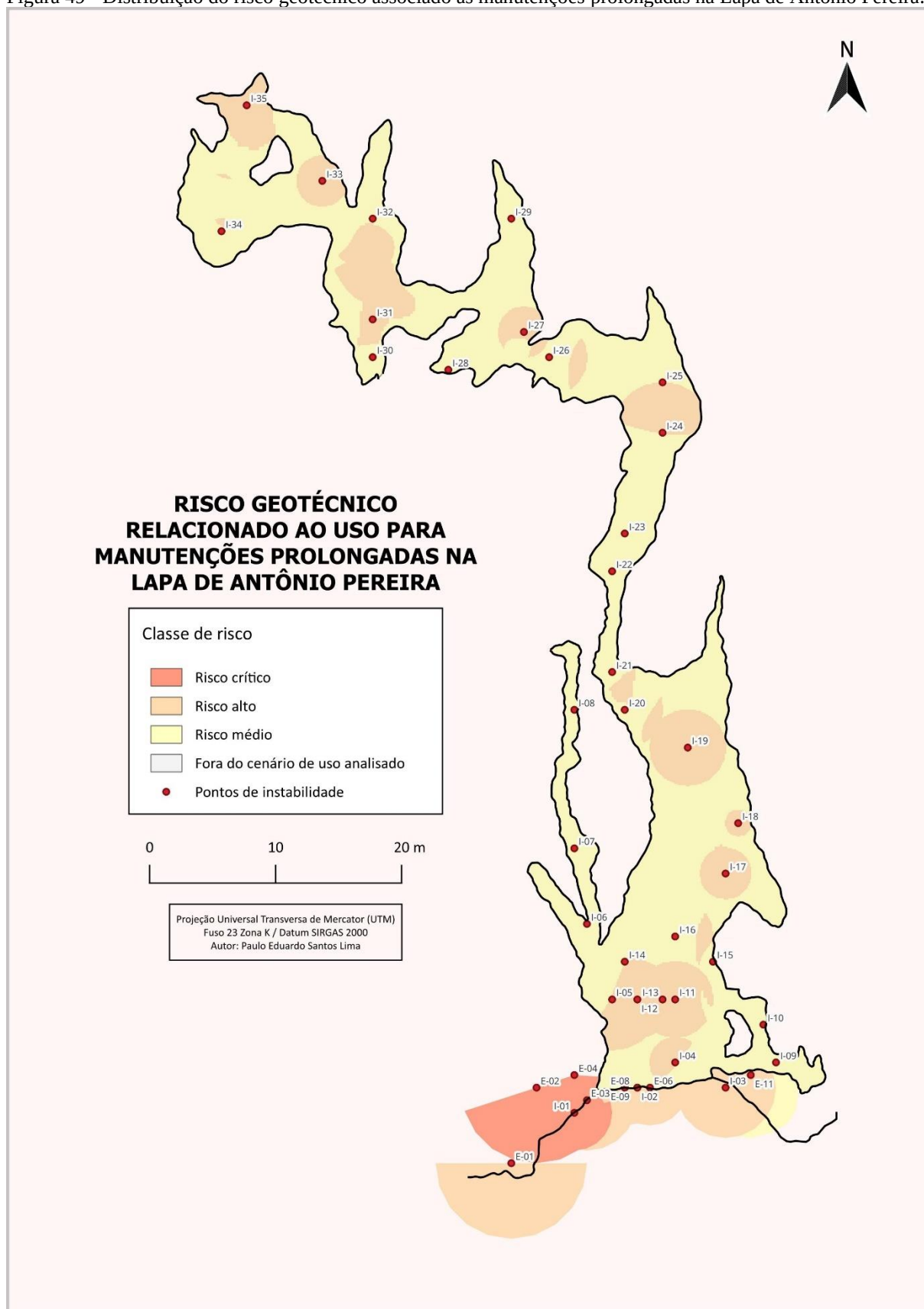
A feição E-02, associada à torre residual/calçaria no entorno da entrada, mantém papel importante nesse cenário, devido ao porte da estrutura e à possibilidade de afetar áreas externas utilizadas durante atividades operacionais. A feição I-01, situada no setor de transição entre o exterior e a entrada da cavidade, também contribui para a formação de áreas críticas ou de risco alto, pois sua área de influência coincide com um trecho de passagem obrigatória. Em conjunto com E-01 e E-04, essas feições configuram o principal núcleo de atenção para trabalhos prolongados no acesso da cavidade.

No interior da Lapa, o risco moderado se distribui de forma ampla, acompanhando a área interna utilizada pelo cenário operacional. As manchas de risco alto ocorrem principalmente onde a suscetibilidade geotécnica interna é maior ou onde há influência de feições de instabilidade com maior penalização. Na região inicial e no Salão da Capela, destacam-se os pontos I-03, I-04, I-05, I-11, I-12, I-13 e I-14, associados a setores onde atividades de manutenção podem envolver circulação frequente, permanência para reparos ou intervenções próximas a paredes, teto e elementos de infraestrutura.

Na região da Capela e no trecho de transição para a região afótica, os pontos I-17, I-18, I-19, I-20 e I-21 ajudam a explicar a presença de manchas de risco alto. Esses setores são relevantes porque podem concentrar atividades de manejo, inspeção, manutenção de acesso, limpeza e monitoramento, além de apresentarem permanência mais longa durante intervenções operacionais. A elevação do risco nesse cenário decorre, portanto, não apenas da condição geotécnica, mas da possibilidade de trabalho próximo às feições de instabilidade.

Nos setores mais internos, incluindo rampas, Salão dos Sedimentos e salões finais, o risco alto aparece de forma localizada, associado principalmente às feições I-31, I-32, I-33 e I-35. Essas feições são importantes porque ocorrem em áreas onde a circulação é mais restrita, com menor possibilidade de desvio e maior dificuldade operacional. O ponto I-31, no Salão dos Sedimentos, e o ponto I-35, nos salões finais/ramificações finais, destacam-se por apresentarem áreas de influência ampliadas, contribuindo para o aumento local da classe de risco.

Figura 49 - Distribuição do risco geotécnico associado às manutenções prolongadas na Lapa de Antônio Pereira.



Fonte: elaborado pelo autor.

9 DISCUSSÕES

Os resultados obtidos indicam que o risco geotécnico da Lapa de Antônio Pereira não é determinado apenas pela condição física do maciço ou pela presença isolada de feições de instabilidade. A condição de risco resulta da interação entre a suscetibilidade geotécnica da cavidade, a distribuição espacial das feições instáveis e a forma como cada setor é utilizado por visitantes, fiéis, equipes técnicas ou grupos conduzidos.

De modo geral, o zoneamento geotécnico mostrou que a cavidade não apresenta suscetibilidade elevada de forma generalizada. As áreas mais desfavoráveis são localizadas e estão associadas à combinação entre menor qualidade relativa do maciço, presença de água, dinâmica sedimentar, instabilidades internas e características dos vãos. Entretanto, quando essas áreas coincidem com setores de circulação, permanência ou concentração de pessoas, a suscetibilidade passa a ter maior relevância para a definição do risco.

Essa relação explica por que o risco varia entre os diferentes cenários de uso. Um setor com condição geotécnica moderadamente desfavorável pode representar baixo risco quando utilizado por grupos pequenos, conduzidos e com pouca permanência. Por outro lado, o mesmo setor pode assumir risco alto ou crítico quando submetido a grande concentração de pessoas, permanência prolongada ou dificuldade de controle do fluxo. Assim, o risco não deve ser entendido como uma característica fixa do espaço físico, mas como uma condição dependente do uso.

Essa leitura é especialmente importante na Lapa de Antônio Pereira porque os setores de maior exposição não coincidem necessariamente com os setores de maior suscetibilidade interna. A zona externa, o pórtico e a entrada assumem papel central, pois concentram chegada, espera, organização dos grupos, acesso ao interior e parte significativa das atividades religiosas. Além disso, esses setores coincidem com feições de instabilidade relevantes, como aquelas associadas à fachada, ao entorno imediato e à torre residual/calcária. Por isso, o domínio externo/transicional exerce forte influência sobre os cenários de maior exposição, especialmente o uso religioso, o Jubileu e as manutenções prolongadas.

No interior da cavidade, o risco apresenta comportamento mais setorizado. A região da Capela e os salões iniciais concentram risco associado à permanência, principalmente em missas, visitação contemplativa e eventos religiosos. Já a região afótica, o Salão dos Sedimentos e os salões finais apresentam risco mais relacionado ao deslocamento conduzido, às paradas interpretativas e ao uso operacional. Nesses setores, o controle do grupo, o tempo de permanência e a escolha dos pontos de parada são fatores decisivos para reduzir a exposição.

Dessa forma, a Lapa pode admitir diferentes formas de visitação e manejo, desde que cada atividade seja compatível com a suscetibilidade dos setores utilizados e com as feições de instabilidade que atuam sobre eles. O principal desafio de gestão é reconhecer onde há instabilidade e ajustar o uso da cavidade para que a exposição não transforme feições localizadas em situações de risco elevado.

A interpretação das classes de risco deve, portanto, estar associada à aceitabilidade e à necessidade de ação. As classes obtidas nos mapas — risco baixo, moderado, alto e crítico — podem ser relacionadas a diferentes níveis de manejo, conforme apresentado na TAB. 24.

Tabela 24 - Correspondência entre as classes de risco, os níveis de aceitabilidade e as implicações para o manejo.

Classe de risco no mapa	Nível de aceitabilidade	Implicação para manejo
Risco crítico	Inaceitável	O uso deve ser restringido ou condicionado à redução prévia do risco. Exige ação prioritária.
Risco alto	Indesejado	Devem ser aplicadas medidas de mitigação, controle de permanência, sinalização, isolamento ou reordenamento do uso.
Risco moderado	Aceitável com controle	Exige monitoramento, inspeção periódica e manejo preventivo, especialmente em setores de permanência ou passagem obrigatória.
Risco baixo	Negligenciável ou aceitável	Não exige intervenção imediata, mas deve permanecer dentro da rotina de acompanhamento da cavidade.

Fonte: elaborado pelo autor (2026), com base em ABGE (2025).

As áreas classificadas como risco crítico ou alto devem ser tratadas como prioritárias para manejo, principalmente quando coincidem com setores de permanência, circulação obrigatória ou concentração de pessoas. Já as áreas de risco moderado não indicam necessariamente necessidade de interdição, mas devem ser entendidas como setores de uso condicionado, sujeitos a controle de permanência, inspeção periódica e reavaliação. Mesmo as áreas de risco baixo não devem ser interpretadas como livres de perigo geotécnico, mas como setores onde, mantidas as condições atuais de uso e monitoramento, não há indicação imediata de medidas adicionais de mitigação.

A definição das ações de manejo deve partir dos setores onde o risco se torna mais relevante para o uso da cavidade. Os resultados indicam que as áreas prioritárias não correspondem necessariamente aos trechos com maior quantidade de feições mapeadas, mas aos locais onde as instabilidades coincidem com circulação obrigatória, permanência de pessoas, concentração durante eventos ou execução de atividades operacionais.

A zona externa, o pórtico e a entrada constituem o setor mais sensível do ponto de vista do manejo geotécnico. Sua importância decorre da combinação entre passagem obrigatória, permanência eventual, concentração em eventos religiosos e presença de feições

externas/transicionais relevantes. As feições E-01, E-02, I-01 e E-04 são as principais condicionantes do risco nesse setor. Entre elas, destaca-se a E-02, associada à torre residual/calcária no entorno da entrada, devido ao seu porte e ao potencial de atingir áreas externas utilizadas por visitantes.

As ações de manejo nesse setor devem priorizar a redução da permanência sob áreas de influência das instabilidades. Para isso, recomenda-se delimitar áreas preferenciais de espera e organização de grupos fora dos trechos mais penalizados, evitar formação de filas próximas à fachada e ao pórtico, sinalizar áreas de não permanência e definir rotas claras de entrada e saída. Durante missas, eventos religiosos e Jubileu, essas medidas devem ser reforçadas por controle de fluxo, dispersão dos visitantes e restrição temporária de permanência nos trechos sob influência das feições mais relevantes.

A região da Capela e os setores iniciais apresentam risco associado principalmente à permanência. Esse setor é utilizado para contemplação, celebrações religiosas, paradas de grupos e visitação convencional. Assim, mesmo feições localizadas podem assumir maior importância quando suas áreas de influência coincidem com locais onde as pessoas permanecem por mais tempo. Nesse setor, destacam-se as feições I-17, I-18, I-19, I-20 e I-21, além de feições próximas à transição entre a entrada e o salão inicial, como I-03 e I-04.

Nesse caso, o manejo deve buscar organizar a ocupação do espaço. A distribuição dos fiéis, visitantes ou grupos educativos deve evitar concentração diretamente sob áreas de influência das feições mais relevantes. Também é recomendável reposicionar pontos de parada quando necessário, controlar o tempo de permanência em trechos mais sensíveis e realizar inspeções visuais antes de eventos religiosos ou atividades com maior concentração de pessoas. Para atividades educativas, as explicações mais longas devem ocorrer preferencialmente em pontos de menor exposição.

A região afótica, o Salão dos Sedimentos e os salões finais apresentam outra lógica de manejo. Nesses trechos, o risco está menos associado à concentração massiva de pessoas e mais relacionado ao deslocamento conduzido, às paradas interpretativas, à circulação em passagens restritas e ao uso operacional. As feições I-31, I-32, I-34 e I-35 são as principais referências para esse setor. A feição I-31, localizada no Salão dos Sedimentos, e a feição I-35, associada aos salões finais ou ramificações finais, destacam-se por apresentarem áreas de influência ampliadas.

Para o espeleoturismo e o uso educativo, a principal medida de manejo é manter a visitação conduzida, com grupos reduzidos, deslocamento orientado e permanência curta nos setores de maior suscetibilidade. O roteiro interno não precisa ser tratado como inviável, mas

deve ter pontos de parada definidos com cuidado. Quando uma feição instável for utilizada como elemento interpretativo, o grupo deve ser posicionado fora da área de maior exposição. Para o uso operacional, especialmente manutenções de rotina e manutenções prolongadas, recomenda-se planejamento prévio do setor de intervenção, redução do tempo de permanência, equipe mínima necessária e interrupção da atividade caso sejam observados sinais recentes de instabilidade, como queda de fragmentos, aumento de umidade, ruídos, trincas ou deslocamentos.

Apesar de a avaliação realizada permitir a identificação dos setores mais sensíveis ao risco geotécnico, seus resultados devem ser interpretados considerando as limitações do método adotado. A análise foi construída a partir de levantamentos de campo, caracterização geotécnica, individualização das feições de instabilidade, zoneamento geotécnico e integração com cenários de uso. Trata-se, portanto, de uma avaliação semiquantitativa, voltada à hierarquização espacial do risco e ao apoio à tomada de decisão, e não de uma previsão absoluta da ocorrência de rupturas. Além disso, as classes de risco representam a condição observada no período do levantamento e podem variar ao longo do tempo em função de processos naturais e antrópicos, como chuvas intensas, alteração da umidade, vibrações, intervenções em infraestrutura, crescimento de raízes, movimentação de visitantes e evolução progressiva das discontinuidades.

Por isso, os mapas de risco devem ser entendidos como base para um manejo adaptativo da cavidade. As ações indicadas devem ser revisadas sempre que houver alteração no padrão de visitação, realização de eventos de grande porte, obras de manutenção, ocorrência de chuvas intensas, queda de material, modificação do trajeto de visitação ou identificação de novas feições instáveis. Feições situadas na zona externa, no pórtico, na entrada, na região da Capela, no Salão dos Sedimentos e nos salões finais devem integrar uma rotina de monitoramento comparativo, com registros fotográficos, inspeções visuais e reavaliação periódica. Dessa forma, a gestão geotécnica da Lapa de Antônio Pereira deve combinar controle do uso, monitoramento contínuo e medidas preventivas proporcionais ao nível de risco identificado, permitindo que a cavidade seja utilizada de forma mais segura sem a adoção de restrições generalizadas onde o controle da exposição é suficiente.

10 CONCLUSÕES

A metodologia adotada mostrou-se adequada para avaliar o risco geotécnico associado ao uso público e operacional da Lapa de Antônio Pereira. A integração entre mapeamento geológico-geotécnico, caracterização das descontinuidades, classificações geomecânicas, análise da estabilidade dos vãos, individualização das feições de instabilidade, zoneamento geotécnico e cenários de uso permitiu representar espacialmente os setores mais sensíveis da cavidade. Dessa forma, o procedimento aplicado atendeu ao objetivo proposto, pois possibilitou não apenas identificar áreas de maior suscetibilidade, mas também compreender como o risco varia conforme a circulação, permanência e concentração de pessoas.

Os resultados indicaram que a cavidade não apresenta suscetibilidade geotécnica elevada de forma generalizada. As áreas mais desfavoráveis são localizadas e estão associadas à combinação entre menor qualidade relativa do maciço, presença de água, dinâmica sedimentar, características dos vãos e influência de feições internas de instabilidade. No domínio interno, os setores que demandam maior atenção correspondem principalmente à região da Capela, às rampas, ao Salão dos Sedimentos e aos salões finais. Já no domínio externo/transicional, a entrada, o pórtico, a fachada e o entorno imediato assumem papel prioritário na composição do risco.

A análise dos diferentes cenários demonstrou que o risco geotécnico não depende apenas da condição física da cavidade, mas da forma como cada setor é utilizado. O turismo convencional e o espeleoturismo apresentaram condições mais controláveis, desde que mantidos o ordenamento do fluxo, a condução dos grupos e a limitação da permanência em setores sensíveis. O uso educativo apresentou condição intermediária, exigindo atenção aos pontos de parada interpretativa. Por outro lado, o uso religioso, o Jubileu e as manutenções prolongadas configuram os cenários mais restritivos, pois combinam maior permanência, concentração de pessoas ou atuação operacional próxima a feições instáveis.

As ações de manejo devem ser orientadas pela aceitabilidade do risco. Setores classificados como risco crítico ou alto demandam medidas prioritárias de controle, mitigação, sinalização, restrição de permanência ou reordenamento do uso. As áreas de risco moderado devem ser tratadas como setores de uso condicionado, com inspeção periódica e monitoramento preventivo. Assim, a gestão geotécnica da Lapa deve priorizar três conjuntos espaciais: a zona externa, pórtico e entrada; a região da Capela e setores iniciais; e a região afótica, Salão dos Sedimentos e salões finais.

Conclui-se que a metodologia proposta é aplicável à avaliação de risco geotécnico em cavidades turísticas, especialmente quando o objetivo é subsidiar decisões de manejo e

ordenamento do uso. Entretanto, seus resultados devem ser entendidos como uma base técnica semiquantitativa e dinâmica, dependente de atualização periódica. Os mapas de risco não substituem inspeções de campo e monitoramento contínuo, mas fornecem um instrumento objetivo para orientar o controle da exposição, a revisão dos roteiros, o planejamento de eventos de grande porte e a definição de medidas preventivas proporcionais ao nível de risco identificado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALKMIM, F. F.; MARTINS-NETO, M. A. Proterozoic first-order sedimentary sequences of the São Francisco Craton, eastern Brazil. *Marine and Petroleum Geology*, v. 33, n. 1, p. 127-139, 2012.
- ALMEIDA, F. F. M. O Cráton do São Francisco. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 7, n. 4, p. 349-364, 1977.
- ALMEIDA, F. F. M. et al. Brazilian Structural Provinces: an introduction. *Earth-Science Reviews*, v. 17, p. 1-29, 1981.
- ANTUNES, F. Z. Climatologia agrícola: caracterização climática do estado de Minas Gerais. *Informe Agropecuário*, v. 12, n. 138, p. 9-13, 1986.
- ARAÚJO, G. S. Análise de estabilidade física de cavidades naturais subterrâneas em minério de ferro. 2016. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2016.
- AREOSA, J. Risco e análise de riscos: contributos para a sua conceptualização. *Configurações*, n. 4, p. 119-140, 2008.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL. Diretriz Normativa ABGE 500/2025: inspeção geológica-geotécnica para o apoio ao ordenamento do ecoturismo. São Paulo: ABGE, 2025.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 21101: turismo de aventura — sistemas de gestão da segurança. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.
- BABINSKI, M. et al. Geochronology of the Minas Supergroup, Quadrilátero Ferrífero, Brazil: U-Pb ages of carbonates of the Gandarela Formation. *Precambrian Research*, v. 72, p. 235-245, 1995.
- BARBOSA, M. S.; OLIVEIRA, R. G. Geofísica e geologia estrutural no Quadrilátero Ferrífero. In: CASTRO, P. T. A.; ENDO, I.; GANDINI, A. L. (org.). *Quadrilátero Ferrífero: avanços do conhecimento nos últimos 50 anos*. Belo Horizonte: 3i Editora, 2020. p. 138-167.
- BARTON, N.; LIEN, R.; LUNDE, J. Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support. *Rock Mechanics*, v. 6, n. 4, p. 189-236, 1974.
- BEATO, D. A. C. et al. Projeto APA Sul RMBH: estudos do meio físico. Belo Horizonte: CPRM, 2005.
- BIENIAWSKI, Z. T. Engineering rock mass classifications: a complete manual for engineers and geologists in mining, civil and petroleum engineering. New York: John Wiley & Sons, 1989. 251 p.
- BRANDI, I. V.; BARBOSA, M. R.; SILVA, A. B.; TIMO, J. Índice Geotécnico de Cavernas (IGC): novo sistema de classificação geotécnica da estabilidade estrutural de vãos em cavernas ferríferas. *Revista Brasileira de Espeleologia*, v. 1, n. 10, p. 1-33, 2021.

CANDIDO, L. A. Metodologia de análise de riscos para a gestão de segurança em cavernas. 2010. 145 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2010.

CARVALHO, A. V. Análise da estabilidade de encostas urbanas em Ouro Preto. 1982. 210 f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 1982.

CASTRO, P. T. A.; ENDO, I.; GANDINI, A. L. (org.). Quadrilátero Ferrífero: avanços do conhecimento nos últimos 50 anos. Belo Horizonte: 3i Editora, 2020.

CASAL, M. A. de. Corografia brazilica, ou relação historico-geografica do Reino do Brazil. Rio de Janeiro: Impressão Régia, 1817. 2 v.

COSTA, F. O. Evolução morfoopedológica de vertente escarpada na alta bacia do Rio das Velhas, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. 2018. 171 f. Tese (Doutorado) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2018.

D'ELBOUX, C. V.; FERREIRA, C. M. Topázio imperial de Ouro Preto, Minas Gerais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 28., 1974, Porto Alegre. Anais [...]. São Paulo: Sociedade Brasileira de Geologia, 1975.

DORR, J. V. N. Physiographic, stratigraphic, and structural development of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. Washington: United States Geological Survey, 1969. (Geological Survey Professional Paper, 641-A).

DUTRA, G. M. Análise de susceptibilidade de duas cavidades em litologia de ferro na Serra do Gandarela, MG: estudo de caso: AP_0009 e AP_0038. 2017. 98 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Geotécnica) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2017.

ENDO, I. et al. O Sistema de Nappes Ouro Preto, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. Geonomos, v. 13, n. 1, p. 1-10, 2005.

ENDO, I. et al. Mapa geológico do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil. Escala 1:150.000: uma celebração do cinquentenário da obra de Dorr (1969). Ouro Preto: UFOP, 2019a.

ENDO, I. et al. Estratigrafia e arcabouço estrutural do Quadrilátero Ferrífero: nota explicativa do mapa geológico do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil. Escala 1:150.000. Ouro Preto: UFOP, 2019b.

ENDO, I. et al. Estratigrafia e evolução estrutural do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil. In: CASTRO, P. T. A.; ENDO, I.; GANDINI, A. L. (org.). Quadrilátero Ferrífero: avanços do conhecimento nos últimos 50 anos. Belo Horizonte: 3i Editora, 2020. p. 70-113.

ENDO, I.; FONSECA, M. A. A Falha do Fundão: uma zona de cisalhamento dúctil a dúctil-rúptil no Quadrilátero Ferrífero. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 37., 1992, São Paulo. Anais [...]. São Paulo: Sociedade Brasileira de Geologia, 1992. v. 1, p. 403-404.

ESKESEN, S. D. et al. Guidelines for tunnelling risk management. Tunnelling and Underground Space Technology, v. 19, n. 3, p. 217-237, 2004.

FONTES, M. M. M. Contribuição para o desenvolvimento da metodologia de análise, gestão e controle de riscos geotécnicos para a área urbana da cidade de Ouro Preto. 2011. 177 f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2011.

GENİŞ, M.; ÇOLAK, B. Stability assessment of the Gökgöl Karstic Cave (Zonguldak, Turkey) by analytical and numerical methods. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, v. 48, n. 6, p. 2383-2403, 2015.

GOMES, R. A. T. et al. Condicionantes pluviométricos para o desenvolvimento de escorregamentos no município de Ouro Preto (MG). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 9., 1998, São Pedro. Anais [...]. São Paulo: ABGE, 1998.

HEILBRON, M.; CORDANI, U. G.; ALKMIM, F. F. (ed.). São Francisco Craton, eastern Brazil: tectonic genealogy of a miniature continent. Berlin: Springer, 2017.

HOEK, E.; BROWN, E. T. Underground excavations in rock. London: The Institution of Mining and Metallurgy, 1980. 527 p.

IGA – INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS APLICADAS. Mapas de climas do Estado de Minas Gerais. Belo Horizonte: IGA, 1995.

INTERNATIONAL SOCIETY FOR ROCK MECHANICS. Rock characterization, testing and monitoring: ISRM suggested methods. Oxford: Pergamon Press, 1981.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. As grutas em Minas Gerais. 1. ed. Belo Horizonte: Oficinas Gráficas da Estatística, 1939. 278 p.

IRIARTE, E.; SÁNCHEZ, M. A.; FOYO, A.; TOMILLO, C. Geological risk assessment for cultural heritage conservation in karstic caves. *Journal of Cultural Heritage*, v. 11, n. 3, p. 250-258, 2010.

JORDÁ-BORDEHORE, L. Stability assessment of natural caves using empirical approaches and rock mass classifications. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, v. 50, n. 8, p. 2143-2154, 2017.

KING, L. C. A geomorfologia do Brasil Oriental. *Revista Brasileira de Geografia*, v. 18, n. 2, p. 147-265, 1956.

LACERDA, S. G. et al. Caracterização geomecânica do maciço rochoso da Gruta dos Viajantes, Parque Estadual do Ibitipoca, sudeste de Minas Gerais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ESPELEOLOGIA, 34., 2017, Ouro Preto. Anais [...]. Campinas: Sociedade Brasileira de Espeleologia, 2017. p. 261-275.

LACERDA, S. G. et al. Caracterização geomecânica do maciço rochoso da Gruta do Pião, Parque Estadual do Ibitipoca, Minas Gerais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ESPELEOLOGIA, 35., 2019, Bonito. Anais [...]. Campinas: Sociedade Brasileira de Espeleologia, 2019. p. 244-252.

LANA, C. E. A geomorfologia do Quadrilátero Ferrífero. In: CASTRO, P. T. A. et al. (org.). Quadrilátero Ferrífero: avanços do conhecimento nos últimos 50 anos. Belo Horizonte: 3i Editora, 2020. p. 194-215.

MAIA, R. E. A. Análise geofísica aplicada à caracterização de risco geotécnico no bairro Taquaral, Ouro Preto – MG. 2023. 124 f. Monografia (Graduação) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2023.

MECROC ENGENHARIA LTDA. Diagnóstico geomecânico da Lapa de Antônio Pereira. Belo Horizonte: MecRoc Engenharia Ltda., 2020. Relatório técnico.

MONTEIRO, H. S. et al. (U-Th)/He geochronology of goethite and the origin and evolution of cangas. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 131, p. 267-289, 2014.

MOURÃO, M. A. A. Caracterização hidrogeológica da bacia do Rio das Velhas na região do Quadrilátero Ferrífero, MG. 2007. 297 f. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

NALINI JUNIOR, H. A. et al. Estratigrafia e geologia estrutural da porção sudeste do Quadrilátero Ferrífero, região de Ouro Preto-Mariana. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 37., 1992, São Paulo. Anais [...]. São Paulo: Sociedade Brasileira de Geologia, 1992. v. 1, p. 411-412.

NASCIMENTO, S. T. Geodiversidade e geomorfologia antropogênica na região das minas de ouro no Anticlinal de Mariana, MG. 2016. 88 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2016.

NASCIMENTO, S. T.; CASTRO, P. T. A.; RUCHKYS, U. A. Geodiversidade dos compartimentos geomorfológicos do Anticlinal de Mariana, Minas Gerais. *Geociências*, São Paulo, v. 37, n. 3, p. 497-504, 2018.

NASCIMENTO, S. T.; CASTRO, P. T. A. Modelagem da geodiversidade para o anticlinal de Mariana, sudeste do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil. *Geologia USP. Série Científica*, São Paulo, v. 19, n. 1, p. 117-127, mar. 2019. DOI: 10.11606/issn.2316-9095.v19-134534.

NOCE, T. S. Proposta de zoneamento geotécnico de cavidades naturais em formações ferríferas. 2016. 203 f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2016.

OLIVEIRA, O. A. B. et al. Caracterização da unidade espeleológica e das unidades geomorfológicas da região do Quadrilátero Ferrífero – MG. *Revista Espeleo-Tema*, v. 22, n. 1, p. 41-60, 2011.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS – ONU. Transformando nosso mundo: a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável. Nova York: Nações Unidas, 2015. Resolução A/RES/70/1.

OURO PRETO (MG). Lei nº 75, de 31 de agosto de 1993. Cria o Parque Municipal Nossa Senhora da Lapa e dá outras providências. Ouro Preto: Prefeitura Municipal de Ouro Preto, 1993.

OURO PRETO (MG). Lei nº 695, de 12 de setembro de 2011. Define como Unidade de Proteção Integral, na categoria Monumento Natural Municipal, a área da Gruta da Nossa Senhora da Lapa. Ouro Preto: Prefeitura Municipal de Ouro Preto, 2011.

PALMSTRØM, A. The volumetric joint count: a useful and simple measure of the degree of jointing. In: CONGRESS OF THE INTERNATIONAL ASSOCIATION OF ENGINEERING GEOLOGY, 4., 1982, New Delhi. Proceedings [...]. New Delhi: IAEG, 1982. p. 221-228.

PALMSTRØM, A. RMI: a rock mass characterization system for rock engineering purposes. 1995. 400 f. Tese (Doutorado) – University of Oslo, Oslo, 1995.

PALMSTRØM, A. Measurements of and correlations between block size and rock quality designation (RQD). *Tunnelling and Underground Space Technology*, v. 20, n. 4, p. 362-377, 2005.

PAULA, A. Q. de et al. Natural caves empirical stability assessments: application of Laubscher's diagram and Barton's support graph. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MECÂNICA DAS ROCHAS, 8., 2018, Salvador. Anais [...]. Salvador: SBMR, 2018.

PAULA, H. C. de; SILVA, C. M. T. da; SANTOS, T. F.; MATTEO, D. E. G. de; GONTIJO, A. A. Caracterização, diagnóstico e cadastramento da Lapa de Antônio Pereira – MG. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ESPELEOLOGIA, 29., 2007, Ouro Preto. Anais [...]. Campinas: Sociedade Brasileira de Espeleologia, 2007. p. 221-229.

PINHEIRO, S. et al. O clima de Ouro Preto. In: SEMINÁRIO DE CLIMATOLOGIA GEOGRÁFICA, 6., 2004, Aracaju. Anais [...]. Aracaju: Universidade Federal de Sergipe, 2004.

PLANTUC CONSULTORIA SOCIOAMBIENTAL LTDA. Plano de Manejo Espeleológico da Gruta de Nossa Senhora da Conceição da Lapa: Antônio Pereira, Ouro Preto–MG: Encarte 1 – Diagnóstico. Belo Horizonte: Plantuc Consultoria Socioambiental Ltda., 2025a. 246 p.

PLANTUC CONSULTORIA SOCIOAMBIENTAL LTDA. Plano de Manejo Espeleológico da Gruta de Nossa Senhora da Conceição da Lapa: Antônio Pereira, Ouro Preto–MG: Encarte 2 – Planejamento, manejo e gestão espeleológica. Belo Horizonte: Plantuc Consultoria Socioambiental Ltda., 2025b. 91 p.

SPIX, J. B. von; MARTIUS, C. F. P. von. Travels in Brazil, in the years 1817-1820: undertaken by command of His Majesty the King of Bavaria. London: Longman, Hurst, Rees, Orme, Brown, and Green, 1824. v. 1.

SZUNYOGH, G. Stability assessment of caves and its results. *Óbuda University e-Bulletin*, v. 1, n. 1, p. 243-251, 2010.

VALENTIM, R. F. Classificação geomecânica da cavidade natural subterrânea BRU_0005, município de São Gonçalo do Rio Abaixo, MG. 2016. 152 f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2016.

VENDRAMINI, G. V. Relatório da análise de riscos de acidentes aos visitantes em grutas do DF/GO. Brasília: CECAV/IBAMA, 2006.

WYLLIE, D. C.; MAH, C. W. Rock slope engineering: civil and mining. 4. ed. New York: Spon Press, 2004.

ANEXO A – CRITÉRIOS DE CARACTERIZAÇÃO DA ROCHA INTACTA E DAS DESCONTINUIDADES

Tabela A1 - Critérios para classificação do grau de alteração da rocha, adaptado de ISRM (1981).

Classe	Termo	Descrição
W6	Solo residual	Todo o material está alterado para solo. Estrutura original da rocha está preservada.
W5	Rocha completamente alterada	Alteração mineralógica muito acentuada. Cores bastantes modificadas. Possível presença de núcleos rochosos menos alterados.
W4	Rocha muito alterada	Descolorização generalizada, mas ainda com características da rocha.
W3	Rocha moderadamente alterada	A matriz apresenta-se descolorida com evidências de oxidação, caulinição, etc.
W2	Rocha pouco alterada	Alteração mineralógica perceptível. Cores esmaecidas. Perda de brilho dos minerais.
W1	Rocha Sã	Alteração mineralógica nula a incipiente. Minerais preservam características originais e brilho, cor clivagem.

Tabela A2 - Critérios para classificação do grau de coerência da rocha, adaptado de Noce (2016).

Siglas	Denominação	Característica
C1	Muito coerente	Quebra com dificuldade ao golpe do martelo produzindo fragmentos de bordas cortantes. Superfície dificilmente riscável por lâmina de aço. Somente escavável a fogo.
C2	Coerente	Quebra com dificuldade ao golpe do martelo. Superfície riscável com lâmina de aço. Escavável a fogo.
C3	Pouco coerente	Quebra com facilidade ao golpe do martelo produzindo fragmentos que podem ser partidos manualmente. Superfície facilmente riscável com lâmina de aço. Escarificável.
C4	Friável	Quebra com pressão dos dedos desagregando-se. Pode ser cortada com lâmina de aço. Friável e escavável com lâmina.

Tabela A3 - Critérios para classificação da resistência da rocha intacta e pontuação correspondente no sistema RMR adaptado de ISRM (1981) e Bieniawski (1989).

Grau	Característica	Resistência Compressão Uniaxial (MPa)	Pontuação RMR	Descrição em campo
R6	Extremamente resistente	> 250	15	Material rochoso é somente lascado sob repetidos golpes de martelo.
R5	Muito resistente	100 a 250	12	Requer várias batidas de martelo para quebrar a rocha intacta gerando fragmentos com bordas cortantes; Não é riscável pelo canivete;
R4	Rochas resistentes	50 a 100	7	Espécies quebradas por alguns golpes de martelo; superfície dificilmente riscável pelo canivete; Escavável a fogo.
R3	Rochas mediantemente resistentes	25 a 50	4	Golpe firme com o martelo de geólogo quebra a rocha; o canivete apenas risca a superfície. Escavável a fogo.
R2	Rochas brandas	5 a 25	2	Quebra-se com um único golpe de martelo; As bordas dos fragmentos podem ser quebradas pela pressão dos dedos. O canivete corta o material. Escavação mecanizada.
R1	Rochas muito brandas	1 a 5	1	Esfarelamento sobre um golpe firme com o martelo de geólogo, pode ser conformado pelo canivete; Desplacamentos ao longo da foliação sob pressão dos dedos; Escavação mecanizada.
R0	Solos estruturados a rochas muito brandas	< 1	0	Penetrada pela ponta do dedo polegar; moldada pelas mãos; facilmente penetrada pelo canivete e martelo de geólogo; Escavada por equipamento manual.

Tabela A4 - Critérios para classificação do grau de fraturamento do maciço rochoso, adaptado de ISRM (1981).

Categoria	Espaçamento médio das fraturas (cm)	Nº de Fraturas por metro	Descrição
1	> 200	<0,5	Maciço
2	200-60	0,5-2	Pouco Fraturado
3	60-20	2-5	Medianamente Fraturado
4	20-6	5-17	Muito Fraturado
5	<6	>17	Extremamente Fraturado

Tabela A5 - Critérios para classificação da persistência das discontinuidades e pontuação correspondente no sistema RMR, adaptado de ISRM (1981) e Bieniawski (1989).

Persistência	Intervalo (m)	Pontuação RMR
	< 1	6
	1- 3	4
	3-10	2
	10-20	1
	>20	0

Tabela A6 - Critérios para classificação da abertura das discontinuidades e pontuação correspondente no sistema RMR, adaptado de ISRM (1981) e Bieniawski (1989).

Abertura	Intervalo (mm)	Pontuação RMR
	Fechada	6
	<0,1	5
	0,1-1	4
	1-5	1
	>5	0

Tabela A7 - Critérios para classificação do preenchimento das discontinuidades e pontuação correspondente no sistema RMR, adaptado de ISRM (1981) e Bieniawski (1989).

Preenchimento	Intervalo (mm)	Pontuação RMR
	Nenhum	6
	Enchimento duro < 5 mm	4
	Enchimento duro > 5 mm	2
	Enchimento mole < 5 mm	2
	Enchimento mole > 5 mm	0

Tabela A8 - Critérios para classificação da rugosidade das discontinuidades e pontuação correspondente no sistema RMR, adaptado de ISRM (1981) e Bieniawski (1989).

Rugosidade	Tipo	Pontuação RMR
	Muito rugoso	6
	Rugoso	5
	Ligeiramente rugoso	3
	Macio	1
	Liso	0

Tabela A9 - Critérios para classificação do grau de alteração das paredes das discontinuidades e pontuação correspondente no sistema RMR, adaptado de ISRM (1981) e Bieniawski (1989).

Alteração	Tipo	Pontuação RMR
	Inalterada	6
	Ligeiramente alterada	5
	Moderadamente alterada	3
	Muito alterada	1
	Decompоста	0

Tabela A10 - Critérios para classificação das condições hidrológicas do maciço e pontuação correspondente no sistema RMR, adaptado de Bieniawski (1989).

Água Subterrânea	Tipo	Pontuação RMR
	Completamente seco	15
	Ligeiramente úmido	10
	Úmido	7
	Gotejante	4
	Fluente	0

ANEXO B – CRITÉRIOS UTILIZADOS NOS ÍNDICES RQD, RMR, Q-SYSTEM

Tabela B1 - Critérios de classificação do RQD e pontuação correspondente no sistema RMR, adaptado de Palmström (1982) e Bieniawski (1989).

Descrição da Qualidade do Maciço		RQD (%)	RMR
A	Muito pobre	0 - 25	3
B	Pobre	25 - 50	8
C	Razoável	50 - 75	13
D	Bom	75 - 90	17
E	Excelente	90 - 100	20

Tabela B2 - Classes de qualidade do maciço rochoso segundo o sistema RMR, adaptado de Bieniawski (1989).

Peso	<21	21 a 40	41 a 60	61 a 80	81 a 100
Classe	V	IV	III	II	I
Descrição	Rocha de muita má qualidade	Rocha de má qualidade	Rocha de qualidade razoável	Rocha de boa qualidade	Rocha de muito boa qualidade

Tabela B3 - Critérios para atribuição do parâmetro Jn no sistema Q, adaptado de Barton et al. (1974).

Jn	Condições de compartimento do maciço	Valores de Jn
	Descontinuidades aleatórias ou ausentes	0,5 a 1
	Uma família de descontinuidades	2
	Uma família mais descontinuidades aleatórias	3
	Duas famílias de descontinuidades	4
	Duas famílias mais descontinuidades aleatórias	6
	Três famílias de descontinuidades	9
	Três famílias mais descontinuidades aleatórias	12
	Quatro ou mais famílias de descontinuidades	15
	Rocha completamente fragmentada	20

Tabela B4 - Critérios para atribuição do parâmetro Jr no sistema Q, adaptado de Barton et al. (1974).

Jr	Descontinuidades sem deslocamento relativo ou < 10 cm.	
	Condições das descontinuidades	Valores de Jr
	Superfície rugosa descontínua	4
	Superfície rugosa ondulada	4
	Superfície lisa ondulada	2
	Superfície rugosa plana	1,5
	Superfície lisa plana	0,5
	Descontinuidades sem deslocamento relativo > 10 cm ou sem contato com as paredes	
	Preenchida com minerais argilosos	1
	Preenchida por areia, cascalho ou zonas esmagadas	1

Tabela B5 - Critérios para atribuição do parâmetro Ja no sistema Q, adaptado de Barton et al. (1974).

Ja	Descontinuidades sem deslocamento relativo ou < 10 cm, descontinuidades sem deslocamento relativo ou contato rocha-rocha entre as paredes das descontinuidades.	
	Condição da alteração das paredes	Valores de Ja
	Paredes duras, compactas, preenchimento com materiais impermeáveis	0,75
	Paredes sem alteração, pigmentação superficial incipiente	1
	Paredes levemente alteradas, preenchimento com materiais abrasivos	2
	Paredes com películas siltosas ou areno-argilosas	3
	Paredes com películas de materiais moles ou com baixo ângulo de atrito e pequena quantidade de minerais expansivos.	4
	Descontinuidades com deslocamento relativo < 10 cm ou contato rocha-rocha entre as paredes das descontinuidades	
	Paredes com partículas de areia, sem argila	4
	Descontinuidades com preenchimento argiloso bem consolidado	6
	Descontinuidades com preenchimento argiloso pouco consolidado	8
	Descontinuidades com preenchimento argiloso expansivo.	8-12
	Descontinuidades com deslocamento relativo > 10 cm ou não há contato entre as paredes das descontinuidades.	
	Zonas com rochas desintegradas ou fragmentadas com argila.	6-8 ou 8-12
	Zonas siltosas ou areno-argilosas com pequenas frações de argila	5
	Zonas contínuas de argila	10-13 ou 13-20

Tabela B6 - Critérios para atribuição do parâmetro Jw no sistema Q, adaptado de Barton et al. (1974).

Jw	Condição	Valores de Jw
	Escavação seca ou com pequena influência de água	1
	Influência média de água com eventual carreamento do preenchimento	0,66
	Influência elevada de água em rochas competentes com descontinuidades não preenchidas	0,5
	Influência elevada de água com carreamento significativo do preenchimento	0,33
	Influência excepcionalmente elevada de água (ou jatos de pressão), com decaimento com o tempo	0,2 - 0,1
	Influência excepcionalmente elevada de água (ou jatos de pressão), sem decaimento com o tempo	0,1 - 0,05

Tabela B7 - Critérios para atribuição do fator de redução por tensões SRF no sistema Q, adaptado de Barton et al. (1974).

SRF	Descontinuidades sem deslocamento relativo ou < 10 cm, descontinuidades sem deslocamento relativo ou contato rocha-rocha entre as paredes das descontinuidades.	
	Condição da alteração das paredes	Valores de SRF
	Zonas de fraqueza frequentes contendo argila ou rocha decomposta quimicamente; maciço rochoso envolvente muito descomprimido (todas as profundidades)	10
	Zonas de fraqueza individuais contendo argila ou rocha decomposta quimicamente (profundidades da escavação ≤ 50 m)	5
	Zonas de fraqueza individuais, contendo argila ou rocha decomposta Quimicamente (profundidades da escavação > 50 m)	2,5
	Numerosas zonas de corte em rocha competente, sem argila; rocha envolvente descomprimida (todas as profundidades)	7,5
	Zonas individuais de corte em rocha competente, sem argila (profundidades da escavação ≤ 50 m)	5
	Zonas individuais de corte em rocha rígida, sem argila (profundidades da escavação > 50 m)	2,5
	Juntas abertas, rocha muito fraturada e descomprimida (todas as profundidades)	5
	Rocha competente, problemas de tensões na rocha	
	Condição da alteração das paredes	Valores de SRF
	Tensões baixas, próximo da superfície	2,5
	Tensões médias	1
	Tensões altas, estrutura rochosa muito fechada (usualmente favorável para a estabilidade; pode ser desfavorável para a estabilidade das paredes)	5 - 2
	Explosões moderadas de rochas (rocha maciça)	5 - 10
	Explosões intensas de rochas (rocha maciça)	10 - 20
	Rocha esmagada: plastificação de rochas incompetentes sob a influência de altas pressões de rocha	
	Condição da alteração das paredes	Valores de SRF
	Pressão moderada da rocha esmagada	6-8 ou 8-12
	Pressão elevada da rocha esmagada	5
SRF	Rochas expansivas: atividade química expansiva devida à presença da água	
	Condição da alteração das paredes	Valores de SRF
	Pressão de expansão moderada	5 - 10
	Pressão de expansão elevada	10 - 20

Tabela B8 - Classes de qualidade do maciço rochoso segundo o índice Q, adaptado de Barton et al. (1974).

Classe	Padrão Geomecânico	Q
I	Excelente	> 400
II	Ótimo	100 – 400
III	Muito bom	40 – 100
IV	Bom	10 – 40
V	Regular	4 – 10
VI	Ruim	1 – 4
VII	Muito ruim	0,1 – 1
VIII	Extremamente ruim	0,01 – 0,1
IX	Péssimo	0,0001 – 0,01

APÊNDICE A – CRITÉRIOS DE ZONEAMENTO GEOTÉCNICO

Tabela A25- Pontuação da qualidade geomecânica do maciço com base no Índice Q

Classe do Índice Q	Descrição da qualidade do maciço	Pontuação
$(Q < 0,1)$	Muito ruim a extremamente ruim	0
$(0,1 \leq Q < 1)$	Ruim	10
$(1 \leq Q < 4)$	Regular	20
$(4 \leq Q < 10)$	Bom	30
$(Q \leq 10)$	Muito bom a excepcional	40

Fonte: elaborado pelo autor (2026), com base em Noce (2016) e Barton et al. (1974).

Tabela A26 - Pontuação dos mecanismos potenciais de ruptura

Condição ou mecanismo potencial	Pontuação
Baixa suscetibilidade à ocorrência de rupturas	15
Suscetibilidade à ocorrência de deslizamento de blocos	10
Suscetibilidade à ocorrência de queda de blocos	5
Suscetibilidade à ocorrência combinada de deslizamento e queda de blocos	0

Fonte: elaborado pelo autor (2026), com base em Noce (2016).

Tabela A27 - Pontuação da condição hidrológica

Condição hidrológica	Pontuação
Completamente seco	15
Ligeiramente úmido	12
Úmido	9
Gotejante	6
Fluente	3

Fonte: adaptado de Noce (2016).

Tabela 28 - Pontuação da possibilidade de movimentação de sedimentos

Possibilidade de movimentação de sedimentos	Pontuação
Baixa	15
Média	10
Alta	5

Fonte: adaptado de Noce (2016).

Tabela 29 - Pontuação da estabilidade dos vãos

Condição de estabilidade do vão	Pontuação
Estável	15
Transição	10
Colapso	5

Fonte: elaborado pelo autor (2026), com base em Noce (2016) e Jordá-Bordehore (2017).

Tabela 30 - Penalização aplicada em função do mecanismo potencial das feições de instabilidade

Mecanismo atribuído à feição	Pontuação (P_i)	Penalização ($= 15 - M_i$)
Baixa suscetibilidade à ocorrência de rupturas	15	0
Deslizamento de blocos	10	5
Queda de blocos	5	10
Deslizamento e queda de blocos	0	15

Fonte: elaborado pelo autor (2026).

Tabela 31 - Classes absolutas de suscetibilidade geotécnica

Suscetibilidade geotécnica	Intervalo de pontuação
Muito alta	0 a 20
Alta	21 a 40
Média	41 a 60
Baixa	61 a 80
Muito baixa	81 a 100

Fonte: adaptado de Noce (2016).

Tabela 32 - Classes relativas de suscetibilidade geotécnica da Lapa de Antônio Pereira

Suscetibilidade geotécnica relativa	Intervalo de pontuação
Baixa	66 a 80
Média	56 a 65
Alta	50 a 55
Muito alta	43 a 49

Fonte: elaborado pelo autor (2026).

APÊNDICE B – CRITÉRIOS UTILIZADOS NA ANÁLISE DO RISCO GEOTÉCNICO

Tabela 33 - Classes de suscetibilidade geotécnica utilizadas no domínio interno

Classe de suscetibilidade geotécnica	Pontuação final do zoneamento
Baixa	66 a 80
Média	56 a 65
Alta	50 a 55
Muito alta	43 a 49

Fonte: elaborado pelo autor (2026).

Tabela 34 - Classes de frequência utilizadas no domínio externo/transicional

Classe	Frequência	Periodicidade
1	Baixa	Evento extremamente raro ou raro, com ocorrência inferior a uma vez a cada 10 anos
2	Média	Evento ocasional, com ocorrência estimada entre uma vez por ano e uma vez a cada 10 anos
3	Alta	Evento frequente, com possibilidade de ocorrência várias vezes por ano
4	Muito alta	Evento muito frequente ou recorrente

Fonte: adaptado de ITA (2004) e Candido (2010).

Tabela 35 - Classes de severidade das consequências

Classe	Severidade	Descrição
1	Baixa	Pequenos desprendimentos, sem ferimentos ou com danos materiais pouco significativos. Exposição reduzida, com poucas pessoas, passagem rápida ou possibilidade imediata de afastamento.
2	Média	Desprendimentos localizados capazes de causar pequenos ferimentos ou danos menores às estruturas. Exposição limitada, associada à passagem frequente ou à permanência de grupos reduzidos.
3	Alta	Queda de blocos capaz de provocar ferimentos graves, incapacidade temporária, danos relevantes às estruturas ou interdição parcial da cavidade. Exposição associada à permanência prolongada ou à concentração de pessoas.
4	Muito alta	Colapso parcial ou queda de blocos de grande porte, com possibilidade de óbito, múltiplos feridos graves, danos ao patrimônio ou interdição prolongada. Exposição elevada, com grande concentração de pessoas ou dificuldade de afastamento.

Fonte: elaborado pelo autor (2026), com base em Eskesen et al. (2004), Candido (2010), ABGE (2025) e PLANTUC (2025).

Tabela 36 - Matriz de classificação do risco geotécnico

Possibilidade relativa de ocorrência	Severidade			
	Baixa	Média	Alta	Muito alta
Muito alta	Alto	Alto	Crítico	Crítico
Alta	Moderado	Alto	Alto	Crítico
Média	Moderado	Moderado	Alto	Crítico
Baixa	Baixo	Moderado	Moderado	Alto

Fonte: adaptado de ABGE (2025).

Tabela 37 - Correspondência entre os níveis de risco e as classes de aceitabilidade

Nível de risco geotécnico	Classe de aceitabilidade
Crítico	Inaceitável
Alto	Indesejado
Moderado	Aceitável
Baixo	Negligenciável

Fonte: elaborado pelo autor (2026), com base em ABGE (2025).

Tabela 38 - Níveis de aceitabilidade do risco e ações necessárias

Nível de aceitabilidade	Ação necessária
Inaceitável	O risco deve ser reduzido obrigatoriamente, independentemente dos custos envolvidos.
Indesejado	Devem ser identificadas e aplicadas medidas de mitigação.
Aceitável	O risco deve ser monitorado ao longo do tempo, mas não exige medidas adicionais de mitigação.
Negligenciável	Nenhuma ação adicional é necessária.

Fonte: adaptado de ABGE (2025).

APÊNDICE C - INVENTÁRIO E CARACTERIZAÇÃO DAS FEIÇÕES DE INSTABILIDADE DA LAPA DE ANTÔNIO PEREIRA

Tabela C 1 - Caracterização espacial, geométrica e estrutural das feições de instabilidade inventariadas na Lapa de Antônio Pereira.

Ponto	Tipo de feição	Localização aproximada	Posição	Nº Faces	P1	Dir	Dip	P2	Dir	Dip	P3	Dir	Dip
I-01	Bloco solto	Entrada	Parede	Não se aplica	-	-	-	-	-	-	-	-	-
I-02	Bloco individualizado	Pórtico	Teto	3	F1	278	63	F2	175	82	Sn	40	50
I-03	Bloco individualizado	Pórtico	Teto	2	F1	278	63	F1	278	63	-	-	-
I-04	Espeleotema	Salão da Capela	Teto/parede	Não se aplica	-	-	-	-	-	-	-	-	-
I-05	Pendente	Salão da Capela	Teto	1	S0	36	27	-	-	-	-	-	-
I-06	Pendente	Ramificação esquerda	Teto	2	S0	36	27	F2	175	82	-	-	-
I-07	Pendente	Ramificação esquerda	Teto	1	Sn	40	50	-	-	-	-	-	-
I-08	Espeleotema	Ramificação direita	Suspenso	Não se aplica	-	-	-	-	-	-	-	-	-
I-09	Bloco individualizado	Ramificação direita	Teto/parede	1	F1	278	63	-	-	-	-	-	-
I-10	Bloco individualizado	Ramificação direita	Suspenso	2	F1	278	63	F1	278	63	-	-	-
I-11	Bloco individualizado	Salão da Capela	Teto	2	F1	278	63	S0	36	27	-	-	-
I-12	Pontões	Salão da Capela	Teto	1	F2	175	82	-	-	-	-	-	-
I-13	Pontões	Salão da Capela	Teto	Não definido	-	-	-	-	-	-	-	-	-
I-14	Bloco individualizado	Salão da Capela	Teto	3	F1	278	63	S0	36	27	F1	278	63
I-15	Espeleogen/pendente	Salão da Capela	Teto	1	Sn	40	50	-	-	-	-	-	-
I-16	Espeleogen/pendente	Salão da Capela	Teto	1	Sn	40	50	-	-	-	-	-	-
I-17	Espeleotema	Salão da Capela	Teto	Não se aplica	-	-	-	-	-	-	-	-	-
I-18	Pontões	Salão da Capela	Teto	1	Sn	40	50	-	-	-	-	-	-
I-19	Pontões	Salão das Velas	Teto	Não definido	-	-	-	-	-	-	-	-	-
I-20	Bloco solto	Passagem da caixa d'água	Piso/parede	Não se aplica	-	-	-	-	-	-	-	-	-
I-21	Pendente	Passagem da caixa d'água	Teto	1	Sn	40	50	-	-	-	-	-	-
I-22	Pendente	Rampa de subida	Teto/parede	1	F2	175	82	-	-	-	-	-	-
I-23	Veio de calcita	Rampa de subida	Parede	Não se aplica	-	-	-	-	-	-	-	-	-
I-24	Pontões	Rampa de subida	Teto	Não definido	-	-	-	-	-	-	-	-	-
I-25	Pontões	Rampa de subida	Parede	1	Sn	40	50	-	-	-	-	-	-

I-26	Bloco individualizado	Rampa de descida	Teto	2	F2	175	82	F2	175	82	-	-	-
I-27	Bloco individualizado	Rampa de descida	Teto	3	F2	175	82	S0	36	27	F2	175	82
I-28	Pendente	Rampa de descida	Teto	1	S0	36	27	-	-	-	-	-	-
I-29	Bloco individualizado	Rampa de descida	Teto	2	F1	278	63	F1	278	63	-	-	-
I-30	Espeleotema	Salão dos Sedimentos	Teto	Não se aplica	-	-	-	-	-	-	-	-	-
I-31	Bloco individualizado	Salão dos Sedimentos	Teto	3	F1	278	63	F1	278	63	-	-	-
I-32	Espeleotema	Salão dos Sedimentos	Teto	Não se aplica	-	-	-	-	-	-	-	-	-
I-33	Bloco individualizado	Salão final	Parede	3	Sn	40	50	F1	278	63	-	-	-
I-34	Veio de calcita	Salão final	Parede	Não se aplica	-	-	-	-	-	-	-	-	-
I-35	Bloco individualizado	Salões finais / ramificações finais	Teto/parede	Não se aplica	-	-	-	-	-	-	-	-	-
E-01	Bloco solto externo	Rampa de entrada	Parede	Não se aplica	-	-	-	-	-	-	-	-	-
E-02	Torre residual/calcária	Entrada	Parede / fachada	Não se aplica	-	-	-	-	-	-	-	-	-
E-03	Bloco individualizado	Entrada	Parede	2	F2	175	82	Sn	40	50	-	-	-
E-04	Bloco solto externo	Entrada	Parede	Não se aplica	-	-	-	-	-	-	-	-	-
E-05	Bloco individualizado	Pórtico	Teto	1	F1	278	63	-	-	-	-	-	-
E-06	Bloco individualizado	Pórtico	Teto	3	F1	278	63	F2	175	82	Sn	40	50
E-08	Pontões	Pórtico	Teto	1	F1	278	63	-	-	-	-	-	-
E-09	Bloco individualizado	Pórtico	Teto	3	F1	278	63	F2	175	82	S0	36	27
E-11	Bloco individualizado	Entrada	Parede	2	F1	278	63	F2	175	82	-	-	-

Tabela C 2 - Caracterização geotécnica, mecanismos definidos e trajetórias prováveis de movimentação das feições de instabilidade inventariadas na Lapa de Antônio Pereira.

Ponto	Tipo de feição	Mecanismo definido	Trajectoria provável	Água	Preenchimento	Abertura	Tamanho estimado	Rugosidade
I-01	Bloco solto	Deslocamento de bloco solto	Queda com ricochete local	Seco	Não se aplica	Não se aplica	Médio	Não se aplica
I-02	Bloco individualizado	Ruptura em cunha	Queda vertical curta	Seco	Sem preenchimento	0,1 a 1 mm	Médio	Ondulada
I-03	Bloco individualizado	Desplacamento planar	Queda oblíqua curta	Seco	Sem preenchimento	> 5 mm	Grande	Lisa
I-04	Espeleotema	Queda de espeleotema	Queda vertical curta	Seco	Não se aplica	Não se aplica	Médio	Não se aplica

I-05	Pendente	Queda de pendente	Queda vertical curta	Seco	Sem preenchimento	0,1 a 1 mm	Muito grande	Lisa
I-06	Pendente	Ruptura em cunha	Queda vertical curta	Seco	Sem preenchimento	0,1 a 1 mm	Grande	Lisa
I-07	Pendente	Desplacamento planar	Queda vertical curta	Seco	Espeleotema	0,1 a 1 mm	Grande	Não definida
I-08	Espeleotema	Queda de espeleotema	Queda vertical curta	Seco	Não se aplica	Não se aplica	Pequeno	Não se aplica
I-09	Bloco individualizado	Desplacamento planar	Queda vertical curta	Seco	Sem preenchimento	0,1 a 1 mm	Médio	Rugosa
I-10	Bloco individualizado	Queda de bloco	Queda vertical curta	Seco	Sem preenchimento	0,1 a 1 mm	Médio	Rugosa
I-11	Bloco individualizado	Tombamento	Tombamento com queda frontal	Seco	Sem preenchimento	> 5 mm	Médio	Rugosa
I-12	Pontões	Lascamento local	Queda vertical curta	Seco	Sem preenchimento	Sem abertura	Grande	Não se aplica
I-13	Pontões	Desplacamento planar	Queda vertical curta	Seco	Não definido	Não definido	Grande	Não definida
I-14	Bloco individualizado	Desplacamento planar	Queda vertical curta	Seco	Não definido	Não definido	Grande	Não definida
I-15	Espeleogen/pendente	Desplacamento planar	Queda vertical curta	Seco	Não definido	Não definido	Médio	Não definida
I-16	Espeleogen/pendente	Desplacamento planar	Queda vertical curta	Seco	Não definido	Não definido	Grande	Não definida
I-17	Espeleotema	Queda de espeleotema	Queda vertical curta	Úmido	Não se aplica	Não se aplica	Médio	Não se aplica
I-18	Pontões	Lascamento local	Queda vertical curta	Seco	Sem preenchimento	Sem abertura	Pequeno	Não definida
I-19	Pontões	Queda de bloco	Queda vertical curta	Seco	Não se aplica	Não se aplica	Grande	Não se aplica
I-20	Bloco solto	Perda de suporte basal	Rolamento curto	Úmido	Não se aplica	Não se aplica	Médio	Não se aplica
I-21	Pendente	Desplacamento planar	Queda vertical curta	Úmido	Sem preenchimento	Sem abertura	Grande	Não definida
I-22	Pendente	Desplacamento planar	Queda com ricochete local	Úmido	Sem preenchimento	Sem abertura	Grande	Não definida
I-23	Veio de calcita	Queda de bloco	Queda com ricochete local	Úmido	Não se aplica	Não se aplica	Pequeno	Não se aplica
I-24	Pontões	Queda de bloco	Queda com ricochete local	Úmido	Não definido	Não definido	Grande	Não definida

I-25	Pontões	Desplacamento planar	Queda vertical curta	Seco	Sem preenchimento	Sem abertura	Médio	Não definida
I-26	Bloco individualizado	Queda de bloco	Queda com ricochete local	Seco	Sem preenchimento	0,1 a 1 mm	Médio	Não definida
I-27	Bloco individualizado	Ruptura em cunha	Queda com ricochete local	Úmido	Sem preenchimento	< 0,1 mm	Pequeno	Lisa
I-28	Pendente	Desplacamento planar	Queda vertical curta	Úmido	Sem preenchimento	Sem abertura	Grande	Não se aplica
I-29	Bloco individualizado	Desplacamento planar	Queda vertical curta	Úmido	Argila	1 a 5 mm	Grande	Não definida
I-30	Espeleotema	Queda de espeleotema	Queda com ricochete local	Escorrimento	Não se aplica	Não se aplica	Grande	Não se aplica
I-31	Bloco individualizado	Queda de bloco	Queda com ricochete local	Úmido	Não definido	Não definido	Muito grande	Não definida
I-32	Espeleotema	Queda de espeleotema	Queda com ricochete local	Úmido	Não se aplica	Não se aplica	Grande	Não se aplica
I-33	Bloco individualizado	Ruptura em cunha	Queda com ricochete local	Úmido	Sem preenchimento	Sem abertura	Pequeno	Não se aplica
I-34	Veio de calcita	Queda de bloco	Queda vertical curta	Úmido	Não se aplica	Não se aplica	Pequeno	Não se aplica
I-35	Bloco individualizado	Perda de suporte basal	Rolamento longo	Úmido	Não se aplica	Não se aplica	Muito grande	Não se aplica
E-01	Bloco solto externo	Perda de suporte basal	Rolamento longo	Seco	Não se aplica	Não se aplica	Muito grande	Não se aplica
E-02	Torre residual/calcária	Perda de suporte basal	Rolamento longo	Seco	Não se aplica	Não se aplica	Muito grande	Não se aplica
E-03	Bloco individualizado	Ruptura em cunha	Queda com ricochete local	Seco	Sem preenchimento	< 0,1 mm	Grande	Não definida
E-04	Bloco solto externo	Deslocamento de bloco solto	Queda com ricochete local	Seco	Não se aplica	Não se aplica	Médio	Não se aplica
E-05	Bloco individualizado	Desplacamento planar	Queda vertical curta	Seco	Sem preenchimento	< 0,1 mm	Médio	Rugosa
E-06	Bloco individualizado	Ruptura em cunha	Queda vertical curta	Seco	Sem preenchimento	> 5 mm	Grande	Rugosa
E-08	Pontões	Desplacamento planar	Queda vertical curta	Seco	Sem preenchimento	Sem abertura	Grande	Não se aplica
E-09	Bloco individualizado	Ruptura em cunha	Queda vertical curta	Seco	Sem preenchimento	> 5 mm	Grande	Rugosa

E-11	Bloco individualizado	Ruptura em cunha	Queda oblíqua curta	Seco	Sem preenchimento	> 5 mm	Muito grande	Rugosa
------	-----------------------	------------------	---------------------	------	-------------------	--------	--------------	--------

APÊNDICE D - FICHAS INDIVIDUAIS DE CARACTERIZAÇÃO E AVALIAÇÃO DO RISCO DAS FEIÇÕES DE INSTABILIDADE

I-01



Registros fotográficos da feição I-01. Fonte: MECROC (2020).

Tipo de feição	Bloco solto	Região funcional	Zona externa
Localização	Entrada	Posição	Parede
Descrição sintética	Bloco com condição iminente de queda		
Faces conectadas ao maciço	Não se aplica		
Nº de faces de contato	Não se aplica	Tamanho estimado	Médio
Plano 1	—	Plano 2	—
Plano 3	—	Abertura	Não se aplica
Rugosidade	Não se aplica	Preenchimento	Não se aplica
Água	Seco	Mecanismo definido	Deslocamento de bloco solto
Trajетória provável de queda	Queda com ricochete local	Área de influência sugerida (m)	3
Possibilidade de ocorrência	Muito provável	Probabilidade/Frequência estimada	Alta
Pontuação zoneamento (mecanismo)	5	Potencial de dano físico	Alto

Cenário de uso público	Exposição	Consequência	Risco
Religioso/Missa	Alta	Muito alta / crítica	Crítico
Jubileu/Eventos religiosos	Alta	Muito alta / crítica	Crítico
Turístico convencional	Média	Alta	Alto
Espeleoturístico	Baixa	Média	Alto
Educativo	Média	Alta	Alto

Vistoria rápida	Manutenção de rotina	Intervenção prolongada
Alto	Alto	Crítico

Risco máximo por visita pública	Crítico
Cenário determinante (visita pública)	Religioso/Missa; Jubileu/Eventos religiosos
Ação norteadora	Avaliar interdição preventiva, desvio de circulação ou intervenção técnica antes de uso intenso.

I-02



Registros fotográficos da feição I-02. Fonte: MECROC (2020).

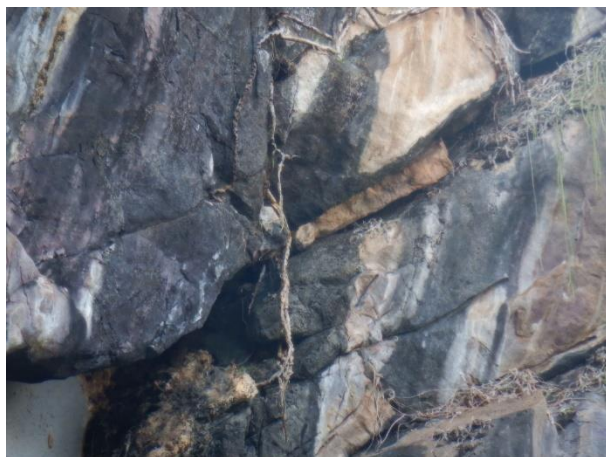
Tipo de feição	Bloco individualizado	Região funcional	Zona externa
Localização	Pórtico	Posição	Teto
Descrição sintética	Bloco individualizado por descontinuidades		
Faces conectadas ao maciço	lateral por F1; posterior F2; /teto por Sn; faces livres voltadas ao acesso		
Nº de faces de contato	3	Tamanho estimado	Médio
Plano 1	F1 (278°/63°)	Plano 2	F2 (175°/82°)
Plano 3	Sn (40°/50°)	Abertura	0,1 a 1 mm
Rugosidade	Ondulada	Preenchimento	Sem preenchimento
Água	Seco	Mecanismo definido	Ruptura em cunha
Trajectoria provável de queda	Queda vertical curta	Área de influência sugerida (m)	2
Possibilidade de ocorrência	Possível	Probabilidade/Frequência estimada	Baixa a média
Pontuação zoneamento (mecanismo)	0	Potencial de dano físico	Médio

Cenário de uso público	Exposição	Consequência	Risco
Religioso/Missa	Alta	Alta	Moderado
Jubileu/Eventos religiosos	Alta	Alta	Moderado
Turístico convencional	Média	Média	Moderado
Espeleoturístico	Baixa	Baixa	Baixo
Educativo	Média	Média	Moderado

Vistoria rápida	Manutenção de rotina	Intervenção prolongada
Baixo	Moderado	Moderado

Risco máximo por visita pública	Moderado
Cenário determinante (visita pública)	Religioso/Missa; Jubileu/Eventos religiosos; Turístico convencional; Educativo
Ação norteadora	Monitoramento, sinalização e controle de permanência no setor.

I-03



Registros fotográficos da feição I-03. Fonte: MECROC (2020).

Tipo de feição	Bloco individualizado	Região funcional	Zona externa
Localização	Pórtico	Posição	Teto
Descrição sintética	Bloco individualizado por descontinuidades		
Faces conectadas ao maciço	lateral não identificada; posterior F1; teto F1; face livre voltada ao acesso		
Nº de faces de contato	2	Tamanho estimado	Grande
Plano 1	F1 (278°/63°)	Plano 2	F1 (278°/63°)
Plano 3	—	Abertura	> 5 mm
Rugosidade	Lisa	Preenchimento	Sem preenchimento
Água	Seco	Mecanismo definido	Deslocamento planar
Trajetória provável de queda	Queda oblíqua curta	Área de influência sugerida (m)	4
Possibilidade de ocorrência	Possível	Probabilidade/Frequência estimada	Baixa a média
Pontuação zoneamento (mecanismo)	10	Potencial de dano físico	Alto

Cenário de uso público	Exposição	Consequência	Risco
Religioso/Missa	Alta	Muito alta / crítica	Alto
Jubileu/Eventos religiosos	Alta	Muito alta / crítica	Alto
Turístico convencional	Média	Alta	Moderado
Espeleoturístico	Baixa	Média	Moderado
Educativo	Média	Alta	Moderado

Vistoria rápida	Manutenção de rotina	Intervenção prolongada
Moderado	Moderado	Alto

Risco máximo por visita pública	Alto
Cenário determinante (visita pública)	Religioso/Missa; Jubileu/Eventos religiosos
Ação norteadora	Priorizar inspeção técnica, sinalização, controle de permanência e avaliação de restrição/ajuste de rota.

I-04



Registros fotográficos da feição I-04. Fonte: MECROC (2020).

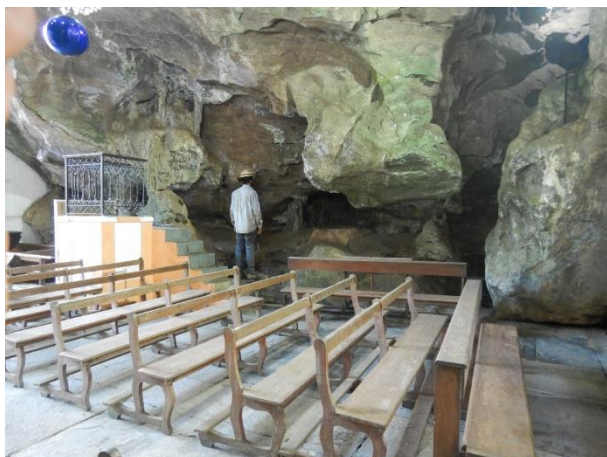
Tipo de feição	Espeleotema	Região funcional	Região da Capela
Localização	Salão da Capela	Posição	Teto/parede
Descrição sintética	Espeleotema		
Faces conectadas ao maciço	Não se aplica		
Nº de faces de contato	Não se aplica	Tamanho estimado	Médio
Plano 1	—	Plano 2	—
Plano 3	—	Abertura	Não se aplica
Rugosidade	Não se aplica	Preenchimento	Não se aplica
Água	Seco	Mecanismo definido	Queda de espeleotema
Trajectoria provável de queda	Queda vertical curta	Área de influência sugerida (m)	2
Possibilidade de ocorrência	Pouco provável	Probabilidade/Frequência estimada	Baixa
Pontuação zoneamento (mecanismo)	5	Potencial de dano físico	Médio

Cenário de uso público	Exposição	Consequência	Risco
Religioso/Missa	Alta	Alta	Moderado
Jubileu/Eventos religiosos	Alta	Alta	Moderado
Turístico convencional	Média	Média	Baixo
Espeleoturístico	Baixa	Baixa	Baixo
Educativo	Média	Média	Baixo

Vistoria rápida	Manutenção de rotina	Intervenção prolongada
Baixo	Baixo	Moderado

Risco máximo por visita pública	Moderado
Cenário determinante (visita pública)	Religioso/Missa; Jubileu/Eventos religiosos
Ação norteadora	Monitoramento, sinalização e controle de permanência no setor.

I-05



Registros fotográficos da feição I-05. Fonte: MECROC (2020).

Tipo de feição	Pendente	Região funcional	Região da Capela
Localização	Salão da Capela	Posição	Teto
Descrição sintética	Pendente		
Faces conectadas ao maciço	teto por S0		
Nº de faces de contato	1	Tamanho estimado	Muito grande
Plano 1	S0 (36°/27°)	Plano 2	—
Plano 3	—	Abertura	0,1 a 1 mm
Rugosidade	Lisa	Preenchimento	Sem preenchimento
Água	Seco	Mecanismo definido	Queda de pendente
Trajectoria provável de queda	Queda vertical curta	Área de influência sugerida (m)	4
Possibilidade de ocorrência	Possível	Probabilidade/Frequência estimada	Baixa a média
Pontuação zoneamento (mecanismo)	5	Potencial de dano físico	Alto

Cenário de uso público	Exposição	Consequência	Risco
Religioso/Missa	Alta	Muito alta / crítica	Alto
Jubileu/Eventos religiosos	Alta	Muito alta / crítica	Alto
Turístico convencional	Média	Alta	Moderado
Espeleoturístico	Baixa	Média	Moderado
Educativo	Média	Alta	Moderado

Vistoria rápida	Manutenção de rotina	Intervenção prolongada
Moderado	Moderado	Alto

Risco máximo por visita pública	Alto
Cenário determinante (visita pública)	Religioso/Missa; Jubileu/Eventos religiosos
Ação norteadora	Priorizar inspeção técnica, sinalização, controle de permanência e avaliação de restrição/ajuste de rota.

I-06



Registros fotográficos da feição I-06. Fonte: MECROC (2020).

Tipo de feição	Pendente	Região funcional	Ramificações / zonas restritas
Localização	Ramificação esquerda	Posição	Teto
Descrição sintética	Pontão rochoso		
Faces conectadas ao maciço	teto por S0; lateral F2		
Nº de faces de contato	2	Tamanho estimado	Grande
Plano 1	S0 (36°/27°)	Plano 2	F2 (175°/82°)
Plano 3	—	Abertura	0,1 a 1 mm
Rugosidade	Lisa	Preenchimento	Sem preenchimento
Água	Seco	Mecanismo definido	Ruptura em cunha
Trajectoria provável de queda	Queda vertical curta	Área de influência sugerida (m)	3
Possibilidade de ocorrência	Possível	Probabilidade/Frequência estimada	Baixa a média
Pontuação zoneamento (mecanismo)	0	Potencial de dano físico	Alto

Cenário de uso público	Exposição	Consequência	Risco
Religioso/Missa	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica
Jubileu/Eventos religiosos	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica
Turístico convencional	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica
Espeleoturístico	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica
Educativo	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica

Vistoria rápida	Manutenção de rotina	Intervenção prolongada
Moderado	Moderado	Alto

Risco máximo por visita pública	Não se aplica
Cenário determinante (visita pública)	Não se aplica
Ação norteadora	Revisar cenário de uso e exposição.

I-07



Registros fotográficos da feição I-07. Fonte: MECROC (2020).

Tipo de feição	Pendente	Região funcional	Ramificações / zonas restritas
Localização	Ramificação esquerda	Posição	Teto
Descrição sintética	Pontão rochoso		
Faces conectadas ao maciço	teto por Sn		
Nº de faces de contato	1	Tamanho estimado	Grande
Plano 1	Sn (40°/50°)	Plano 2	—
Plano 3	—	Abertura	0,1 a 1 mm
Rugosidade	Não definida	Preenchimento	Espeleotema
Água	Seco	Mecanismo definido	Deslocamento planar
Trajectoria provável de queda	Queda vertical curta	Área de influência sugerida (m)	3
Possibilidade de ocorrência	Possível	Probabilidade/Frequência estimada	Baixa a média
Pontuação zoneamento (mecanismo)	10	Potencial de dano físico	Alto

Cenário de uso público	Exposição	Consequência	Risco
Religioso/Missa	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica
Jubileu/Eventos religiosos	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica
Turístico convencional	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica
Espeleoturístico	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica
Educativo	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica

Vistoria rápida	Manutenção de rotina	Intervenção prolongada
Moderado	Moderado	Alto

Risco máximo por visita pública	Não se aplica
Cenário determinante (visita pública)	Não se aplica
Ação norteadora	Revisar cenário de uso e exposição.

I-08



Registros fotográficos da feição I-08. Fonte: MECROC (2020).

Tipo de feição	Espeleotema	Região funcional	Ramificações / zonas restritas
Localização	Ramificação direita	Posição	Suspensão
Descrição sintética	Capa carbonática		
Faces conectadas ao maciço	Não se aplica		
Nº de faces de contato	Não se aplica	Tamanho estimado	Pequeno
Plano 1	—	Plano 2	—
Plano 3	—	Abertura	Não se aplica
Rugosidade	Não se aplica	Preenchimento	Não se aplica
Água	Seco	Mecanismo definido	Queda de espeleotema
Trajетória provável de queda	Queda vertical curta	Área de influência sugerida (m)	1
Possibilidade de ocorrência	Pouco provável	Probabilidade/Frequência estimada	Baixa
Pontuação zoneamento (mecanismo)	5	Potencial de dano físico	Baixo

Cenário de uso público	Exposição	Consequência	Risco
Religioso/Missa	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica
Jubileu/Eventos religiosos	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica
Turístico convencional	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica
Espeleoturístico	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica
Educativo	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica

Vistoria rápida	Manutenção de rotina	Intervenção prolongada
Baixo	Baixo	Baixo

Risco máximo por visitaçāo pública	Não se aplica
Cenário determinante (visitaçāo pública)	Não se aplica
Ação norteadora	Revisar cenário de uso e exposiçāo.

I-09



Registros fotográficos da feição I-09. Fonte: MECROC (2020).

Tipo de feição	Bloco individualizado	Região funcional	Ramificações / zonas restritas
Localização	Ramificação direita	Posição	Teto/parede
Descrição sintética	Pontão rochoso		
Faces conectadas ao maciço	lateral F1		
Nº de faces de contato	1	Tamanho estimado	Médio
Plano 1	F1 (278°/63°)	Plano 2	—
Plano 3	—	Abertura	0,1 a 1 mm
Rugosidade	Rugosa	Preenchimento	Sem preenchimento
Água	Seco	Mecanismo definido	Deslocamento planar
Trajetória provável de queda	Queda vertical curta	Área de influência sugerida (m)	2
Possibilidade de ocorrência	Possível	Probabilidade/Frequência estimada	Baixa a média
Pontuação zoneamento (mecanismo)	10	Potencial de dano físico	Médio

Cenário de uso público	Exposição	Consequência	Risco
Religioso/Missa	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica
Jubileu/Eventos religiosos	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica
Turístico convencional	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica
Espeleoturístico	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica
Educativo	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica

Vistoria rápida	Manutenção de rotina	Intervenção prolongada
Baixo	Moderado	Moderado

Risco máximo por visita pública	Não se aplica
Cenário determinante (visita pública)	Não se aplica
Ação norteadora	Revisar cenário de uso e exposição.

I-10



Registros fotográficos da feição I-10. Fonte: MECROC (2020).

Tipo de feição	Bloco individualizado	Região funcional	Ramificações / zonas restritas
Localização	Ramificação direita	Posição	Suspenso
Descrição sintética	Bloco individualizado por descontinuidades		
Faces conectadas ao maciço	lateral F1; posterior F1; face livre voltada ao piso		
Nº de faces de contato	2	Tamanho estimado	Médio
Plano 1	F1 (278°/63°)	Plano 2	F1 (278°/63°)
Plano 3	—	Abertura	0,1 a 1 mm
Rugosidade	Rugosa	Preenchimento	Sem preenchimento
Água	Seco	Mecanismo definido	Queda de bloco
Trajectoria provável de queda	Queda vertical curta	Área de influência sugerida (m)	2
Possibilidade de ocorrência	Pouco provável	Probabilidade/Frequência estimada	Baixa
Pontuação zoneamento (mecanismo)	5	Potencial de dano físico	Médio

Cenário de uso público	Exposição	Consequência	Risco
Religioso/Missa	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica
Jubileu/Eventos religiosos	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica
Turístico convencional	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica
Espeleoturístico	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica
Educativo	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica

Vistoria rápida	Manutenção de rotina	Intervenção prolongada
Baixo	Baixo	Moderado

Risco máximo por visita pública	Não se aplica
Cenário determinante (visita pública)	Não se aplica
Ação norteadora	Revisar cenário de uso e exposição.

I-11



Registros fotográficos da feição I-11. Fonte: MECROC (2020).

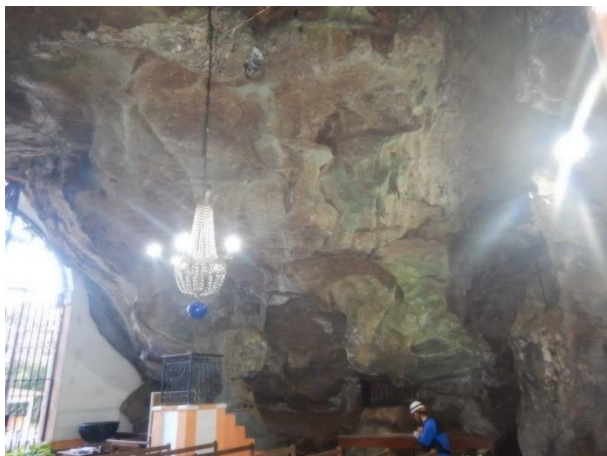
Tipo de feição	Bloco individualizado	Região funcional	Região da Capela
Localização	Salão da Capela	Posição	Teto
Descrição sintética	Bloco individualizado por descontinuidades		
Faces conectadas ao maciço	lateral F1; base por S0; face posterior voltada ao piso		
Nº de faces de contato	2	Tamanho estimado	Médio
Plano 1	F1 (278°/63°)	Plano 2	S0 (36°/27°)
Plano 3	—	Abertura	> 5 mm
Rugosidade	Rugosa	Preenchimento	Sem preenchimento
Água	Seco	Mecanismo definido	Tombamento
Trajectoria provável de queda	Tombamento com queda frontal	Área de influência sugerida (m)	3
Possibilidade de ocorrência	Muito provável	Probabilidade/Frequência estimada	Alta
Pontuação zoneamento (mecanismo)	0	Potencial de dano físico	Muito alto

Cenário de uso público	Exposição	Consequência	Risco
Religioso/Missa	Alta	Muito alta / crítica	Crítico
Jubileu/Eventos religiosos	Alta	Muito alta / crítica	Crítico
Turístico convencional	Média	Alta	Alto
Espeleoturístico	Baixa	Média	Alto
Educativo	Média	Alta	Alto

Vistoria rápida	Manutenção de rotina	Intervenção prolongada
Alto	Alto	Crítico

Risco máximo por visita pública	Crítico
Cenário determinante (visita pública)	Religioso/Missa; Jubileu/Eventos religiosos
Ação norteadora	Avaliar interdição preventiva, desvio de circulação ou intervenção técnica antes de uso intenso.

I-12



Registros fotográficos da feição I-12. Fonte: MECROC (2020).

Tipo de feição	Pontões	Região funcional	Região da Capela
Localização	Salão da Capela	Posição	Teto
Descrição sintética	Pontão rochoso		
Faces conectadas ao maciço	lateral F2; faces livres voltadas ao piso		
Nº de faces de contato	1	Tamanho estimado	Grande
Plano 1	F2 (175°/82°)	Plano 2	—
Plano 3	—	Abertura	Sem abertura
Rugosidade	Não se aplica	Preenchimento	Sem preenchimento
Água	Seco	Mecanismo definido	Lascamento local
Trajectoria provável de queda	Queda vertical curta	Área de influência sugerida (m)	3
Possibilidade de ocorrência	Possível	Probabilidade/Frequência estimada	Baixa a média
Pontuação zoneamento (mecanismo)	5	Potencial de dano físico	Alto

Cenário de uso público	Exposição	Consequência	Risco
Religioso/Missa	Alta	Muito alta / crítica	Alto
Jubileu/Eventos religiosos	Alta	Muito alta / crítica	Alto
Turístico convencional	Média	Alta	Moderado
Espeleoturístico	Baixa	Média	Moderado
Educativo	Média	Alta	Moderado

Vistoria rápida	Manutenção de rotina	Intervenção prolongada
Moderado	Moderado	Alto

Risco máximo por visita pública	Alto
Cenário determinante (visita pública)	Religioso/Missa; Jubileu/Eventos religiosos
Ação norteadora	Priorizar inspeção técnica, sinalização, controle de permanência e avaliação de restrição/ajuste de rota.

I-13



Registros fotográficos da feição I-13. Fonte: MECROC (2020).

Tipo de feição	Pontões	Região funcional	Região da Capela
Localização	Salão da Capela	Posição	Teto
Descrição sintética	Pontão rochoso		
Faces conectadas ao maciço	Não definido		
Nº de faces de contato	Não definido	Tamanho estimado	Grande
Plano 1	—	Plano 2	—
Plano 3	—	Abertura	Não definido
Rugosidade	Não definida	Preenchimento	Não definido
Água	Seco	Mecanismo definido	Deslocamento planar
Trajetória provável de queda	Queda vertical curta	Área de influência sugerida (m)	3
Possibilidade de ocorrência	Possível	Probabilidade/Frequência estimada	Baixa a média
Pontuação zoneamento (mecanismo)	10	Potencial de dano físico	Alto

Cenário de uso público	Exposição	Consequência	Risco
Religioso/Missa	Alta	Muito alta / crítica	Alto
Jubileu/Eventos religiosos	Alta	Muito alta / crítica	Alto
Turístico convencional	Média	Alta	Moderado
Espeleoturístico	Baixa	Média	Moderado
Educativo	Média	Alta	Moderado

Vistoria rápida	Manutenção de rotina	Intervenção prolongada
Moderado	Moderado	Alto

Risco máximo por visita pública	Alto
Cenário determinante (visita pública)	Religioso/Missa; Jubileu/Eventos religiosos
Ação norteadora	Priorizar inspeção técnica, sinalização, controle de permanência e avaliação de restrição/ajuste de rota.

I-14



Registros fotográficos da feição I-14. Fonte: MECROC (2020).

Tipo de feição	Bloco individualizado	Região funcional	Região da Capela
Localização	Salão da Capela	Posição	Teto
Descrição sintética	Bloco individualizado por descontinuidades		
Faces conectadas ao maciço	posterior F1; teto por S0; lateral parcialmente confinada; base livre voltada ao piso		
Nº de faces de contato	3	Tamanho estimado	Grande
Plano 1	F1 (278°/63°)	Plano 2	S0 (36°/27°)
Plano 3	F1 (278°/63°)	Abertura	Não definido
Rugosidade	Não definida	Preenchimento	Não definido
Água	Seco	Mecanismo definido	Deslocamento planar
Trajetória provável de queda	Queda vertical curta	Área de influência sugerida (m)	3
Possibilidade de ocorrência	Provável	Probabilidade/Frequência estimada	Média
Pontuação zoneamento (mecanismo)	10	Potencial de dano físico	Alto

Cenário de uso público	Exposição	Consequência	Risco
Religioso/Missa	Alta	Muito alta / crítica	Alto
Jubileu/Eventos religiosos	Alta	Muito alta / crítica	Alto
Turístico convencional	Média	Alta	Alto
Espeleoturístico	Baixa	Média	Moderado
Educativo	Média	Alta	Alto

Vistoria rápida	Manutenção de rotina	Intervenção prolongada
Moderado	Alto	Alto

Risco máximo por visita pública	Alto
Cenário determinante (visita pública)	Religioso/Missa; Jubileu/Eventos religiosos; Turístico convencional; Educativo
Ação norteadora	Priorizar inspeção técnica, sinalização, controle de permanência e avaliação de restrição/ajuste de rota.

I-15



Registros fotográficos da feição I-15. Fonte: MECROC (2020).

Tipo de feição	Espeleogen/pendente	Região funcional	Região da Capela
Localização	Salão da Capela	Posição	Teto
Descrição sintética	Pontão rochoso		
Faces conectadas ao maciço	teto por Sn; faces livres voltadas ao piso		
Nº de faces de contato	1	Tamanho estimado	Médio
Plano 1	Sn (40°/50°)	Plano 2	—
Plano 3	—	Abertura	Não definido
Rugosidade	Não definida	Preenchimento	Não definido
Água	Seco	Mecanismo definido	Deslocamento planar
Trajectoria provável de queda	Queda vertical curta	Área de influência sugerida (m)	2
Possibilidade de ocorrência	Pouco provável	Probabilidade/Frequência estimada	Baixa
Pontuação zoneamento (mecanismo)	10	Potencial de dano físico	Médio

Cenário de uso público	Exposição	Consequência	Risco
Religioso/Missa	Alta	Alta	Moderado
Jubileu/Eventos religiosos	Alta	Alta	Moderado
Turístico convencional	Média	Média	Baixo
Espeleoturístico	Baixa	Baixa	Baixo
Educativo	Média	Média	Baixo

Vistoria rápida	Manutenção de rotina	Intervenção prolongada
Baixo	Baixo	Moderado

Risco máximo por visita pública	Moderado
Cenário determinante (visita pública)	Religioso/Missa; Jubileu/Eventos religiosos
Ação norteadora	Monitoramento, sinalização e controle de permanência no setor.

I-16



Registros fotográficos da feição I-16. Fonte: MECROC (2020).

Tipo de feição	Espeleogen/pendente	Região funcional	Região da Capela
Localização	Salão da Capela	Posição	Teto
Descrição sintética	Pontão rochoso		
Faces conectadas ao maciço	teto por Sn; faces livres voltadas ao piso		
Nº de faces de contato	1	Tamanho estimado	Grande
Plano 1	Sn (40°/50°)	Plano 2	—
Plano 3	—	Abertura	Não definido
Rugosidade	Não definida	Preenchimento	Não definido
Água	Seco	Mecanismo definido	Deslocamento planar
Trajетória provável de queda	Queda vertical curta	Área de influência sugerida (m)	3
Possibilidade de ocorrência	Provável	Probabilidade/Frequência estimada	Média
Pontuação zoneamento (mecanismo)	10	Potencial de dano físico	Alto

Cenário de uso público	Exposição	Consequência	Risco
Religioso/Missa	Alta	Muito alta / crítica	Alto
Jubileu/Eventos religiosos	Alta	Muito alta / crítica	Alto
Turístico convencional	Média	Alta	Alto
Espeleoturístico	Baixa	Média	Moderado
Educativo	Média	Alta	Alto

Vistoria rápida	Manutenção de rotina	Intervenção prolongada
Moderado	Alto	Alto

Risco máximo por visita pública	Alto
Cenário determinante (visita pública)	Religioso/Missa; Jubileu/Eventos religiosos; Turístico convencional; Educativo
Ação norteadora	Priorizar inspeção técnica, sinalização, controle de permanência e avaliação de restrição/ajuste de rota.

I-17



Registros fotográficos da feição I-17. Fonte: MECROC (2020).

Tipo de feição	Espeleotema	Região funcional	Região da Capela
Localização	Salão da Capela	Posição	Teto
Descrição sintética	Espeleotema		
Faces conectadas ao maciço	Não se aplica		
Nº de faces de contato	Não se aplica	Tamanho estimado	Médio
Plano 1	—	Plano 2	—
Plano 3	—	Abertura	Não se aplica
Rugosidade	Não se aplica	Preenchimento	Não se aplica
Água	Úmido	Mecanismo definido	Queda de espeleotema
Trajectoria provável de queda	Queda vertical curta	Área de influência sugerida (m)	2
Possibilidade de ocorrência	Pouco provável	Probabilidade/Frequência estimada	Baixa
Pontuação zoneamento (mecanismo)	5	Potencial de dano físico	Médio

Cenário de uso público	Exposição	Consequência	Risco
Religioso/Missa	Alta	Alta	Moderado
Jubileu/Eventos religiosos	Alta	Alta	Moderado
Turístico convencional	Média	Média	Baixo
Espeleoturístico	Baixa	Baixa	Baixo
Educativo	Média	Média	Baixo

Vistoria rápida	Manutenção de rotina	Intervenção prolongada
Baixo	Baixo	Moderado

Risco máximo por visita pública	Moderado
Cenário determinante (visita pública)	Religioso/Missa; Jubileu/Eventos religiosos
Ação norteadora	Monitoramento, sinalização e controle de permanência no setor.

I-18



Registros fotográficos da feição I-18. Fonte: MECROC (2020).

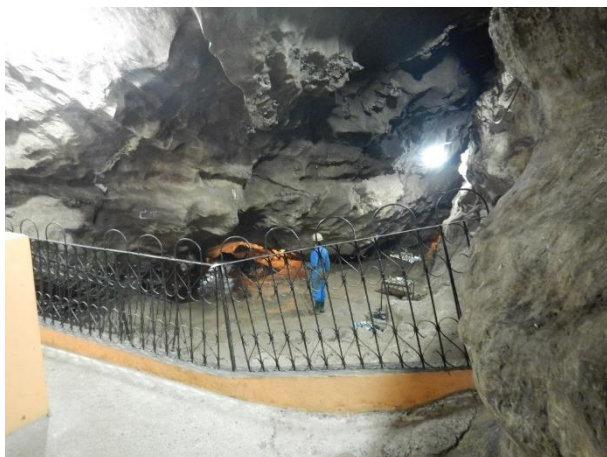
Tipo de feição	Pontões	Região funcional	Região da Capela
Localização	Salão da Capela	Posição	Teto
Descrição sintética	Pontão rochoso		
Faces conectadas ao maciço	teto por Sn; faces livres voltadas ao piso		
Nº de faces de contato	1	Tamanho estimado	Pequeno
Plano 1	Sn (40°/50°)	Plano 2	—
Plano 3	—	Abertura	Sem abertura
Rugosidade	Não definida	Preenchimento	Sem preenchimento
Água	Seco	Mecanismo definido	Lascamento local
Trajectoria provável de queda	Queda vertical curta	Área de influência sugerida (m)	1
Possibilidade de ocorrência	Pouco provável	Probabilidade/Frequência estimada	Baixa
Pontuação zoneamento (mecanismo)	5	Potencial de dano físico	Baixo

Cenário de uso público	Exposição	Consequência	Risco
Religioso/Missa	Alta	Média	Baixo
Jubileu/Eventos religiosos	Alta	Média	Baixo
Turístico convencional	Média	Baixa	Baixo
Espeleoturístico	Baixa	Baixa	Baixo
Educativo	Média	Baixa	Baixo

Vistoria rápida	Manutenção de rotina	Intervenção prolongada
Baixo	Baixo	Baixo

Risco máximo por visita pública	Baixo
Cenário determinante (visita pública)	Religioso/Missa; Jubileu/Eventos religiosos; Turístico convencional; Espeleoturístico; Educativo
Ação norteadora	Monitoramento em inspeções periódicas.

I-19



Registros fotográficos da feição I-19. Fonte: MECROC (2020).

Tipo de feição	Pontões	Região funcional	Região da Capela
Localização	Salão das Velas	Posição	Teto
Descrição sintética	Pontão rochoso		
Faces conectadas ao maciço	Não definido		
Nº de faces de contato	Não definido	Tamanho estimado	Grande
Plano 1	—	Plano 2	—
Plano 3	—	Abertura	Não se aplica
Rugosidade	Não se aplica	Preenchimento	Não se aplica
Água	Seco	Mecanismo definido	Queda de bloco
Trajectoria provável de queda	Queda vertical curta	Área de influência sugerida (m)	3
Possibilidade de ocorrência	Pouco provável	Probabilidade/Frequência estimada	Baixa
Pontuação zoneamento (mecanismo)	5	Potencial de dano físico	Alto

Cenário de uso público	Exposição	Consequência	Risco
Religioso/Missa	Alta	Muito alta / crítica	Moderado
Jubileu/Eventos religiosos	Alta	Muito alta / crítica	Moderado
Turístico convencional	Média	Alta	Moderado
Espeleoturístico	Baixa	Média	Baixo
Educativo	Média	Alta	Moderado

Vistoria rápida	Manutenção de rotina	Intervenção prolongada
Baixo	Moderado	Moderado

Risco máximo por visita pública	Moderado
Cenário determinante (visita pública)	Religioso/Missa; Jubileu/Eventos religiosos; Turístico convencional; Educativo
Ação norteadora	Monitoramento, sinalização e controle de permanência no setor.

I-20



Registros fotográficos da feição I-20. Fonte: MECROC (2020).

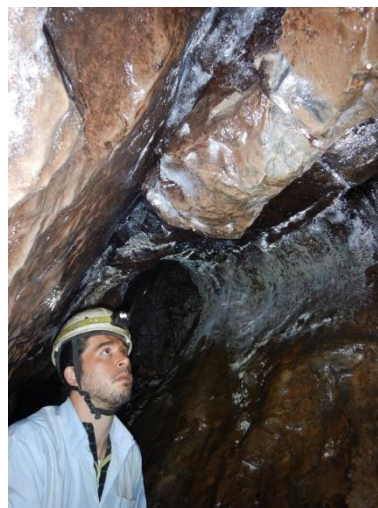
Tipo de feição	Bloco solto	Região funcional	Região afótica
Localização	Passagem da caixa d'água	Posição	Piso/parede
Descrição sintética	Bloco apoiado em sedimentos		
Faces conectadas ao maciço	Não se aplica		
Nº de faces de contato	Não se aplica	Tamanho estimado	Médio
Plano 1	—	Plano 2	—
Plano 3	—	Abertura	Não se aplica
Rugosidade	Não se aplica	Preenchimento	Não se aplica
Água	Úmido	Mecanismo definido	Perda de suporte basal
Trajetória provável de queda	Rolamento curto	Área de influência sugerida (m)	3
Possibilidade de ocorrência	Provável	Probabilidade/Frequência estimada	Média
Pontuação zoneamento (mecanismo)	5	Potencial de dano físico	Alto

Cenário de uso público	Exposição	Consequência	Risco
Religioso/Missa	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica
Jubileu/Eventos religiosos	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica
Turístico convencional	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica
Espeleoturístico	Baixa	Média	Moderado
Educativo	Média	Alta	Alto

Vistoria rápida	Manutenção de rotina	Intervenção prolongada
Moderado	Alto	Alto

Risco máximo por visita pública	Alto
Cenário determinante (visita pública)	Educativo
Ação norteadora	Priorizar inspeção técnica, sinalização, controle de permanência e avaliação de restrição/ajuste de rota.

I-21



Registros fotográficos da feição I-21. Fonte: MECROC (2020).

Tipo de feição	Pendente	Região funcional	Região afótica
Localização	Passagem da caixa d'água	Posição	Teto
Descrição sintética	Pendente		
Faces conectadas ao maciço	teto por Sn; faces livres voltadas ao piso		
Nº de faces de contato	1	Tamanho estimado	Grande
Plano 1	Sn (40°/50°)	Plano 2	—
Plano 3	—	Abertura	Sem abertura
Rugosidade	Não definida	Preenchimento	Sem preenchimento
Água	Úmido	Mecanismo definido	Deslocamento planar
Trajectoria provável de queda	Queda vertical curta	Área de influência sugerida (m)	3
Possibilidade de ocorrência	Possível	Probabilidade/Frequência estimada	Baixa a média
Pontuação zoneamento (mecanismo)	10	Potencial de dano físico	Alto

Cenário de uso público	Exposição	Consequência	Risco
Religioso/Missa	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica
Jubileu/Eventos religiosos	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica
Turístico convencional	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica
Espeleoturístico	Baixa	Média	Moderado
Educativo	Média	Alta	Moderado

Vistoria rápida	Manutenção de rotina	Intervenção prolongada
Moderado	Moderado	Alto

Risco máximo por visita pública	Moderado
Cenário determinante (visita pública)	Espeleoturístico; Educativo
Ação norteadora	Monitoramento, sinalização e controle de permanência no setor.

I-22



Registros fotográficos da feição I-22. Fonte: MECROC (2020).

Tipo de feição	Pendente	Região funcional	Região afótica
Localização	Rampa de subida	Posição	Teto/parede
Descrição sintética	Pendente		
Faces conectadas ao maciço	F2		
Nº de faces de contato	1	Tamanho estimado	Grande
Plano 1	F2 (175°/82°)	Plano 2	—
Plano 3	—	Abertura	Sem abertura
Rugosidade	Não definida	Preenchimento	Sem preenchimento
Água	Úmido	Mecanismo definido	Deslocamento planar
Trajectoria provável de queda	Queda com ricochete local	Área de influência sugerida (m)	4
Possibilidade de ocorrência	Possível	Probabilidade/Frequência estimada	Baixa a média
Pontuação zoneamento (mecanismo)	10	Potencial de dano físico	Alto

Cenário de uso público	Exposição	Consequência	Risco
Religioso/Missa	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica
Jubileu/Eventos religiosos	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica
Turístico convencional	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica
Espeleoturístico	Baixa	Média	Moderado
Educativo	Média	Alta	Moderado

Vistoria rápida	Manutenção de rotina	Intervenção prolongada
Moderado	Moderado	Alto

Risco máximo por visita pública	Moderado
Cenário determinante (visita pública)	Espeleoturístico; Educativo
Ação norteadora	Monitoramento, sinalização e controle de permanência no setor.

I-23



Registros fotográficos da feição I-23. Fonte: MECROC (2020).

Tipo de feição	Veio de calcita	Região funcional	Região afótica
Localização	Rampa de subida	Posição	Parede
Descrição sintética	Veio de calcita		
Faces conectadas ao maciço	Não se aplica		
Nº de faces de contato	Não se aplica	Tamanho estimado	Pequeno
Plano 1	—	Plano 2	—
Plano 3	—	Abertura	Não se aplica
Rugosidade	Não se aplica	Preenchimento	Não se aplica
Água	Úmido	Mecanismo definido	Queda de bloco
Trajectoria provável de queda	Queda com ricochete local	Área de influência sugerida (m)	2
Possibilidade de ocorrência	Possível	Probabilidade/Frequência estimada	Baixa a média
Pontuação zoneamento (mecanismo)	5	Potencial de dano físico	Alto

Cenário de uso público	Exposição	Consequência	Risco
Religioso/Missa	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica
Jubileu/Eventos religiosos	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica
Turístico convencional	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica
Espeleoturístico	Baixa	Média	Moderado
Educativo	Média	Alta	Moderado

Vistoria rápida	Manutenção de rotina	Intervenção prolongada
Moderado	Moderado	Alto

Risco máximo por visita pública	Moderado
Cenário determinante (visita pública)	Espeleoturístico; Educativo
Ação norteadora	Monitoramento, sinalização e controle de permanência no setor.

I-24



Registros fotográficos da feição I-24. Fonte: MECROC (2020).

Tipo de feição	Pontões	Região funcional	Região afótica
Localização	Rampa de subida	Posição	Teto
Descrição sintética	Pontão rochoso		
Faces conectadas ao maciço	Não definido		
Nº de faces de contato	Não definido	Tamanho estimado	Grande
Plano 1	—	Plano 2	—
Plano 3	—	Abertura	Não definido
Rugosidade	Não definida	Preenchimento	Não definido
Água	Úmido	Mecanismo definido	Queda de bloco
Trajectoria provável de queda	Queda com ricochete local	Área de influência sugerida (m)	4
Possibilidade de ocorrência	Provável	Probabilidade/Frequência estimada	Média
Pontuação zoneamento (mecanismo)	5	Potencial de dano físico	Alto

Cenário de uso público	Exposição	Consequência	Risco
Religioso/Missa	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica
Jubileu/Eventos religiosos	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica
Turístico convencional	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica
Espeleoturístico	Baixa	Média	Moderado
Educativo	Média	Alta	Alto

Vistoria rápida	Manutenção de rotina	Intervenção prolongada
Moderado	Alto	Alto

Risco máximo por visita pública	Alto
Cenário determinante (visita pública)	Educativo
Ação norteadora	Priorizar inspeção técnica, sinalização, controle de permanência e avaliação de restrição/ajuste de rota.

I-25



Registros fotográficos da feição I-25. Fonte: MECROC (2020).

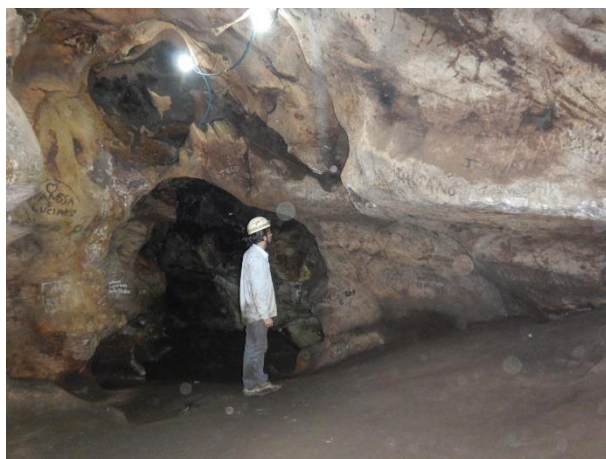
Tipo de feição	Pontões	Região funcional	Região afótica
Localização	Rampa de subida	Posição	Parede
Descrição sintética	Pontão rochoso		
Faces conectadas ao maciço	teto por Sn; faces livres voltadas ao piso		
Nº de faces de contato	1	Tamanho estimado	Médio
Plano 1	Sn (40°/50°)	Plano 2	—
Plano 3	—	Abertura	Sem abertura
Rugosidade	Não definida	Preenchimento	Sem preenchimento
Água	Seco	Mecanismo definido	Deslocamento planar
Trajetória provável de queda	Queda vertical curta	Área de influência sugerida (m)	2
Possibilidade de ocorrência	Possível	Probabilidade/Frequência estimada	Baixa a média
Pontuação zoneamento (mecanismo)	10	Potencial de dano físico	Médio

Cenário de uso público	Exposição	Consequência	Risco
Religioso/Missa	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica
Jubileu/Eventos religiosos	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica
Turístico convencional	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica
Espeleoturístico	Baixa	Baixa	Baixo
Educativo	Média	Média	Moderado

Vistoria rápida	Manutenção de rotina	Intervenção prolongada
Baixo	Moderado	Moderado

Risco máximo por visita pública	Moderado
Cenário determinante (visita pública)	Educativo
Ação norteadora	Monitoramento, sinalização e controle de permanência no setor.

I-26



Registros fotográficos da feição I-26. Fonte: MECROC (2020).

Tipo de feição	Bloco individualizado	Região funcional	Região afótica
Localização	Rampa de descida	Posição	Teto
Descrição sintética	Bloco individualizado por descontinuidades		
Faces conectadas ao maciço	lateral F2; posterior F2; face inferior voltada ao piso		
Nº de faces de contato	2	Tamanho estimado	Médio
Plano 1	F2 (175°/82°)	Plano 2	F2 (175°/82°)
Plano 3	—	Abertura	0,1 a 1 mm
Rugosidade	Não definida	Preenchimento	Sem preenchimento
Água	Seco	Mecanismo definido	Queda de bloco
Trajatória provável de queda	Queda com ricochete local	Área de influência sugerida (m)	3
Possibilidade de ocorrência	Provável	Probabilidade/Frequência estimada	Média
Pontuação zoneamento (mecanismo)	5	Potencial de dano físico	Alto

Cenário de uso público	Exposição	Consequência	Risco
Religioso/Missa	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica
Jubileu/Eventos religiosos	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica
Turístico convencional	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica
Espeleoturístico	Baixa	Média	Moderado
Educativo	Média	Alta	Alto

Vistoria rápida	Manutenção de rotina	Intervenção prolongada
Moderado	Alto	Alto

Risco máximo por visita pública	Alto
Cenário determinante (visita pública)	Educativo
Ação norteadora	Priorizar inspeção técnica, sinalização, controle de permanência e avaliação de restrição/ajuste de rota.

I-27



Registros fotográficos da feição I-27. Fonte: MECROC (2020).

Tipo de feição	Bloco individualizado	Região funcional	Região afótica
Localização	Rampa de descida	Posição	Teto
Descrição sintética	Bloco individualizado por descontinuidades		
Faces conectadas ao maciço	lateral F2; teto S0; posterior F2; face inferior voltada ao piso		
Nº de faces de contato	3	Tamanho estimado	Pequeno
Plano 1	F2 (175°/82°)	Plano 2	S0 (36°/27°)
Plano 3	F2 (175°/82°)	Abertura	< 0,1 mm
Rugosidade	Lisa	Preenchimento	Sem preenchimento
Água	Úmido	Mecanismo definido	Ruptura em cunha
Trajectoria provável de queda	Queda com ricochete local	Área de influência sugerida (m)	2
Possibilidade de ocorrência	Pouco provável	Probabilidade/Frequência estimada	Baixa
Pontuação zoneamento (mecanismo)	0	Potencial de dano físico	Alto

Cenário de uso público	Exposição	Consequência	Risco
Religioso/Missa	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica
Jubileu/Eventos religiosos	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica
Turístico convencional	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica
Espeleoturístico	Baixa	Média	Baixo
Educativo	Média	Alta	Moderado

Vistoria rápida	Manutenção de rotina	Intervenção prolongada
Baixo	Moderado	Moderado

Risco máximo por visita pública	Moderado
Cenário determinante (visita pública)	Educativo
Ação norteadora	Monitoramento, sinalização e controle de permanência no setor.

I-28



Registros fotográficos da feição I-28. Fonte: MECROC (2020).

Tipo de feição	Pendente	Região funcional	Região afótica
Localização	Rampa de descida	Posição	Teto
Descrição sintética	Pendente		
Faces conectadas ao maciço	teto por S0; face inferior voltada ao piso		
Nº de faces de contato	1	Tamanho estimado	Grande
Plano 1	S0 (36°/27°)	Plano 2	—
Plano 3	—	Abertura	Sem abertura
Rugosidade	Não se aplica	Preenchimento	Sem preenchimento
Água	Úmido	Mecanismo definido	Deslocamento planar
Trajectoria provável de queda	Queda vertical curta	Área de influência sugerida (m)	3
Possibilidade de ocorrência	Possível	Probabilidade/Frequência estimada	Baixa a média
Pontuação zoneamento (mecanismo)	10	Potencial de dano físico	Alto

Cenário de uso público	Exposição	Consequência	Risco
Religioso/Missa	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica
Jubileu/Eventos religiosos	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica
Turístico convencional	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica
Espeleoturístico	Baixa	Média	Moderado
Educativo	Média	Alta	Moderado

Vistoria rápida	Manutenção de rotina	Intervenção prolongada
Moderado	Moderado	Alto

Risco máximo por visita pública	Moderado
Cenário determinante (visita pública)	Espeleoturístico; Educativo
Ação norteadora	Monitoramento, sinalização e controle de permanência no setor.

I-29



Registros fotográficos da feição I-29. Fonte: MECROC (2020).

Tipo de feição	Bloco individualizado	Região funcional	Região afótica
Localização	Rampa de descida	Posição	Teto
Descrição sintética	Bloco individualizado por descontinuidades		
Faces conectadas ao maciço	lateral F1; posterior F1; face livre voltada ao piso		
Nº de faces de contato	2	Tamanho estimado	Grande
Plano 1	F1 (278°/63°)	Plano 2	F1 (278°/63°)
Plano 3	—	Abertura	1 a 5 mm
Rugosidade	Não definida	Preenchimento	Argila
Água	Úmido	Mecanismo definido	Deslocamento planar
Trajectoria provável de queda	Queda vertical curta	Área de influência sugerida (m)	3
Possibilidade de ocorrência	Pouco provável	Probabilidade/Frequência estimada	Baixa
Pontuação zoneamento (mecanismo)	10	Potencial de dano físico	Alto

Cenário de uso público	Exposição	Consequência	Risco
Religioso/Missa	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica
Jubileu/Eventos religiosos	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica
Turístico convencional	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica
Espeleoturístico	Baixa	Média	Baixo
Educativo	Média	Alta	Moderado

Vistoria rápida	Manutenção de rotina	Intervenção prolongada
Baixo	Moderado	Moderado

Risco máximo por visita pública	Moderado
Cenário determinante (visita pública)	Educativo
Ação norteadora	Monitoramento, sinalização e controle de permanência no setor.

I-30



Registros fotográficos da feição I-30. Fonte: MECROC (2020).

Tipo de feição	Espeleotema	Região funcional	Região afótica
Localização	Salão dos Sedimentos	Posição	Teto
Descrição sintética	Espeleotema		
Faces conectadas ao maciço	Não se aplica		
Nº de faces de contato	Não se aplica	Tamanho estimado	Grande
Plano 1	—	Plano 2	—
Plano 3	—	Abertura	Não se aplica
Rugosidade	Não se aplica	Preenchimento	Não se aplica
Água	Escorrimento	Mecanismo definido	Queda de espeleotema
Trajectoria provável de queda	Queda com ricochete local	Área de influência sugerida (m)	4
Possibilidade de ocorrência	Possível	Probabilidade/Frequência estimada	Baixa a média
Pontuação zoneamento (mecanismo)	5	Potencial de dano físico	Alto

Cenário de uso público	Exposição	Consequência	Risco
Religioso/Missa	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica
Jubileu/Eventos religiosos	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica
Turístico convencional	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica
Espeleoturístico	Baixa	Média	Moderado
Educativo	Média	Alta	Moderado

Vistoria rápida	Manutenção de rotina	Intervenção prolongada
Moderado	Moderado	Alto

Risco máximo por visita pública	Moderado
Cenário determinante (visita pública)	Espeleoturístico; Educativo
Ação norteadora	Monitoramento, sinalização e controle de permanência no setor.

I-31



Registros fotográficos da feição I-31. Fonte: MECROC (2020).

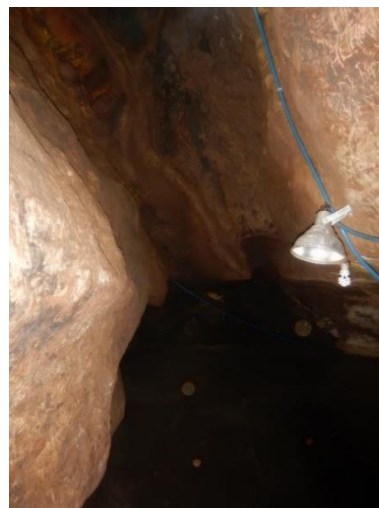
Tipo de feição	Bloco individualizado	Região funcional	Região afótica
Localização	Salão dos Sedimentos	Posição	Teto
Descrição sintética	Bloco individualizado por descontinuidades		
Faces conectadas ao maciço	lateral F1; posterior F1; teto não definido; face livre voltada ao piso		
Nº de faces de contato	3	Tamanho estimado	Muito grande
Plano 1	F1 (278°/63°)	Plano 2	F1 (278°/63°)
Plano 3	—	Abertura	Não definido
Rugosidade	Não definida	Preenchimento	Não definido
Água	Úmido	Mecanismo definido	Queda de bloco
Trajatória provável de queda	Queda com ricochete local	Área de influência sugerida (m)	5
Possibilidade de ocorrência	Possível	Probabilidade/Frequência estimada	Baixa a média
Pontuação zoneamento (mecanismo)	5	Potencial de dano físico	Muito alto

Cenário de uso público	Exposição	Consequência	Risco
Religioso/Missa	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica
Jubileu/Eventos religiosos	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica
Turístico convencional	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica
Espeleoturístico	Baixa	Média	Moderado
Educativo	Média	Alta	Moderado

Vistoria rápida	Manutenção de rotina	Intervenção prolongada
Moderado	Moderado	Alto

Risco máximo por visita pública	Moderado
Cenário determinante (visita pública)	Espeleoturístico; Educativo
Ação norteadora	Monitoramento, sinalização e controle de permanência no setor.

I-32



Registros fotográficos da feição I-32. Fonte: MECROC (2020).

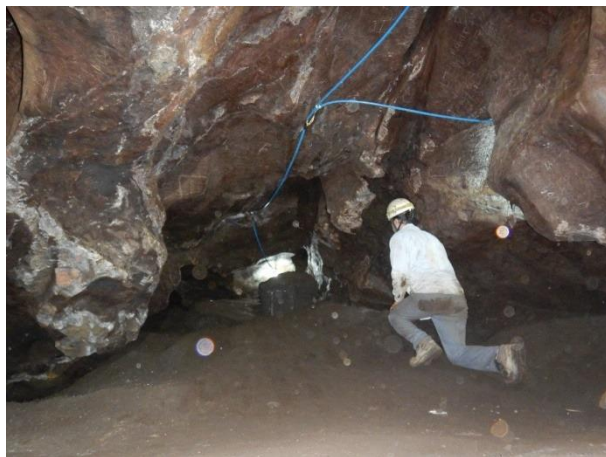
Tipo de feição	Espeleotema	Região funcional	Região afótica
Localização	Salão dos Sedimentos	Posição	Teto
Descrição sintética	Espeleotema		
Faces conectadas ao maciço	Não se aplica		
Nº de faces de contato	Não se aplica	Tamanho estimado	Grande
Plano 1	—	Plano 2	—
Plano 3	—	Abertura	Não se aplica
Rugosidade	Não se aplica	Preenchimento	Não se aplica
Água	Úmido	Mecanismo definido	Queda de espeleotema
Trajectoria provável de queda	Queda com ricochete local	Área de influência sugerida (m)	4
Possibilidade de ocorrência	Possível	Probabilidade/Frequência estimada	Baixa a média
Pontuação zoneamento (mecanismo)	5	Potencial de dano físico	Alto

Cenário de uso público	Exposição	Consequência	Risco
Religioso/Missa	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica
Jubileu/Eventos religiosos	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica
Turístico convencional	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica
Espeleoturístico	Baixa	Média	Moderado
Educativo	Média	Alta	Moderado

Vistoria rápida	Manutenção de rotina	Intervenção prolongada
Moderado	Moderado	Alto

Risco máximo por visita pública	Moderado
Cenário determinante (visita pública)	Espeleoturístico; Educativo
Ação norteadora	Monitoramento, sinalização e controle de permanência no setor.

I-33



Registros fotográficos da feição I-33. Fonte: MECROC (2020).

Tipo de feição	Bloco individualizado	Região funcional	Região afótica
Localização	Salão final	Posição	Parede
Descrição sintética	Bloco individualizado por descontinuidades		
Faces conectadas ao maciço	teto por Sn; lateral F1; base voltada ao piso		
Nº de faces de contato	3	Tamanho estimado	Pequeno
Plano 1	Sn (40°/50°)	Plano 2	F1 (278°/63°)
Plano 3	—	Abertura	Sem abertura
Rugosidade	Não se aplica	Preenchimento	Sem preenchimento
Água	Úmido	Mecanismo definido	Ruptura em cunha
Trajectoria provável de queda	Queda com ricochete local	Área de influência sugerida (m)	2
Possibilidade de ocorrência	Pouco provável	Probabilidade/Frequência estimada	Baixa
Pontuação zoneamento (mecanismo)	0	Potencial de dano físico	Alto

Cenário de uso público	Exposição	Consequência	Risco
Religioso/Missa	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica
Jubileu/Eventos religiosos	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica
Turístico convencional	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica
Espeleoturístico	Baixa	Média	Baixo
Educativo	Média	Alta	Moderado

Vistoria rápida	Manutenção de rotina	Intervenção prolongada
Baixo	Moderado	Moderado

Risco máximo por visita pública	Moderado
Cenário determinante (visita pública)	Educativo
Ação norteadora	Monitoramento, sinalização e controle de permanência no setor.

I-34



Registros fotográficos da feição I-34. Fonte: MECROC (2020).

Tipo de feição	Veio de calcita	Região funcional	Região afótica
Localização	Salão final	Posição	Parede
Descrição sintética	Veio de calcita		
Faces conectadas ao maciço	Não se aplica		
Nº de faces de contato	Não se aplica	Tamanho estimado	Pequeno
Plano 1	—	Plano 2	—
Plano 3	—	Abertura	Não se aplica
Rugosidade	Não se aplica	Preenchimento	Não se aplica
Água	Úmido	Mecanismo definido	Queda de bloco
Trajectoria provável de queda	Queda vertical curta	Área de influência sugerida (m)	1
Possibilidade de ocorrência	Possível	Probabilidade/Frequência estimada	Baixa a média
Pontuação zoneamento (mecanismo)	5	Potencial de dano físico	Baixo

Cenário de uso público	Exposição	Consequência	Risco
Religioso/Missa	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica
Jubileu/Eventos religiosos	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica
Turístico convencional	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica
Espeleoturístico	Baixa	Baixa	Baixo
Educativo	Média	Baixa	Baixo

Vistoria rápida	Manutenção de rotina	Intervenção prolongada
Baixo	Baixo	Moderado

Risco máximo por visita pública	Baixo
Cenário determinante (visita pública)	Espeleoturístico; Educativo
Ação norteadora	Monitoramento em inspeções periódicas.

I-35



Registros fotográficos da feição I-35. Fonte: MECROC (2020).

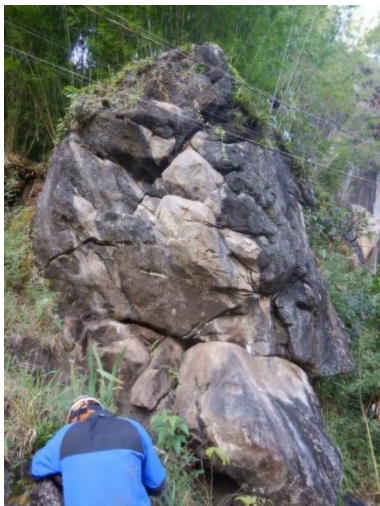
Tipo de feição	Bloco individualizado	Região funcional	Região afótica
Localização	Salões finais / ramificações finais	Posição	Teto/parede
Descrição sintética	Bloco apoiado em sedimentos		
Faces conectadas ao maciço	Não se aplica		
Nº de faces de contato	Não se aplica	Tamanho estimado	Muito grande
Plano 1	—	Plano 2	—
Plano 3	—	Abertura	Não se aplica
Rugosidade	Não se aplica	Preenchimento	Não se aplica
Água	Úmido	Mecanismo definido	Perda de suporte basal
Trajectoria provável de queda	Rolamento longo	Área de influência sugerida (m)	6
Possibilidade de ocorrência	Provável	Probabilidade/Frequência estimada	Média
Pontuação zoneamento (mecanismo)	5	Potencial de dano físico	Muito alto

Cenário de uso público	Exposição	Consequência	Risco
Religioso/Missa	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica
Jubileu/Eventos religiosos	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica
Turístico convencional	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica
Espeleoturístico	Baixa	Média	Moderado
Educativo	Média	Alta	Alto

Vistoria rápida	Manutenção de rotina	Intervenção prolongada
Moderado	Alto	Alto

Risco máximo por visita pública	Alto
Cenário determinante (visita pública)	Educativo
Ação norteadora	Priorizar inspeção técnica, sinalização, controle de permanência e avaliação de restrição/ajuste de rota.

E-01



Registros fotográficos da feição E-01. Fonte: MECROC (2020).

Tipo de feição	Bloco solto externo	Região funcional	Zona externa
Localização	Rampa de entrada	Posição	Parede
Descrição sintética	Bloco apoiado em sedimentos		
Faces conectadas ao maciço	Não se aplica		
Nº de faces de contato	Não se aplica	Tamanho estimado	Muito grande
Plano 1	—	Plano 2	—
Plano 3	—	Abertura	Não se aplica
Rugosidade	Não se aplica	Preenchimento	Não se aplica
Água	Seco	Mecanismo definido	Perda de suporte basal
Trajatória provável de queda	Rolamento longo	Área de influência sugerida (m)	6
Possibilidade de ocorrência	Provável	Probabilidade/Frequência estimada	Média
Pontuação zoneamento (mecanismo)	5	Potencial de dano físico	Muito alto

Cenário de uso público	Exposição	Consequência	Risco
Religioso/Missa	Alta	Muito alta / crítica	Alto
Jubileu/Eventos religiosos	Alta	Muito alta / crítica	Alto
Turístico convencional	Média	Alta	Alto
Espeleoturístico	Baixa	Média	Moderado
Educativo	Média	Alta	Alto

Vistoria rápida	Manutenção de rotina	Intervenção prolongada
Moderado	Alto	Alto

Risco máximo por visita pública	Alto
Cenário determinante (visita pública)	Religioso/Missa; Jubileu/Eventos religiosos; Turístico convencional; Educativo
Ação norteadora	Priorizar inspeção técnica, sinalização, controle de permanência e avaliação de restrição/ajuste de rota.

E-02



Registros fotográficos da feição E-02. Fonte: MECROC (2020).

Tipo de feição	Torre residual	Região funcional	Zona externa
Localização	Entrada	Posição	Parede
Descrição sintética	Torre residual		
Faces conectadas ao maciço	Não se aplica		
Nº de faces de contato	Não se aplica	Tamanho estimado	Muito grande
Plano 1	—	Plano 2	—
Plano 3	—	Abertura	Não se aplica
Rugosidade	Não se aplica	Preenchimento	Não se aplica
Água	Seco	Mecanismo definido	Perda de suporte basal
Trajectoria provável de queda	Rolamento longo	Área de influência sugerida (m)	6
Possibilidade de ocorrência	Muito provável	Probabilidade/Frequência estimada	Alta
Pontuação zoneamento (mecanismo)	0	Potencial de dano físico	Muito alto

Cenário de uso público	Exposição	Consequência	Risco
Religioso/Missa	Alta	Muito alta / crítica	Crítico
Jubileu/Eventos religiosos	Alta	Muito alta / crítica	Crítico
Turístico convencional	Média	Alta	Alto
Espeleoturístico	Baixa	Média	Alto
Educativo	Média	Alta	Alto

Vistoria rápida	Manutenção de rotina	Intervenção prolongada
Alto	Alto	Crítico

Risco máximo por visita pública	Crítico
Cenário determinante (visita pública)	Religioso/Missa; Jubileu/Eventos religiosos
Ação norteadora	Avaliar interdição preventiva, desvio de circulação ou intervenção técnica antes de uso intenso.

E-03



Registros fotográficos da feição E-03. Fonte: MECROC (2020).

Tipo de feição	Bloco individualizado	Região funcional	Zona externa
Localização	Entrada	Posição	Parede
Descrição sintética	Bloco individualizado por descontinuidades		
Faces conectadas ao maciço	lateral F2. base por Sn; base voltada ao piso		
Nº de faces de contato	2	Tamanho estimado	Grande
Plano 1	F2 (175°/82°)	Plano 2	Sn (40°/50°)
Plano 3	—	Abertura	< 0,1 mm
Rugosidade	Não definida	Preenchimento	Sem preenchimento
Água	Seco	Mecanismo definido	Ruptura em cunha
Trajetoória provável de queda	Queda com ricochete local	Área de influência sugerida (m)	4
Possibilidade de ocorrência	Provável	Probabilidade/Frequência estimada	Média
Pontuação zoneamento (mecanismo)	0	Potencial de dano físico	Alto

Cenário de uso público	Exposição	Consequência	Risco
Religioso/Missa	Alta	Muito alta / crítica	Alto
Jubileu/Eventos religiosos	Alta	Muito alta / crítica	Alto
Turístico convencional	Média	Alta	Alto
Espeleoturístico	Baixa	Média	Moderado
Educativo	Média	Alta	Alto

Vistoria rápida	Manutenção de rotina	Intervenção prolongada
Moderado	Alto	Alto

Risco máximo por visitaçã pública	Alto
Cenário determinante (visitaçã pública)	Religioso/Missa; Jubileu/Eventos religiosos; Turístico convencional; Educativo
Ação norteadora	Priorizar inspeção técnica, sinalização, controle de permanência e avaliação de restrição/ajuste de rota.

E-04



Registros fotográficos da feição E-04. Fonte: MECROC (2020).

Tipo de feição	Bloco solto externo	Região funcional	Zona externa
Localização	Entrada	Posição	Parede
Descrição sintética	Bloco apoiado em sedimentos		
Faces conectadas ao maciço	Não se aplica		
Nº de faces de contato	Não se aplica	Tamanho estimado	Médio
Plano 1	—	Plano 2	—
Plano 3	—	Abertura	Não se aplica
Rugosidade	Não se aplica	Preenchimento	Não se aplica
Água	Seco	Mecanismo definido	Deslocamento de bloco solto
Trajectoria provável de queda	Queda com ricochete local	Área de influência sugerida (m)	3
Possibilidade de ocorrência	Muito provável	Probabilidade/Frequência estimada	Alta
Pontuação zoneamento (mecanismo)	5	Potencial de dano físico	Alto

Cenário de uso público	Exposição	Consequência	Risco
Religioso/Missa	Alta	Muito alta / crítica	Crítico
Jubileu/Eventos religiosos	Alta	Muito alta / crítica	Crítico
Turístico convencional	Média	Alta	Alto
Espeleoturístico	Baixa	Média	Alto
Educativo	Média	Alta	Alto

Vistoria rápida	Manutenção de rotina	Intervenção prolongada
Alto	Alto	Crítico

Risco máximo por visita pública	Crítico
Cenário determinante (visita pública)	Religioso/Missa; Jubileu/Eventos religiosos
Ação norteadora	Avaliar interdição preventiva, desvio de circulação ou intervenção técnica antes de uso intenso.

E-05



Registros fotográficos da feição E-05. Fonte: MECROC (2020).

Tipo de feição	Bloco individualizado	Região funcional	Zona externa
Localização	Pórtico	Posição	Teto
Descrição sintética	Bloco individualizado por descontinuidades		
Faces conectadas ao maciço	lateral F1; base voltada ao piso		
Nº de faces de contato	1	Tamanho estimado	Médio
Plano 1	F1 (278°/63°)	Plano 2	—
Plano 3	—	Abertura	< 0,1 mm
Rugosidade	Rugosa	Preenchimento	Sem preenchimento
Água	Seco	Mecanismo definido	Deslocamento planar
Trajectoria provável de queda	Queda vertical curta	Área de influência sugerida (m)	2
Possibilidade de ocorrência	Provável	Probabilidade/Frequência estimada	Média
Pontuação zoneamento (mecanismo)	10	Potencial de dano físico	Médio

Cenário de uso público	Exposição	Consequência	Risco
Religioso/Missa	Alta	Alta	Alto
Jubileu/Eventos religiosos	Alta	Alta	Alto
Turístico convencional	Média	Média	Moderado
Espeleoturístico	Baixa	Baixa	Baixo
Educativo	Média	Média	Moderado

Vistoria rápida	Manutenção de rotina	Intervenção prolongada
Baixo	Moderado	Alto

Risco máximo por visita pública	Alto
Cenário determinante (visita pública)	Religioso/Missa; Jubileu/Eventos religiosos
Ação norteadora	Priorizar inspeção técnica, sinalização, controle de permanência e avaliação de restrição/ajuste de rota.

E-06



Registros fotográficos da feição E-06. Fonte: MECROC (2020).

Tipo de feição	Bloco individualizado	Região funcional	Zona externa
Localização	Pórtico	Posição	Teto
Descrição sintética	Bloco individualizado por descontinuidades		
Faces conectadas ao maciço	posterior por F1; lateral por F2; base por Sn; face externa livre		
Nº de faces de contato	3	Tamanho estimado	Grande
Plano 1	F1 (278°/63°)	Plano 2	F2 (175°/82°)
Plano 3	Sn (40°/50°)	Abertura	> 5 mm
Rugosidade	Rugosa	Preenchimento	Sem preenchimento
Água	Seco	Mecanismo definido	Ruptura em cunha
Trajatória provável de queda	Queda vertical curta	Área de influência sugerida (m)	3
Possibilidade de ocorrência	Provável	Probabilidade/Frequência estimada	Média
Pontuação zoneamento (mecanismo)	0	Potencial de dano físico	Alto

Cenário de uso público	Exposição	Consequência	Risco
Religioso/Missa	Alta	Muito alta / crítica	Alto
Jubileu/Eventos religiosos	Alta	Muito alta / crítica	Alto
Turístico convencional	Média	Alta	Alto
Espeleoturístico	Baixa	Média	Moderado
Educativo	Média	Alta	Alto

Vistoria rápida	Manutenção de rotina	Intervenção prolongada
Moderado	Alto	Alto

Risco máximo por visita pública	Alto
Cenário determinante (visita pública)	Religioso/Missa; Jubileu/Eventos religiosos; Turístico convencional; Educativo
Ação norteadora	Priorizar inspeção técnica, sinalização, controle de permanência e avaliação de restrição/ajuste de rota.

E-08



Registros fotográficos da feição E-08. Fonte: MECROC (2020).

Tipo de feição	Pontões	Região funcional	Zona externa
Localização	Pórtico	Posição	Teto
Descrição sintética	Pontão rochoso		
Faces conectadas ao maciço	lateral por F1; face externa livre		
Nº de faces de contato	1	Tamanho estimado	Grande
Plano 1	F1 (278°/63°)	Plano 2	—
Plano 3	—	Abertura	Sem abertura
Rugosidade	Não se aplica	Preenchimento	Sem preenchimento
Água	Seco	Mecanismo definido	Deslocamento planar
Trajетória provável de queda	Queda vertical curta	Área de influência sugerida (m)	3
Possibilidade de ocorrência	Possível	Probabilidade/Frequência estimada	Baixa a média
Pontuação zoneamento (mecanismo)	10	Potencial de dano físico	Alto

Cenário de uso público	Exposição	Consequência	Risco
Religioso/Missa	Alta	Muito alta / crítica	Alto
Jubileu/Eventos religiosos	Alta	Muito alta / crítica	Alto
Turístico convencional	Média	Alta	Moderado
Espeleoturístico	Baixa	Média	Moderado
Educativo	Média	Alta	Moderado

Vistoria rápida	Manutenção de rotina	Intervenção prolongada
Moderado	Moderado	Alto

Risco máximo por visitação pública	Alto
Cenário determinante (visita�o pública)	Religioso/Missa; Jubileu/Eventos religiosos
A��o norteadora	Priorizar inspeção técnica, sinalização, controle de permanência e avaliação de restrição/ajuste de rota.

E-09



Registros fotográficos da feição E-09. Fonte: MECROC (2020).

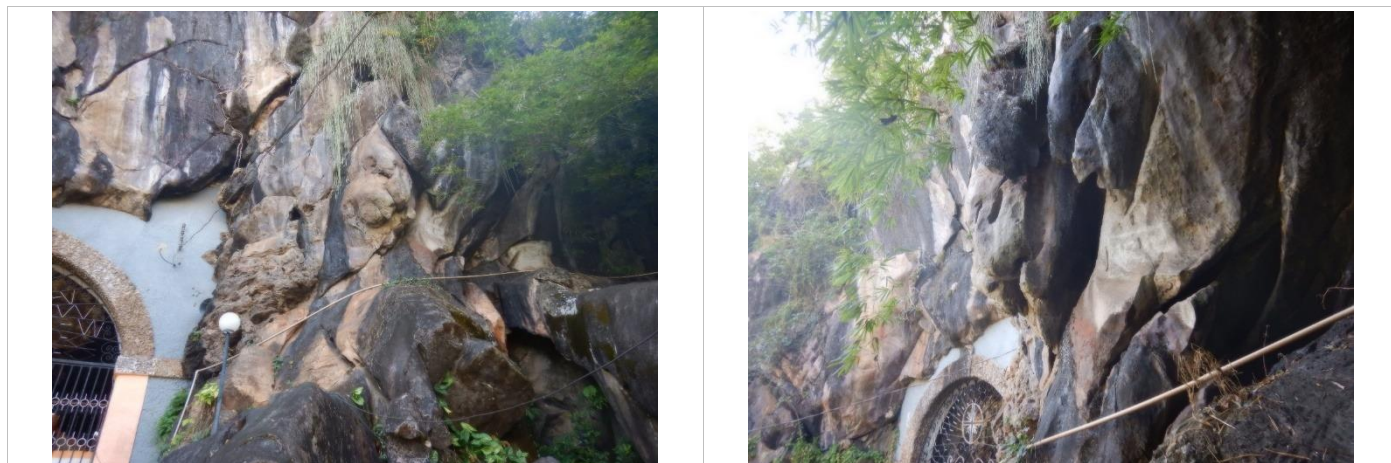
Tipo de feição	Bloco individualizado	Região funcional	Zona externa
Localização	Pórtico	Posição	Teto
Descrição sintética	Bloco individualizado por descontinuidades		
Faces conectadas ao maciço	posterior por F1; lateral por F2; base por S0; face externa livre		
Nº de faces de contato	3	Tamanho estimado	Grande
Plano 1	F1 (278°/63°)	Plano 2	F2 (175°/82°)
Plano 3	S0 (36°/27°)	Abertura	> 5 mm
Rugosidade	Rugosa	Preenchimento	Sem preenchimento
Água	Seco	Mecanismo definido	Ruptura em cunha
Trajetória provável de queda	Queda vertical curta	Área de influência sugerida (m)	3
Possibilidade de ocorrência	Possível	Probabilidade/Frequência estimada	Baixa a média
Pontuação zoneamento (mecanismo)	0	Potencial de dano físico	Alto

Cenário de uso público	Exposição	Consequência	Risco
Religioso/Missa	Alta	Muito alta / crítica	Alto
Jubileu/Eventos religiosos	Alta	Muito alta / crítica	Alto
Turístico convencional	Média	Alta	Moderado
Espeleoturístico	Baixa	Média	Moderado
Educativo	Média	Alta	Moderado

Vistoria rápida	Manutenção de rotina	Intervenção prolongada
Moderado	Moderado	Alto

Risco máximo por visitação pública	Alto
Cenário determinante (visitação pública)	Religioso/Missa; Jubileu/Eventos religiosos
Ação norteadora	Priorizar inspeção técnica, sinalização, controle de permanência e avaliação de restrição/ajuste de rota.

E-11



Registros fotográficos da feição E-11. Fonte: MECROC (2020).

Tipo de feição	Bloco individualizado	Região funcional	Zona externa
Localização	Entrada	Posição	Parede
Descrição sintética	Bloco individualizado por descontinuidades		
Faces conectadas ao maciço	lateral por F1; teto F2; face externa livre		
Nº de faces de contato	2	Tamanho estimado	Muito grande
Plano 1	F1 (278°/63°)	Plano 2	F2 (175°/82°)
Plano 3	—	Abertura	> 5 mm
Rugosidade	Rugosa	Preenchimento	Sem preenchimento
Água	Seco	Mecanismo definido	Ruptura em cunha
Trajetória provável de queda	Queda oblíqua curta	Área de influência sugerida (m)	5
Possibilidade de ocorrência	Pouco provável	Probabilidade/Frequência estimada	Baixa
Pontuação zoneamento (mecanismo)	0	Potencial de dano físico	Muito alto

Cenário de uso público	Exposição	Consequência	Risco
Religioso/Missa	Alta	Muito alta / crítica	Moderado
Jubileu/Eventos religiosos	Alta	Muito alta / crítica	Moderado
Turístico convencional	Média	Alta	Moderado
Espeleoturístico	Baixa	Média	Baixo
Educativo	Média	Alta	Moderado

Vistoria rápida	Manutenção de rotina	Intervenção prolongada
Baixo	Moderado	Moderado

Risco máximo por visita pública	Moderado
Cenário determinante (visita pública)	Religioso/Missa; Jubileu/Eventos religiosos; Turístico convencional; Educativo
Ação norteadora	Monitoramento, sinalização e controle de permanência no setor.