A IMPORTÂNCIA DO MAPEAMENTO GEOMORFOLÓGICO DE DETALHE PARA A COMPREENSÃO DE SISTEMAS CÁRSTICOS: Um Exercício Cartográfico para a Região dos Panelões, Parque Estadual da Serra Negra da Mantiqueira (MG)

Ian Cosenza Irsigler [1]
Andressa Camila Lenz Sott [2]
Luísa do Nascimento Costa Coimbra [3]
Pedro Pussente Cavalier do Vale Neto [4]
Natã Morinigo de Sousa [5]
Laura de Almeida Sposte [6]
Marcelo Taylor de Lima [7]
Fábio Azevedo Khaled Abdel Rahman[8]

RESUMO

Em algumas formações geológicas, as feições cársticas são frequentes e caracterizam a paisagem, desempenhando um papel significativo na modelagem do relevo. Situado na porção meridional da Serra da Mantiqueira, o Parque Estadual da Serra Negra da Mantiqueira (MG) faz parte de um conjunto de cristas quartzíticas descontínuas, nas quais autores vêm trabalhando em sua evolução espeleogenética desde a década de 90, principalmente na Serra de Ibitipoca (MG) e mais recentemente na Serra Negra (MG). O objetivo principal deste trabalho é realizar uma cartografia geomorfológica em escala de 1:500 de uma estrutura quartzítica, que apresenta numerosas feições cársticas, localizada no Parque Estadual da Serra Negra da Mantiqueira. O estudo tem a finalidade de compreender espacialmente a disposição das cavidades ali presentes, e reconhecer as potencialidades de um possível sistema cárstico ainda não completamente prospectado, podendo contribuir para futuras pesquisas na área e auxiliando na identificação de possíveis conexões subterrâneas no local, dado que tais feições estão dispostas de maneira relativamente concentrada. Este mapeamento poderá, ainda, fornecer subsídios para os estudos evolutivos de sistemas cársticos em quartzito. Os processos metodológicos iniciais do mapeamento envolvem etapas de levantamento de campo, nas quais as feições cársticas são localizadas, classificadas conforme sua característica morfológica e registradas em uma base de dados. O mapeamento geomorfológico de detalhe tem como fundamento as informações coletadas em campo complementadas com o

[1] Graduando do Curso de Geografia da Universidade Federal de Juiz de Fora - UFJF, irsigler.cosenza@estudante.ufjf.br;
[2] Graduanda do Curso de Geografia da Universidade Federal de Juiz de Fora - UFJF, acs.lenz@gmail.com;
[3] Graduanda do Curso de Geografia da Universidade Federal de Juiz de Fora - UFJF, luisacoimbra2022@gmail.com;
[4] Graduando do Curso de Geografia da Universidade Federal de Juiz de Fora - UFJF, pussentepedro@gmail.com;
[5] Graduando do Curso de Geografia da Universidade Federal de Juiz de Fora - UFJF, nata.morinigo@gmail.com;
[6] Graduanda do Curso de Geografia da Universidade Federal de Juiz de Fora - UFJF, laurasposte1@hotmail.com;
[7] Graduado pelo Curso de Engenharia Geológica da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto - UFOP, marcelo.taylor@gmail.com;
[8] Doutorando pelo Curso de Ecologia, Programa de Pós –graduação em Ecologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, fabiokhaled2@hotmail.com;

auxílio de imagens aéreas de diferentes períodos. Dessa forma, as morfologias da área de estudo são dispostas em polígonos conforme sua gênese, na qual, símbolos lineares e pontuais foram adicionados para representar feições e processos estruturais do relevo. Feições cársticas, como dolinas, sumidouros e ressurgências de cavernas, são mapeadas, assim como canais perenes e intermitentes, paredões rochosos e fundos de vales, contribuindo para a difusão da metodologia do mapeamento geomorfológico de detalhe em áreas cársticas montanhosas.

INTRODUÇÃO

A compreensão dos sistemas cársticos depende, em grande medida, da análise integrada dos processos morfogenéticos e da configuração espacial das feições que compõem o relevo. Embora tradicionalmente associados a rochas carbonáticas, sistemas cársticos também ocorrem em contextos siliciclásticos, como os quartzitos. Nesse cenário, a cartografia geomorfológica de detalhe se destaca como ferramenta fundamental para o reconhecimento e a interpretação das feições cársticas em quartzito, oferecendo subsídios relevantes à geomorfologia estrutural e à espeleologia.

A área de estudo localiza-se na porção meridional da Serra da Mantiqueira, dentro dos limites do Parque Estadual da Serra Negra da Mantiqueira (MG), no setor conhecido como Panelões, situado no município de Olaria (figura 1). A Serra Negra é uma estrutura quartzítica pertencente ao conjunto das Cristas Quartzíticas Festonadas da Mantiqueira Meridional (MARQUES NETO, 2017), cuja gênese está vinculada ao processo de rifteamento continental na porção Sudeste do Brasil, que culminou no soerguimento da fachada atlântica brasileira (RICCOMINI, 1989). A geologia da Serra Negra é descrita por Rocha *et al*. (2024) como composta predominantemente por quartzitos de granulação grossa, intensamente fraturados, inseridos no contexto das rochas metamórficas da Megassequência Andrelândia. Em contextos tropicais úmidos como o da Serra da Mantiqueira, a percolação de água ao longo de fraturas e contatos litológicos favorece a formação de cavidades (UAGODA, 2006). Estudos em contextos regionais semelhantes, como na Serra de Ibitipoca (Correa Neto, 1993; Silva, 2004), evidenciam esse tipo de relevo. Na própria Serra Negra, Khaled *et al.* (2023) também identificaram dezenas de cavidades em quartzito, assim como Uagoda (2006), destacando a relevância espeleológica da região das Cristas Quartzíticas da Zona da Mata Mineira.

Nesse contexto, este estudo tem como objetivo realizar um mapeamento geomorfológico de detalhe, em escala aproximada de 1:500, em um setor da Serra Negra com elevada densidade de feições cársticas. A partir da abordagem proposta por Nunes

et al. (1994), o trabalho busca interpretar a configuração morfológica e morfodinâmica do relevo, contribuindo para a leitura geomorfológica de ambientes cársticos desenvolvidos em rochas não carbonáticas. Além disso, pretende-se compreender a distribuição espacial dessas feições e avançar metodologicamente na aplicação da cartografia geomorfológica a contextos cársticos. Conforme destaca Cunha (2011), trata-se de uma cartografia cuja complexidade é inerente ao próprio objeto de estudo, o relevo, revelando-se eficaz em terrenos altamente fraturados.

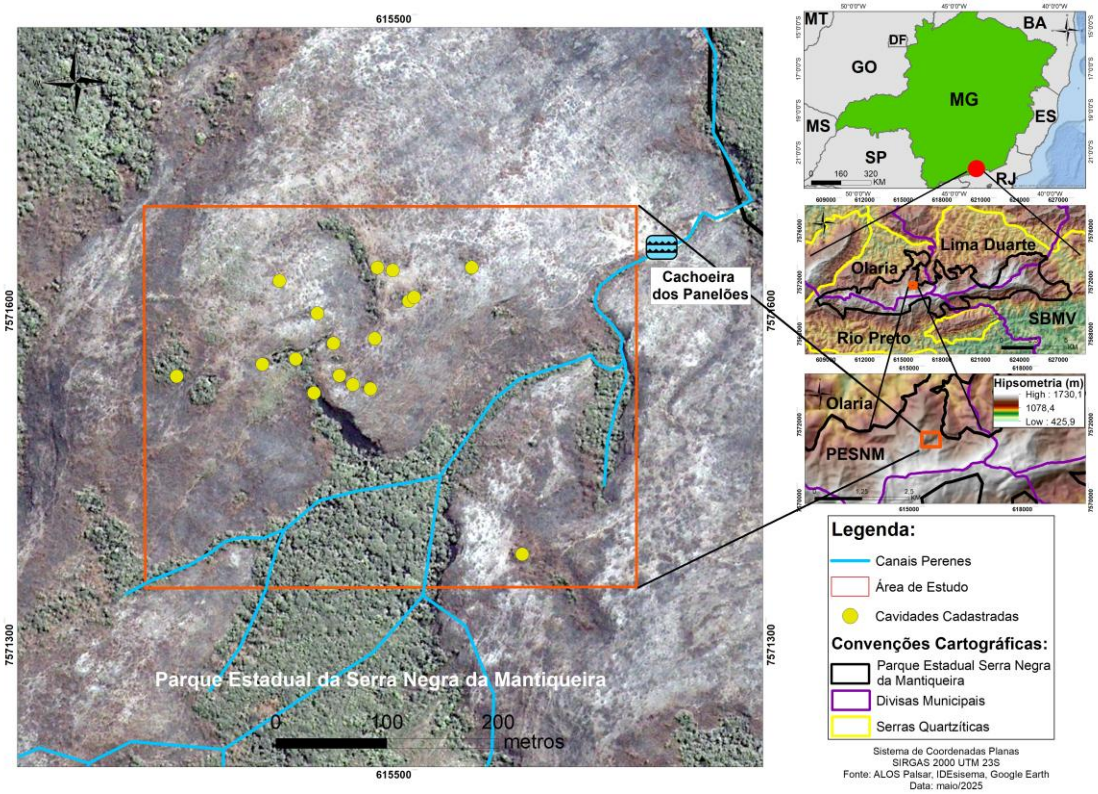

FIGURA 1: Localização da área de estudo. **FONTE:** Grupo GESNA.

MATERIAIS E MÉTODOS

A primeira etapa do trabalho consistiu na realização de expedições para identificação em campo das cavernas e feições cársticas na região da Cachoeira dos Panelões, situada no Parque Estadual da Serra Negra, no setor pertencente ao município de Olaria (MG). À medida que essas feições foram sendo localizadas, suas coordenadas geográficas foram obtidas com o auxílio de um GPS e inseridas em uma base de dados. As cavidades foram classificadas segundo sua morfologia e, posteriormente, cadastradas no Cadastro Nacional de Cavidades (CNC), mantido pela Sociedade Brasileira de Espeleologia (SBE).

Expedições anteriores já contribuíram para a prospecção e o mapeamento preliminar de parte das cavidades da área. No entanto, o sistema espeleológico local ainda abriga diversos condutos inexplorados, devido à sua alta complexidade, com passagens íngremes e estreitas que exigem o uso de equipamentos de progressão vertical; e a cada incursão, novas descobertas são feitas.

O mapeamento geomorfológico de detalhe, em escala aproximada de 1:500, teve como objetivo mapear as feições cársticas superficiais do local. Assim, para gerar a base cartográfica inicial, foi utilizado um modelo digital de elevação obtido no site *Earth Data* (https://search.asf.alaska.edu/#/), a partir do qual foram gerados produtos como curvas de nível, relevo sombreado e declividade, a partir do *software* ArcGIS 10.8. Dados cartográficos complementares, como canais perenes e limites das Unidades de Conservação, foram extraídos do IDE Sisema (https://idesisema.meioambiente.mg.gov.br/webgis) e validados em campo.

Após gerar os produtos cartográficos, delimitou-se a área de estudo por meio de um *shapefile* retangular que abrange as feições cársticas da região da Cachoeira dos Panelões, no Parque Estadual da Serra Negra da Mantiqueira (MG). A carta topográfica de Lima Duarte (SF-23-X-C-VI-3), obtida no site do IBGE (https://biblioteca.ibge.gov.br), foi fundamental para interpretar o relevo, bem como para apoiar o trato morfométrico.

A concepção metodológica escolhida para a cartografia geomorfológica deste trabalho, baseia-se na proposta do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (NUNES *et al*., 1994,2009). Ademais, os trabalhos de Cunha (2011) também influenciaram este estudo, por abordar a cartografia geomorfológica, porém em áreas litorâneas, apresentando as etapas necessárias para o mapeamento em escala de detalhe; assim como os mapeamentos geomorfológicos em escala de semidetalhe de Marques Neto, Zaidan e Menon Jr. (2015) em regiões quartzíticas, além de outros *papers*. Diante da baixa disponibilidade de imagens de satélite com boa resolução compatível com a escala adotada, a solução encontrada foi exportar a imagem do Google Earth por meio da ferramenta “salvar imagem”; em seguida, nas “opções de mapa”, a imagem foi salva em formato JPEG, na melhor qualidade possível e com todos os elementos da carta desabilitados. Para auxiliar esse processo, o polígono retangular que delimita a área de estudo foi exportado ao *Google Earth* por meio da ferramenta “*layer to KML*”.

Posteriormente, a imagem exportada em JPEG foi levada ao *software* QGIS para ser georreferenciada, utilizando-se o *shapefile* da área de estudo como ponto de controle.

As imagens de satélite provenientes do *Google Earth* são datadas de 2000, e foram utilizadas por evidenciar com precisão algumas feições cársticas do local, pelo fato de ocorrer um desgaste na vegetação, provavelmente causado por uma queimada recente na área. Com base nessa imagem e nos trabalhos de campo, as formas de relevo foram agrupadas conforme seu tipo genético: modelados de agradação (A), de dissecação (D) e de dissolução (K), conforme proposto por Nunes *et al.* (1994).

Para os modelados de dissecação, utilizou-se a folha topográfica para o cálculo morfométrico, distinguindo-se entre profundidade de dissecação (PD) e dimensão interfluvial (DI). Esses parâmetros compõem a matriz de dissecação, representada na legenda por uma tabela organizada em conjuntos numéricos de 1 a 5, metodologia já empregada por autores brasileiros. Na legenda, os modelados apresentam a inicial do tipo genético em letra maiúscula, seguida pela descrição da unidade de relevo em minúsculo; no caso dos modelados de dissecação, os valores numéricos representam o grau de dissecação segundo os critérios morfométricos adotados.

Por fim, simbologias pontuais e lineares foram incorporadas com base nas proposições de Tricart (1965), utilizadas também por Nunes *et al*. (1994,2009), permitindo representar no mapa os processos morfoestruturais e morfodinâmicos do relevo. As simbologias utilizadas neste trabalho foram adaptadas no ArcGIS conforme as necessidades locais, considerando a elevada concentração de ocorrências espeleológicas na área, com o objetivo de proporcionar ao leitor uma interpretação mais precisa dos processos morfodinâmicos do local. A definição desses símbolos contou com o apoio de observações de campo, essenciais para o reconhecimento das formas no terreno e para o ajuste das representações à realidade local. Imagens geradas por drone também auxiliaram no mapeamento das feições representadas, assim como aplicativos de localização, como Avenza e Wikiloc.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com Jansen (2012), os quartzitos são considerados de potencial médio para a ocorrência de cavidades naturais subterrâneas. Entretanto, o mapeamento geomorfológico na área de estudo, correspondente ao complexo de cavernas da região

dos Panelões, revela que, neste contexto, os quartzitos apresentam uma distribuição marcante no relevo, o que justifica a proposição das *dolinas* como superfícies espacializadas em padrões de formas semelhantes (ROSS, 1992), pertencentes a um modelado cuja gênese é a dissolução. Outros tipos de modelados também ocorrem na área de estudo, como os modelados de dissecação, em que os *maciços quartzíticos* configuram a principal estrutura morfológica. A presença das ocorrências espeleológicas pode revelar processos estruturais importantes da Serra Negra, uma vez que a abundância dessas feições cársticas não é usual na litologia citada, podendo ser atribuída a processos específicos que acometeram os maciços quartzíticos dos Panelões.

Sendo assim, a cartografia geomorfológica da área de estudo revelou três tipos principais de modelados, manifestados em diferentes morfologias: modelados de agradação (A), modelados de dissecação (D) e modelados de dissolução (K) (figura 2).

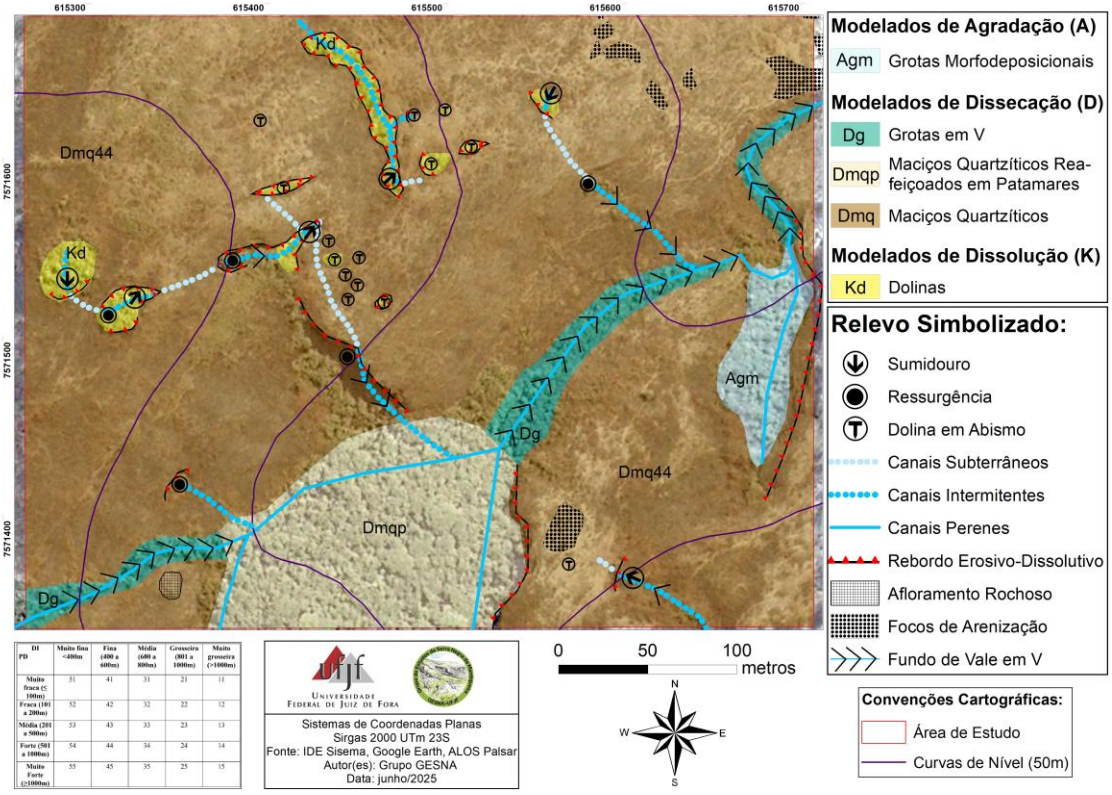

FIGURA 2: Carta geomorfológica da área de estudo. **FONTE:** Grupo GESNA.

As áreas de agradação são caracterizadas pelo acúmulo de sedimentos, formando superfícies relativamente planas na área de estudo, classificadas como *grotas morfodeposicionais*. A grota em questão apresenta características híbridas: um canal encaixado, típico de dissecação ativa, ao lado de setores parcialmente planos e vegetados, indicativos de deposição no contexto local. Para fins cartográficos, foi classificada como

agradação, embora o trabalho ressalte a coexistência desses processos, que refletem a dinâmica geomorfológica local.

Os modelados de dissecação, por sua vez, são subdivididos em três morfologias, sendo elas: (Dg) as *grotas em V*, nas quais canais perenes percorrem o terreno dissecando o relevo e formando *fundos de vale em "V";* (Dmqp) os *maciços quartzíticos reafeiçoados em patamares*, que consistem em morfologias alongadas provenientes de blocos quartzíticos situados em patamares altimétricos mais elevados da serra; e (Dmq) os *maciços quartzíticos*, que, neste caso, representam intrusões quartzíticas em forma de blocos individualizados devido à ação erosiva da dissecação fluvial, apresentando prolongamento dessas estruturas que se estendem em decaimento altimétrico até o contato com os níveis de base regionais, nos limites com a Serra Negra.

As feições de dissolução, representadas por polígonos, além das simbologias lineares e pontuais, estão distribuídas ao longo do maciço quartzítico e apresentam diferentes padrões morfológicos. Considerando a especificidade do complexo cárstico em estudo, sua diferenciação foi possível a partir da adaptação de recursos gráficos propostos por Tricart (1965) e reafirmados por Nunes *et al*. (1994). A primeira distinção no mapa permitiu distinguir *dolinas* largas, fundas e parcialmente acessíveis, que foram poligonizadas; daquelas classificadas como *dolinas em forma de abismo*, cuja entrada exige o uso de equipamentos de progressão vertical em espeleologia, e não apresenta dimensões significativas, nas quais condutos verticais se encontram distribuídos pela superfície, representando desafios para a prospecção do complexo cárstico, representadas por simbologias pontuais.

As dolinas expressivas, espacializadas por meio de polígonos, apresentam *rebordos erosivo-dissolutivos* que foram mapeados para representar bordas íngremes e verticais, marcando rupturas de declive relacionadas a processos de erosão ou dissolução. Essas dolinas largas e profundas refletem importantes processos morfogenéticos da área e estão alinhadas na direção WSW–ENE, sugerindo possível controle estrutural. A recorrência desse alinhamento entre as feições cársticas mais desenvolvidas reforça a hipótese de influência tectônica em sua gênese. Além disso, algumas dolinas associam-se a *sumidouros* e *ressurgências*, evidenciando condutos subterrâneos que interligam as feições já prospectadas, compondo um sistema de cavernas integradas. As cavidades conhecidas foram representadas no mapa por meio de *canais subterrâneos*, quando seus cursos são internos à superfície; e por linhas referentes a *canais intermitentes* para cursos

fluviais nas entradas ou saídas das cavernas, evidenciando a dinâmica hídrica que atua tanto em superfície, quanto em subsuperfície do maciço quartzítico. A presença desses condutos reforça a importância da drenagem como um dos elementos fundamentais na organização e evolução do sistema cárstico local.

De acordo com O´Leary *et al.* (1976), em definição reproduzida por Chiessi (2004), lineamentos são feições lineares mapeáveis, simples ou compostas, cujas partes se alinham de forma reta ou levemente curva, distinguindo-se dos padrões das feições adjacentes e refletindo, presumivelmente, fenômenos de subsuperfície. No presente estudo, observou-se que algumas dolinas e as entradas e saídas de cavernas estão distribuídas e alinhadas na direção WSW–ENE, sugerindo a atuação de linhas de fraqueza ou falhamentos que podem ter condicionado a gênese dessas feições cársticas. Tais evidências reforçam a hipótese de que processos morfoestruturais, em conjunto com a ação dissolutiva, desempenham papel fundamental na organização espacial do relevo cárstico mapeado.

Além disso, outros elementos geomorfológicos foram mapeados por meio de simbologias pontuais, como um afloramento rochoso expressivo, que forma uma faixa circular pouco vegetada em meio aos campos rupestres, além de focos concentrados de arenização, assim como mapearam Marques Neto, Zaidan e Menon Jr. (2015), em cristas quartzíticas situadas no município de Lima Duarte (MG).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A cartografia geomorfológica desenvolvida neste trabalho mostrou-se fundamental para a continuidade da prospecção e espacialização detalhada das feições cársticas presentes na região dos Panelões. A identificação precisa dessas formas no relevo contribui para a compreensão desse sistema ainda pouco explorado, oferecendo bases sólidas para futuras investigações científicas.

Este estudo destaca a relevância de integrar o mapeamento geomorfológico de detalhe ao estudo dos contextos cársticos no Brasil. Embora essa abordagem ainda esteja em desenvolvimento no país, ela amplia a capacidade de compreender as complexidades dos sistemas cársticos em ambientes de quartzito, adaptando uma base metodológica que enriquece tanto a espeleologia quanto a geomorfologia, fortalecendo o diálogo entre essas disciplinas.

Além disso, a geração de produtos cartográficos claros e detalhados mostrou-se imprescindível para facilitar a interpretação do relevo, apoiando tanto a comunidade científica quanto os gestores ambientais. Nesse sentido, o presente trabalho pode servir como ferramenta valiosa para a administração do Parque Estadual da Serra Negra da Mantiqueira (MG), subsidiando ações de planejamento, promovendo o uso sustentável e a conservação do patrimônio espeleológico.

Por fim o mapeamento trouxe à tona informações estruturais da serra que abrem caminhos para uma compreensão mais aprofundada dos processos tectônicos atuantes na região. Essas contribuições reforçam o potencial do estudo para embasar pesquisas futuras e aprimorar o conhecimento espeleológico e geomorfológico do complexo das Maritacas, na região da Cachoeira dos Panelões. Sendo assim, é reforçada a importância da cartografia geomorfológica de detalhe como ferramenta para o reconhecimento do relevo e a conservação dos ambientes cársticos.

Palavras-chave: Cartografia Geomorfológica, Cristas Quartzíticas, Feições Cársticas, Imagens Aéreas.

AGRADECIMENTOS

Parte dos dados foram obtidos através do projeto CAVERNAS DA SERRA NEGRA, contemplado por meio do Edital SBE nº 01/2023, Item XV da Cláusula II do TCCE nº 02/2020/ICMBio, firmado entre a Vale S.A. e o Instituto Chico Mendes de Conservação para a Biodiversidade (ICMBio), com gestão operacional realizada pelo Instituto Brasileiro de Desenvolvimento e Sustentabilidade (IABS).

REFERÊNCIAS

SOCIEDADE BRASILEIRA DE ESPELEOLOGIA. **Cadastro Nacional de Cavernas do Brasil**. Campinas: SBE, 2025.

CHIESSI, C. M. **Tectônica Cenozóica no Maciço Alcalino de Passa Quatro (SP-MG-RJ)**. 2004. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

CORRÊA NETO, A. V.; ANISIO, L. C. C.; BRANDÃO, C. P. Um Endocarste Quartzítico na Serra do Ibitipoca, SE de Minas Gerais. **Simpósio de Geologia de Minas Gerais**, 7, Anais do Boletim SBG núcleo MG. 12: 83-86, 1993.

CUNHA, C. M. L. **A cartografia geomorfológica em áreas litorâneas**. 2011. Tese (Livre-Docência em Geografia) – Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2011.

JANSEN, D. C.; CAVALCANTI, L. F.; LAMBLÉM, H.S. Mapa de potencialidade de ocorrência de cavernas no Brasil, na escala 1:2.500.000. **Revista Brasileira de Espeleologia**, Campinas, v. 2, n. 1, p. 42-57, 2012.

KHALED, F. A. A. R *et al*. Caracterização das cavernas do Parque Estadual da Serra Negra da Mantiqueira, Minas Gerais, Brasil. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE ESPELEOLOGIA, 37., 2023, Curitiba. **Anais [...]**. Campinas: Sociedade Brasileira de Espeleologia, 2023. p. 75-80.

MARQUES NETO, R. O horst da Mantiqueira Meridional: proposta de compartimentação morfoestrutural para sua porção mineira. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, Goiânia, v. 18, n. 3, p. 561-577, jul./set. 2017.

MARQUES NETO, R.; ZAIDAN, R.T.; MENON JR, W. Mapeamento geomorfológico do município de Lima Duarte (MG). **Revista Brasileira de Geomorfologia**, Goiânia, v. 16, n. 1, p. 135-151, jan./mar. 2015.

NUNES, B. A. *et al*. **Manual técnico de geomorfologia**. Rio de Janeiro: IBGE, 1994. 113 p. (Manuais Técnicos em Geociências, n. 5).

O'LEARY, D. W.; FRIEDMAN, J. D.; ´PHN, H. A. Lineament, linear, lineation: Some proposed new standards for old terms. **Geological Society of America Bulletin**, v. 87, n.10, p. 1463-1469, 1976.

ROCHA, A. C. *et al*. The passive margin of the southern São Francisco paleocontinent, metamorphic record and implications for the assembly of West Gondwana: Evidence from the Lima Duarte Nappe, Ribeira Orogen (SE Brazil). **Precambrian Research**, Amsterdam, v. 404, art. 107338, jul. 2024.

ROSS, J. L. S. O registro cartográfico dos fatos geomórficos e a questão da taxonomia do relevo. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, v. 6, p. 19-29, 1992.

SILVA, S. M. **Carstificação em rochas siliciclásticas: estudo de caso na Serra do Ibitipoca, Minas Gerais**. 2004. 143 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2004.

TRICART, J. **Principes et méthodes de la géomorphologie**. Paris: Masson, 1965. 496p.

UAGODA, R. **Reconhecimento geomorfológico de relevo cárstico sob rochas quartzíticas: bacia hidrográfica do Ribeirão Santana, Médio Vale do Rio Paraíba do Sul**. 2006. 101 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.