Caracterização das feições geológicas de cavidades naturais subterrâneas em diferentes contextos litológicos no Brasil

Characterisation of the geological features of natural underground cavities in different lithologic contexts in Brazil

Laís Luana Massuqueto
Geógrafa e Doutora em Geologia Ambiental, Programa de pós-graduação em Geologia da
Universidade Federal do Paraná (UFPR)
Grupo Universitário de Pesquisas Espeleológicas (GUPE), Brasil
lais.massuqueto@gmail.com

Luiz Alberto Fernandes

Geólogo e Doutor em Geologia, Programa de pós-graduação em Geologia da Universidade Federal do Paraná (UFPR), Brasil lufernandes@ufpr.br

Henrique Simão Pontes

Geógrafo e Doutor em Geologia Ambiental, Departamento de Geociências, Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG) e Grupo Universitário de Pesquisas Espeleológicas (GUPE), Brasil henriquegeografo@gmail.com

Resumo

Este artigo apresenta um inventário de feições geológicas passíveis de serem encontradas em cavernas brasileiras, desenvolvidas em rochas carbonáticas, siliciclásticas, ferríferas e graníticas. Um diagnóstico realizado e avaliado pela comunidade científica especializada em geodiversidade de ambientes subterrâneos (através de questionário semiaberto) permitiu identificar 23 feições de cavernas desenvolvidas nos diferentes litotipos. Além disso, o reconhecimento de frequência de ocorrência das feições (raridade ou regularidade), do nível de conhecimento da comunidade científica e as formações rochosas que apresentam maior registro de pesquisas, permitiram discussões qualitativas, com base nos dados quantitativos gerados pelas entrevistas. A pesquisa discutiu aspectos da relevância de cavernas e debate com os tópicos que tratam sobre a geodiversidade subterrânea, confrontando com a legislação espeleológica. O diagnóstico gerado contribui com o conhecimento científico nesta área e pode auxiliar na revisão de políticas públicas, na elaboração de protocolos para estudos de licenciamento espeleológico e medidas de geoconservação de cavernas.

Palavras-chave: cavernas, geodiversidade, legislação espeleológica.

Abstract

This paper presents an inventory of geodiversity features found in Brazilian caves, developed in carbonate, siliciclastic, iron and granite rocks. A diagnosis made with the scientific community specialised in cave's geodiversity (by a semi-open questionnaire) allowed to identify 23 geological features of caves developed in the different lithotypes. Besides, recognising the features occurrence frequency (rarity or regularity), the scientific community's knowledge and the rock formations that present a larger research record allowed for qualitative discussions, based on the quantitative data generated by the interviews. The research discusses cave relevance and debate topics dealing with underground geodiversity, in contrast to speleological legislation. The diagnosis contributes to the

scientific knowledge in this area. It can help revise public policies and elaboration of protocols for studies of speleological licensing and the caves geoconservation.

Keywords: caves, speleological legislation, geodiversity.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, o Brasil possui 21.397 cavernas, de acordo com os registros estatísticos do Cadastro Nacional de Informações Espeleológicas (CANIE) do Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas (CECAV), órgão vinculado ao Instituto Chico Mendes de Proteção da Biodiversidade (ICMBio) (CANIE, 2020). Há potencial para a descoberta de milhares de novas cavernas no Brasil, devido à extensão territorial do país e a presença de várias áreas que ainda não foram exploradas. Neste sentido, Piló e Auler (2011) colocam que apesar de o potencial espeleológico do Brasil estar na faixa de algumas centenas de milhares de cavernas, pouquíssimas são conhecidas.

Atualizando os dados de Jansen *et al.*, (2012), que estimam o total de cavernas no território nacional, calcula-se que apenas 5,8% deste potencial espeleológico é conhecido. De acordo com Auler (2019), em análise do potencial espeleológico brasileiro, apenas para áreas com ocorrência de rochas carbonáticas, siliciclástica e ferríferas, apontou um potencial para mais de 1,2 milhões de cavidades naturais subterrâneas.

Conforme dados do Cadastro Nacional de Cavernas (CNC) da Sociedade Brasileira de Espeleologia (SBE), a maioria das cavernas se desenvolve em quatro tipos de rochas, sendo aproximadamente: 68% carbonáticas, 12% siliciclásticas, 11% ferríferas e 3% graníticas (CNC, 2020). O CANIE apresenta porcentagens diferentes, por conter mais cavernas catalogadas em seu banco de dados, sendo: 68,5% carbonáticas, 19,5% ferríferas, 9,9% siliciclásticas e 1% graníticas (CANIE, 2018). Com base nos dados do CANIE, 98,9% do contexto espeleológico nacional é formado principalmente por cavidades nestes quatro tipos de rocha.

O interior de uma caverna possui uma variedade e complexidade de formas e feições dificilmente encontradas na paisagem externa (AULER e PILÓ, 2013). Como salientado, as cavidades subterrâneas se desenvolvem em diferentes litotipos, até mesmo em rochas com baixa solubilidade. E a diversidade de elementos abióticos e suas peculiaridades se amplificam quando considerado os diferentes tipos de rochas possíveis de ocorrer cavernas.

Essa geodiversidade faz das cavidades naturais subterrâneas, ambientes naturais únicos, peculiares e delicados, onde pequenas alterações podem representar ameaças sérias à integridade do meio subterrâneo. Por tais características, estes locais merecem cuidado especial e para sua proteção demanda-se atenção jurídica (AULER, 2005).

Dentre os principais instrumentos jurídicos sobre o patrimônio espeleológico brasileiro está a Constituição Federal de 1988, que classifica as cavernas como bens da União e de interesse público. Assim, as cavernas estão sujeitas a um forte regramento visando sua proteção, gerando uma série de restrições, por exemplo, frente ao direito de propriedade (RIBAS e CARVALHO, 2009). Outro importante dispositivo é o Decreto nº 99.556 de 1º de Outubro de 1990 que salienta a necessidade de proteção das cavidades naturais subterrâneas existentes no território nacional (BRASIL, 1990).

Com o Decreto nº 6.640, de 7 de novembro de 2008 (que alterou o Decreto nº 99.556/1990) e a Instrução Normativa MMA nº2, de 30 de agosto de 2017 (que recentemente revogou a IN MMA nº2/2009), foi estabelecido um método para a classificação da relevância espeleológica, utilizada em casos de licenciamento ambiental que envolvam a supressão ou geração de impactos negativos diversos às cavernas e/ou suas áreas de influência. Esta classificação deve considerar as características biológicas, ecológicas, geológicas, paleontológicas, hidrológicas, cênicas, histórico-culturais e socioeconômicas. Segundo Berbert-Born (2010), situações de notoriedade, singularidade, expressividade, representatividade e significância devem ser atributos reconhecidos e que traduzam valores ecológicos, científicos e culturais das cavidades subterrâneas a serem preservados ou compensados.

Porém, se em tese o Decreto nº 6.640/2008 e a Instrução Normativa MMA nº 2/2017 indicam estas características e atributos a serem analisados e levados em conta para a realização de estudos de licenciamento ambiental, na prática ocorreram falhas e lacunas em seus textos normativos. E uma destas falhas está diretamente relacionada com as feições geológicas (integrante dos aspectos da geodiversidade) sua complexidade e riqueza de geoformas, principalmente ao analisá-las nos diferentes contextos geológicos passíveis de ocorrência de cavidades naturais subterrâneas.

A partir desta problemática, foi realizado um inventário de feições geológicas que podem ocorrer em cavernas brasileiras, desenvolvidas em rochas carbonáticas, siliciclásticas, ferríferas e graníticas. Não há publicações que reúnam informações a respeito e a legislação atual não fornece detalhes sobre os aspectos da geodiversidade subterrânea. Com isso, foi produzido um diagnóstico atualizado sobre as feições geológicas e o registro de ocorrência de cada uma destas feições nos diferentes litotipos acima destacados.

Assim, pretende-se obter um panorama completo da geodiversidade de cavidades naturais subterrâneas no Brasil, a fim de contribuir com o conhecimento científico nesta área, na revisão de políticas públicas e em protocolos para elaboração de estudos que visem o licenciamento espeleológico.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Referências nacionais e internacionais sobre o conceito geodiversidade e feições geológicas de cavernas foram utilizadas para elaboração de inventário prévio das feições passíveis de serem identificadas nas cavidades naturais subterrâneas do Brasil. Da mesma forma, a legislação espeleológica foi analisada para enumerar os componentes geológicos elencados no decreto e instrução normativa.

Os trabalhos de campo visaram comparar os aspectos físicos de cada ambiente e realizar um refinamento no inventário das feições da geodiversidade subterrânea. Para isso, foram estudadas cavernas desenvolvidas em rochas carbonáticas, siliciclásticas, graníticas e ferríferas, na tentativa de abordar de modo representativo as feições geológicas de cavernas no contexto nacional. Os levantamentos de campo foram realizados em cavidades desenvolvidas em rochas sedimentares siliciclásticas no município de Ponta Grossa (Paraná), carbonáticas no município de Castro (Paraná), ferríferas do município de Caeté (Minas Gerais) e graníticas em Florianópolis (Santa Catarina) (Figura 1).

A escolha de cavernas destas áreas foi justificada pela presença de destacados aspectos da geodiversidade subterrânea nestes ambientes, por conter variados tipos de feições espeleogenéticas e espeleotemas, e por configurarem áreas de destaque nos contextos litológicos nos quais estão inseridas. Trata-se de relevante amostragem do contexto espeleológico nacional.

Após refinamento do inventário realizado nos levantamentos em campo, foi elaborada uma ficha contendo as feições geológicas identificadas e os contextos geoespeleológicos. Essa ficha (caracterizada como um questionário semiaberto) foi submetida para a avaliação e contribuição de pesquisadores espeleólogos de todo Brasil. A ficha foi enviada para sessenta pesquisadores, vinte e sete grupos de espeleologia e vinte e duas empresas que oferecem serviços de licenciamento espeleológico.

Os resultados obtidos nesta etapa possibilitou a elaboração de análises quantitativas sobre cada feição da geodiversidade subterrânea e padronização de nomenclatura, inclusão de novos termos e conceitos. Assim, os registros de cada uma das feições em cada litotipo indicado (com base na experiência dos pesquisadores) foram comparados entre si, permitindo uma análise qualitativa dos dados. Esta avaliação resultou em informações sobre a frequência de ocorrência das feições (fundamental para determinar o parâmetro raridade), o conhecimento da comunidade científica sobre o tema e quais formações rochosas apresentam maior registro de pesquisas.

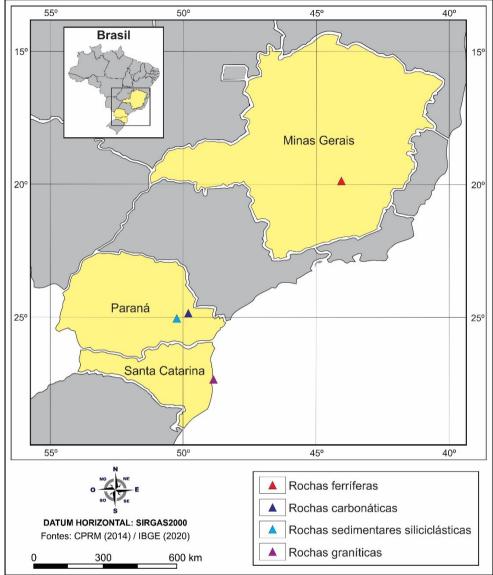


Figura 1 - Localização das cavidades naturais subterrâneas (desenvolvidas em rochas sedimentares siliciclásticas, carbonáticas, ferríferas e graníticas) analisadas na presente pesquisa.

3. AS FEIÇÕES GEOLÓGICAS: GEODIVERSIDADE DE CAVIDADES NATURAIS SUBTERRÂNEAS

Gray (2004) caracteriza a geodiversidade como a variedade natural (diversidade) de recursos geológicos (rochas, minerais, fósseis), geomorfológicos (relevo, processos) e do solo. Feições geológicas de cavidades naturais subterrâneas têm como definição conceitual todas as geoformas ou elementos geológicos existentes no ambiente subterrâneo. Podem ser classificadas como primárias e secundárias, dependendo do momento de formação, se antes ou após a existência da caverna.

As feições geológicas primárias são desenvolvidas antes da existência da caverna e incluem características específicas criadas durante o processo de formação da rocha, tais como estruturas sedimentares, fósseis, icnofósseis e contatos geológicos. As feições secundárias são

aquelas que envolvem processos geológicos que formam e moldam as cavidades naturais subterrâneas e dão origem aos espeleotemas, espeleogens e depósitos clásticos.

Com o intuito de identificar as principais feições passíveis de serem identificadas em cavernas desenvolvidas nos quatro contextos geológicos no Brasil, buscou-se suporte em artigos e trabalhos científicos que abordam o tema, dentre eles: Goodchild e Ford (1971), Curl (1974), Rodet (1996), Vergari e Quinif (1997), Hill e Forti (1997), Quinif (1999), Stafford *et al.*, (2008), Hardt *et al.*, (2009), Klimchouk (2009), Pasini (2009), Wray (2009), Young, Wray e Young (2009), Lundberg, Brewer-Carias e McFarlane (2010), Massuqueto (2010), Timo e Oliveira (2012), Massuqueto (2012), Pontes (2014), Ahmadi *et al.*, (2015), Melo *et al.*, (2015), Karmann (2016), Timo e Timo (2016), Feinberg, Gao e Alexander (2016), GUPE (2017) e Pontes *et al.*, (2018). A partir dos trabalhos citados e dos resultados adquiridos durante as investigações realizadas nas quatro áreas de estudo, foram identificadas vinte e três feições geológicas de cavernas, descritas a seguir.

3.1. Espeleotemas

O termo espeleotema deriva da palavra grega *spelaion* (caverna) e *thema* (depósito), portanto, trata-se de um depósito de caverna (COLLET, 1981). É um termo comum que abrange todos os depósitos minerais secundários de cavernas, originados pela dissolução de minerais, que são transportados pelo corpo rochoso, e precipitados no teto, paredes e piso de cavidades. A formação de um espeleotema depende de diversos fatores, dentre eles, o volume de água envolvido, velocidade de gotejamento, teor de gás carbônico na água e temperatura (BRANCO, 2014).

Além disso, os espeleotemas podem se formar mediante influência ou indução de microrganismos, sendo nestes casos, nomeados de microbialitos (CAÑAVERAS, 2001; AUBRECHT, 2008). Estas feições apresentam-se em diversas formas e ganham nomenclaturas próprias, como: estalactites, estalagmites, corais, helictites, colunas, canudos, cascatas de rocha, represas de travertinos, entre outros. Estão entre as feições mais conhecidas e de destaque das cavernas, quando bem desenvolvidas e preservadas são providas de valor científico, didático e interesse turístico (Figura 2a).

3.2. Depósitos clásticos

Clastos são fragmentos de rochas, de tamanho variado, formados a partir de processos intempéricos, podendo ser transportados e posteriormente depositados, originando uma rocha sedimentar. Laureano e Karmann (2013) afirmam que as cavernas são feições erosivas que tendem a ser naturalmente destruídas com o tempo, no compasso dos mesmos processos erosivos que as

esculpiram. Os vazios que ocorrem no interior das cavernas estão propícios a receberem sedimentos, provenientes de outras partes da mesma caverna ou do exterior e que são carreados por fluxos de água para o interior da cavidade. Nesses vazios, os sedimentos são depositados e preservados, formando os depósitos clásticos ou detríticos (Figura 2b). Ao passar do tempo, este material se agrega nas paredes, pisos e tetos da caverna, devido à presença de sedimentos mais finos, como argilas, que funcionam como material coloidal e pela cimentação, geralmente, de constituintes carbonáticos. Estas feições possibilitam interpretações paleoambientais, espeleogenéticas e de estágios de evolução da cavidade.

3.3. Dutos de dissolução

Os dutos de dissolução (ou tubos, condutos, canalículos) são canais subterrâneos desenvolvidos na rocha, com diâmetro de poucos milímetros a métricos, formados a partir da ação intempérica e erosiva de água subterrânea, estando geralmente associados a processos de dissolução freática (Figura 2c). Estes dutos podem ser conectados, apresentando circulação organizada de fluidos, distribuídos em sistemas e subsistemas. De acordo com Wray (2009) estas feições não são apenas lineares, mas podem ser um complexo sistema de drenagem, onde uma série de dutos menores se une para formar um grande duto, ou seja, um canal mais bem desenvolvido. A seção comumente circular destas feições sugere que elas tiveram sua gênese em condições freáticas rasas ou epifreáticas. No entanto, os dutos podem apresentar formas variadas e há casos em que foram formados em ambiente vadoso, por ação de águas meteóricas e de cursos fluviais.

3.4. Cúpulas de dissolução (bell-holes, out-lets)

São feições côncavas encontradas no teto de cavernas, com forma circular a elíptico. São formadas a partir da dissolução da rocha e apresentam desenvolvimento vertical, que varia de alguns centímetros até alguns metros, tanto de largura quanto de profundidade (Figura 2d). Desenvolvem-se em condutos totalmente inundados por determinado período de tempo, o que possibilita a erosão do teto da caverna pela água, tanto de rios como de águas freáticas (HARDT *et al.*, 2009).

3.5. Domos (out-lets)

Os domos são estruturas anticlinais fechadas de formato circular com camadas mergulhando, a partir de uma zona central, divergentemente em todos os sentidos, à semelhança de uma abóboda (WINGE, 2001). Os domos podem ser confundidos com cúpulas, porém se trata de feições maiores, apresentando vários metros de largura e profundidade. É formado por quebra ou

intemperismo químico, geralmente em rochas mecanicamente fracas (JENNING, 1997). O domo não é necessariamente uma forma ovalada perfeita e regular, com paredes lisas, pois estratificações e fraturas podem gerar irregularidades e formas angulares nessa feição (Figura 2e).

3.6. Chaminé de equilíbrio (out-let)

É uma abertura vertical ou quase vertical formada no teto de cavernas (Figura 2f). É considerado um duto cilindriforme verticalizado estreito que permite acesso à superfície. Se a superfície não for atingida, então é chamada de chaminé cega (JENNING, 1997). Considera-se que as chaminés de equilíbrio são resultadas dos processos de evolução de cúpulas de dissolução. Não há um parâmetro que coloque um limite exato de tamanho e profundidade para estabelecer se a feição é uma cúpula ou uma chaminé. Porém, se a feição apresentar notável tendência de desenvolvimento vertical superior ao seu diâmetro trata-se de uma chaminé de equilíbrio. É necessário observar estas feições em conjunto e analisar minuciosamente a maturidade do processo para estabelecer de qual feição se trata.

As chaminés de equilíbrio são formadas em cavidades totalmente inundadas por determinado período de tempo, por águas fluviais ou subterrâneas, e evidenciam uma forte erosão ascendente.

3.7. Claraboias

São aberturas causadas de forma natural no teto de cavernas, que possibilita a entrada de luz no ambiente subterrâneo e, segundo Field (1999), permite o acesso até a superfície do terreno (Figura 2g). A gênese desta feição ocorre pelo desmoronamento do teto de cavernas ou devido à ação erosiva ascendente da água. As claraboias também facilitam a circulação atmosférica e a entrada de matéria orgânica e de águas superfíciais para o interior da cavidade. Destaca-se que as chaminés de equilíbrio podem estar associadas com claraboias, assim como os domos.

3.8. Alvéolos (tafoni/honeycomb)

Embora existam muitos estudos sobre a gênese de alvéolos, ainda são consideradas feições geológicas mal compreendidas (KLIMCHOUK, 2017). Os alvéolos ou *tafoni* apresentam forma circular côncava, atingindo de poucos centímetros a metros de diâmetro, desenvolvidos principalmente em paredes e tetos de cavernas (Figura 2h).

Também podem ocorrer no piso, embora seja menos comum. Estas feições podem ser desenvolvidas separadamente ou em grupo, formando cadeia de alvéolos ou estrutura de favo de mel (honeycomb). A gênese desta feição é muito diversificada, podendo se formar em diferentes

condições e processos, envolvendo dissolução em ambiente freático, ação erosiva de águas pluviais e fluviais ou carstificação hipogenética (KLIMCHOUK, 2017). A presença de micro-organismos também pode influenciar na formação e evolução destas feições, pois auxiliam na esfoliação da rocha, facilitando a percolação da água.

3.9. Canais de teto (meandros de teto, half-tube)

Esta feição se desenvolve no teto de cavernas e consiste em um canal côncavo que se assemelha a um tubo cortado ao meio e disposto na horizontal (Figura 2i). Podem exibir formas de desenvolvimento retilíneas ou meandrantes. Tem origem como um tubo de passagem de água freática (duto de dissolução), geralmente associado ao plano de estratificação ou alguma outra descontinuidade física da rocha. No entanto, por questões evolutivas da caverna, envolvendo processos de dissolução e erosão, a porção inferior do duto é removida, formando uma galeria subterrânea, ficando apenas a marca no teto e o registro daquilo que um dia foi um duto freático (FIELD, 1999). Há outras interpretações genéticas para os canais de teto, para Pasini (2009) são formados por erosão ascendente causada pela água subterrânea que circula sob pressão (erosão antigravitativa) e para Klimchouk (2007) podem se tratar de típicas feições formadas por carstificação hipogenética.

3.10. Canais de parede (wall half-tube)

Assim como os canais de teto, são vestígios de passagens de água por dutos de dissolução (tubos freáticos), mas por processos evolutivos foram destruídos, mantendo-se apenas indícios de um antigo conduto. Diferentemente dos canais de teto, esta feição se forma exclusivamente nas paredes das cavernas, apresentando padrão de desenvolvimento ascendente (Figura 2j). Outras possibilidades genéticas, assim como apresentadas para os canais de teto, também se aplicam para os canais de parede.

3.11. Scallops (depressões tipo concha)

São marcas em forma de conchas encontradas em paredes, teto e piso de cavernas, causadas pela erosão por redemoinho em correntes de água (Figura 2k). São geralmente assimétricas, com a sua extremidade de montante mais acentuada do que a extremidade a jusante, podendo ser usadas para determinar o sentido do escoamento de águas (rumo de fluxos em trechos abandonados), uma vez que são mais acentuados no lado a montante (FIELD, 1999). Podem variar de poucos até dezenas de centímetros de comprimento, e quanto menor o tamanho da feição, mais

rápido era o fluxo de água que os esculpia (CURL, 1974). Servem como comprovação de um fluxo passado turbulento (TRAVASSOS *et al.*, 2015).

3.12. Alimentadores (feeders)

Conforme Klimchouk (2007, 2009) os alimentadores (Figura 2l) são pontos de entrada situados em porções basais de uma galeria subterrânea, através dos quais, em tempos pretéritos, fluidos subiram do aquífero de origem para os sistemas situados acima. São feições consideradas menos frequentes em cavernas, pois ocorrem em sistemas que apresentam espeleogênese hipogenética (termo utilizado para designar sistema cárstico formado em profundidade pela ação de fluidos profundos e ascendentes) (TRAVASSOS *et al.*, 2015).

3.13. Anastomoses

São feições que, quando maturas, podem se apresentar como um conjunto de pequenos canais anastomosados no teto ou paredes de cavernas, como também feições erosivas com aspecto corroído e ruiniforme, formando superfícies irregulares, pontiagudas e, em determinadas situações, com vestígios de antigos canais interconectados (Figura 2m). A ocorrência desta feição da geodiversidade evidencia um ambiente aquático com baixa energia durante sua formação. Para Auler e Piló (2013) as anastomoses são comuns em cavernas paragenéticas, formando-se no contato entre sedimento e solo, e evidenciam a fase inicial de espeleogênese em uma cavidade subterrânea.

3.14. Incrustações

As incrustações são crostas que se formam sobre as rochas em paredes, teto ou piso das cavernas (Figura 2n). Esta feição da geodiversidade ocorre comumente como crosta ferruginosa, porém de composição mineral diversificada. De acordo com Vergès-Belmin (2008), geralmente são compostas por carbonatos, sulfatos, silicatos ou óxidos metálicos. Trata-se de uma camada compacta, rígida e aderente, com forma e cor diferentes da encontrada na rocha subjacente, formada a partir de mineiras que migram da própria rocha para a superfície (FIELD, 1999).

3.15. Sulcos verticais (cerdas de baleia)

Os sulcos verticais são feições erosivas, geralmente desenvolvidas em rochas de granulação fina (fração silte e argila) (Figura 2o). A água que se infiltra na rocha e a alta umidade presente no interior das cavernas permite a formação de gotas de água que se acumulam nas paredes. Estas gotas escorrem pela parede e com o tempo erodem as rochas com granulação mais

fina, formando pequenos filetes paralelos. Estes sulcos apresentam cerca de cinco milímetros de espessura e espaçamento entre cada filete de aproximadamente cinco a dez milímetros. Verticalmente e lateralmente, o conjunto de sulcos pode se estender por dezenas de centímetros.

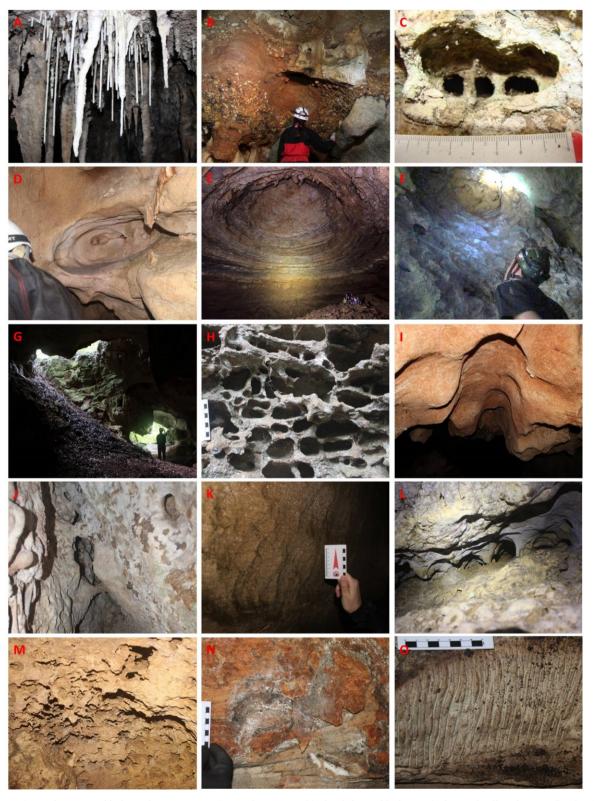


Figura 2 - Feições geológicas de cavernas: a) espeleotemas; b) depósitos clásticos; c) dutos de dissolução; d) cúpulas de dissolução; e) domos; f) chaminé de equilíbrio; g) claraboia; h) alvéolos; i) canais de teto; j) canais de parede; k) *scallops*; l) alimentadores; m) anastomose; n) incrustação e; o) sulcos verticais (Fotos: Henrique Simão Pontes; Foto E: CSX Corporation).

3.16. Pendentes

São feições associadas à erosão em forma de projeções desenvolvidas nos tetos de cavernas em direção ao piso, sendo comumente encontradas em cavernas preenchidas por sedimentos (AULER e PILÓ, 2013) (Figura 3a). Para estes autores a gênese dos pendentes está relacionada, provavelmente, com a dissolução diferencial na interface sedimento-rocha. Os pendentes também podem se formar a partir da exumação de pilares, através de erosão em ambiente de alta energia, formando projeções no teto da caverna de formato arredondado, cônico, irregular e mamelonado.

3.17. Pilares

Os pilares, assim como os pendentes, são feições comumente encontradas em cavernas Trata-se de formas residuais, resultadas de erosão diferencial do substrato rochoso (Figura 3b). De acordo com Calux e Cassimiro (2015) tais feições (assim como os pendentes) são registros do processo de formação e evolução da caverna. Os autores salientam que se a altura das colunas for maior que o diâmetro e estas feições estiverem associadas a sulcos de percolação, provavelmente a gênese ocorreu em ambiente vadoso. Associados a dutos, costumam apresentar forma alongada e comprimento maior que a altura, sugerindo individualização a partir do fluxo concentrado de água e outros materiais abrasivos. Quando há ocorrência de muitos pilares formando uma rede labiríntica, a gênese dessas feições é associada a ambiente freático ou de transição (CALUX e CASSIMIRO, 2015).

3.18. Pontões estruturais

Os pontões são semelhantes aos pendentes, porém tem forma irregular, geralmente retangular provocada pelas estruturas da rocha encaixante (Figura 3c). Em rochas fortemente fraturadas ou com marcante estratificação plano-paralela e estratos tabulares, é comum o desprendimento parcial de blocos, que formam estruturas sobressalientes no teto e paredes de cavernas. Timo e Timo (2016) destacam que a interseção de planos de descontinuidade repetitivos, como clivagem e foliação, também geram deslocamentos de fragmentos rochosos com forma angulosa, que constituem os pontões estruturais.

3.19. Patamares

Os patamares constituem desníveis abruptos (escarpados) seguidos por superfície horizontalizada na parte superior (Figura 3d). Essas diferenças de nível possibilitam o aumento do

gradiente hidráulico e, consequente, da erosão (TIMO e TIMO, 2016). Estas feições geológicas constituem formas do relevo subterrâneo e podem se formar pelo desmoronamento de blocos, tectonismo, processos erosivos e por deposição fluvial.

3.20) Panelas (marmitas)

São feições côncavas presentes no piso de cavernas, arredondadas e cilíndricas, geralmente formadas a partir da ação erosiva de águas fluviais (Figura 3e). Este processo consiste na abrasão da rocha proporcionada por areia, grânulos, seixos e até blocos que giram em alta velocidade em pontos preferenciais onde se formam redemoinhos ou vórtices ao longo do rio, que começam a escavar, formando depressões que posteriormente transformam-se em panelas (WINGE, 2001). Esta feição também é conhecida como panelão, marmita ou *pot hole*, podendo atingir alguns centímetros a metros de diâmetro e profundidade. As panelas também se formam, em menor escala de desenvolvimento, pela ação erosiva ocasionada por gotejamento. A presença destas feições em galerias subterrâneas secas são indícios de paleo-leitos fluviais.

3.21. Boxworks

De acordo com Hill e Forti (1997) boxworks são feições em alto relevo que se projetam da rocha em forma de lâminas ou placas em estrutura reticulada (Figura 3f). Podem se formar em paredes, teto, espeleotemas ou pisos argilosos, sendo compostos por qualquer mineral que seja mais resistente que o meio circundante. A gênese dessa feição ocorre após fraturamento da rocha por esforços tectônicos, orientadas em diversas direções. Fluídos subterrâneos, enriquecidos de minerais, percolam por estas fissuras e precipitam formando veios. Posteriormente, quando a caverna já está formada, processos de erosão diferencial removem a rocha circundante mais rápido que os cristais de minerais que se formaram nos veios. Estes depósitos ficam sobressalientes, lembrando pequenos compartimentos com aspecto de prateleiras.

3.22. Rocha fantomizada/arenizada

Esta feição da geodiversidade subterrânea é um produto da carstificação por fantomização/arenização, formada a partir da alteração por intemperismo químico em zonas freáticas, em ambientes com fluxo lento e de baixa energia. Nestas condições a circulação da água não afeta a estrutura original, ou seja, com remoção de material dissolvido em meio a um fluxo freático lento, sendo preservada a aparência do material (estratificação, granulação, acamamento etc) com relação ao seu entorno circundante inalterado (PONTES, 2014) (Figura 3g). Este processo envolve a dissolução da rocha *in situ* em ambiente subterrâneo e posterior remoção mecânica do material alterado (RODET, 1996).

O trabalho de Rodet (1996) foi pioneiro sobre este modelo e a denominação do processo dado por ele foi primocarste e do produto a alterita. Pesquisadores que deram imediata continuidade a abordagem de Rodet (1996), como Vergari e Quinif (1997), Quinif (1999), Kaufmann *et al.*, (1999), nomearam o processo de fantomização e o produto gerado de rocha fantasma. A maioria dos trabalhos atuais sobre o tema tem adotado a nomenclatura apresentada por Vergari e Quinif (1997). A rocha fantomizada/arenizada pode se desenvolver entre fraturas, em bolsões, isolados ou agrupados, em pequenas ou grandes porções.

3.23. Estruturas geológicas

As estruturas geológicas incluem uma série de feições relacionadas diretamente com a rocha na qual a caverna se desenvolve, tais como características estratigráficas e sedimentares, falhas e fraturas, contatos geológicos, icnofósseis, fósseis, dobras (Figura 3h e i).



Figura 3 - Feições geológicas de cavernas: a) pendentes; b) pilares; c) pontões estruturais; d) patamares; e) panelas; f) *boxworks*; g) rocha fantomizada/arenizada; h) estruturas geológicas e; i) icnofósseis. (Fotos: Henrique Simão Pontes).

4. DIAGNÓSTICO DA OCORRÊNCIA DE FEIÇÕES GEOLÓGICAS DE CAVERNAS EM DIFERENTES LITOTIPOS

Auler e Piló (2013) colocam a necessidade de elaborar uma síntese descritiva sobre cada caverna estudada, em bancos de dados atualizados. Esta descrição compreende o levantamento de diversos dados, incluindo aspectos da geodiversidade subterrânea. Para analisar essa geodiversidade e estabelecer a relevância espeleológica conforme a legislação vigente é preciso primeiramente sintetizar e sistematizar os dados levantados. Neste sentido, é importante ter um inventário das feições geológicas subterrâneas que represente a realidade de diferentes contextos geológicos, para definir de maneira mais segura e objetiva, a relevância da caverna e a importância de sua proteção.

Assim, com base na análise do estado atual de conhecimento sobre as feições geológicas em cavernas de diferentes litotipos no Brasil e nos levantamentos de campo realizados durante esta pesquisa, foi possível estabelecer um inventário com o total de 23 feições. Esta lista foi testada para verificar se todas as feições foram incluídas.

Com os resultados desta consulta que envolveu 36 pesquisadores que retornaram ao questionário de feições da geodiversidade, foram elaborados gráficos para representar os dados gerados em relação ao conhecimento atual sobre as feições geológicas subterrâneas em diferentes litotipos. Os participantes não apontaram a existência de outras feições nos questionários, o que definiu o número total de vinte e três feições da geodiversidade passíveis de ser encontradas em cavernas neste momento. No entanto, salienta-se que este número não é definitivo e pode, futuramente, ter acréscimos.

A maioria das feições é encontrada nas cavernas desenvolvidas nos quatro contextos litológicos, mesmo em locais onde processos de dissolução e a formação de algumas dessas feições sejam mais raros de acontecer. Os espeleotemas, depósitos clásticos, incrustações, patamares e claraboias são as feições mais abundantes, e *boxworks*, anastomoses e rochas fantomizadas/arenizadas são menos frequentes (Figura 4).

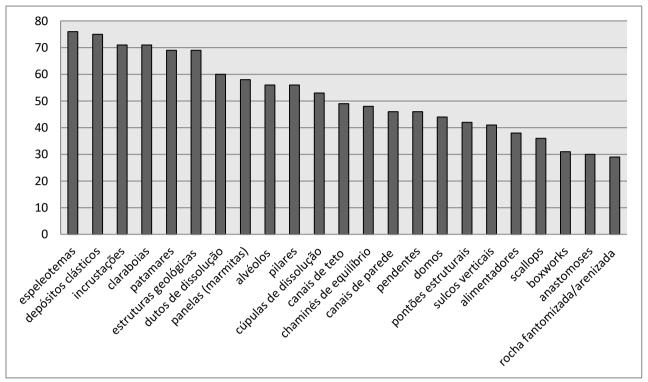


Figura 4 - Registro total de feições geológicas subterrâneas para os quatro contextos geológicos estudados.

Primeiramente, nota-se que as cavernas desenvolvidas em rochas carbonáticas são mais estudadas que os demais litotipos (Figura 5). 80,5% dos entrevistados afirmaram que trabalham com cavernas carbonáticas, 63,8% com siliciclásticas e apenas a metade dos pesquisadores e profissionais relataram trabalhar com ferríferas e graníticas. O próprio contexto histórico da espeleologia nacional corrobora com estes dados, pois as regiões com rochas carbonáticas sempre foram áreas de maior prospecção. Ao contrário, as rochas ferríferas e graníticas passaram a ser estudadas há poucos anos, bem mais recentemente se comparadas às cavernas em litotipos siliciclásticos.

As prospecções em regiões de rochas sedimentares siliciclásticas passaram a ter mais intensidade a partir da década de noventa. Com a exploração do minério de ferro na Serra dos Carajás, no Pará, e as diversas áreas de ferro e canga do Quadrilátero Ferrífero, em Minas Gerais, as cavernas ferríferas começaram a ganhar destaque no cenário nacional espeleológico. No caso das cavernas graníticas, foram com os levantamentos realizados na Gruta do Riacho Subterrâneo (São Paulo) (IGUAL, 2011) e os diversos registros de cavidades subterrâneas em Florianópolis (Santa Catarina) (MOCHIUTTI e TOMAZZOLI, 2019) que impulsionaram o reconhecimento como litotipos com potencial espeleológico.

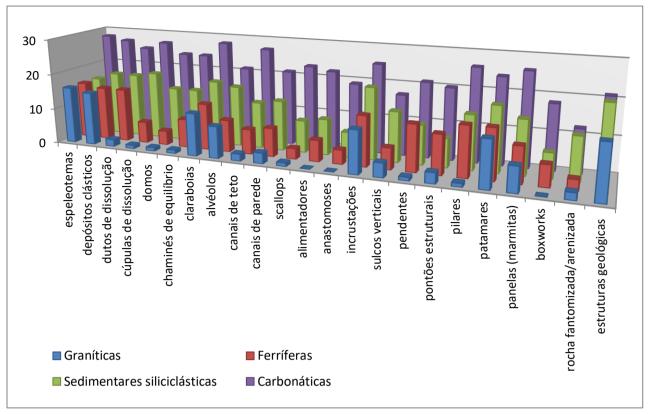


Figura 5 - Panorama geral do registro de feições geológicas de cavernas em diferentes contextos geológicos no Brasil.

No entanto, salienta-se que com o surgimento do Decreto nº 6.640/2008 muitas cavernas foram identificadas em diferentes formações geológicas, aumentando substancialmente desde então, o banco nacional de registro de cavidades naturais subterrâneas.

Nota-se uma tendência de maior conhecimento da comunidade científica sobre as feições da geodiversidade que ocorrem em cavernas carbonáticas. De acordo com a análise estatística das respostas, o grau de reconhecimento das feições da geodiversidade nestas cavernas é de 78,86% (Figura 6). Nos outros contextos litológicos os resultados apresentaram os seguintes valores: 62,38% para as siliciclásticas (Figura 7); 52,41% para as ferríferas (Figura 8) e; 29,22% para as cavernas graníticas (Figura 9).

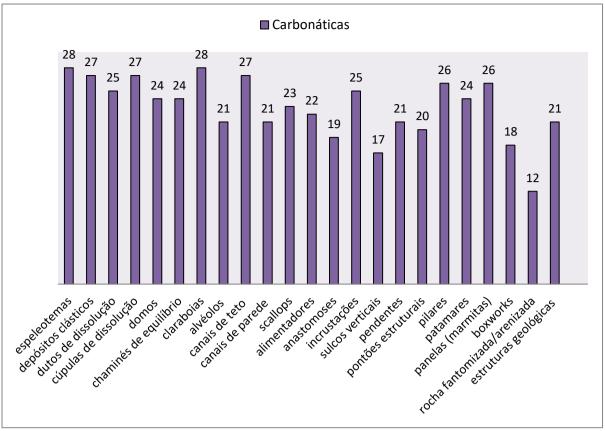


Figura 6 - Inventário das feições geológicas em cavernas de rochas carbonáticas.

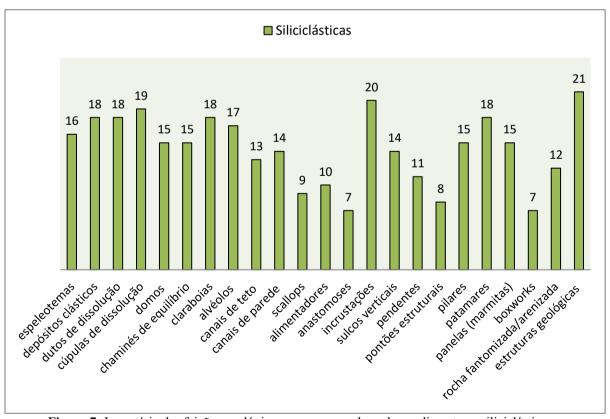


Figura 7- Inventário das feições geológicas em cavernas de rochas sedimentares siliciclásticas.

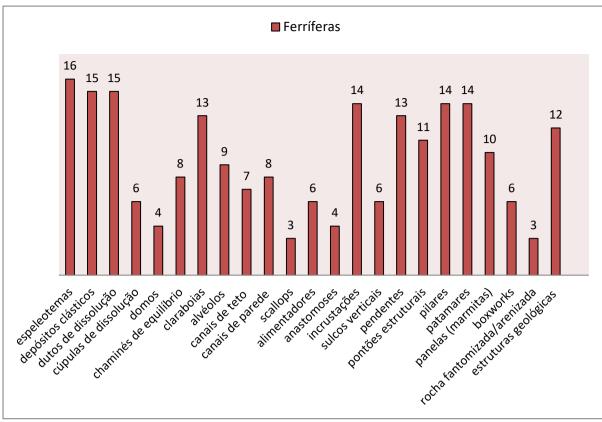


Figura 8 - Inventário das feições geológicas em cavernas de rochas ferríferas.

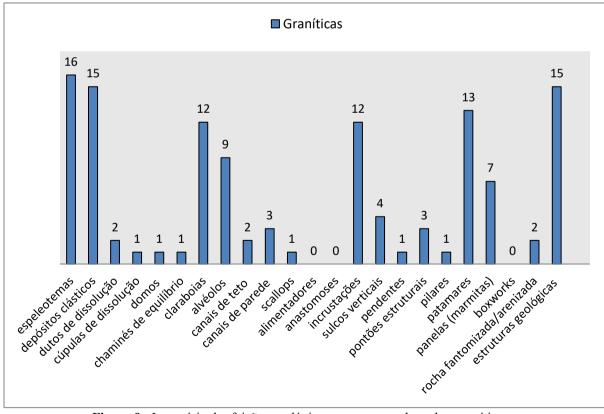


Figura 9 - Inventário das feições geológicas em cavernas de rochas graníticas.

Auler e Piló (2013) afirmam que os espeleogens tendem a ser comuns em cavernas carbonáticas, mas raros ou inexistentes em cavidades em rochas sedimentares siliciclásticas e

ferríferas. Entretanto, a partir da análise realizada com os especialistas, se observa que os espeleogens são quase tão comuns em cavernas siliciclásticas e ferríferas, quanto em carbonáticas. Em cavernas graníticas as feições erosivas são menos frequentes, apresentando mais registro de patamares, claraboias, alvéolos e panelas.

A análise mostrou que, das 23 feições levantadas a partir do inventário da geodiversidade de ambientes subterrâneos, 20 delas ocorrem nos quatro contextos litológicos estudados. Apenas nas cavidades graníticas não foram registradas três feições: *boxworks*, alimentadores e anastomoses. Entretanto, existem feições que nessa análise aparecem poucas vezes, ou mesmo em apenas um caso, evidenciando raridade e excepcionalidade da forma, principalmente quando é desenvolvida em um contexto litológico pouco propício para tal feição.

A maior paridade entre feições em relação à rocha circundante são aquelas desenvolvidas em cavernas carbonáticas. De acordo com a análise estatística foi possível obter dados sobre a raridade de ocorrência de cada feição em cada contexto litológico.

Para isso foram identificadas tendências de maiores registros e assim, definidas as feições mais raras de serem encontradas. Para a obtenção de um valor de raridade com base nos dados da pesquisa foi preciso estabelecer os valores de referência para cada litotipo. A consulta envolveu 36 especialistas no total, dentre os quais 29 pesquisam em cavernas em rochas carbonáticas, 23 em areníticas, 18 pesquisam em cavernas ferríferas e 18 em cavidades graníticas. Assim, com base na proporção de respostas fornecidas, foram estabelecidos valores de referência para determinar a raridade da feição (tabela 1).

Raridade	Cavernas carbonáticas	Cavernas siliciclásticas	Cavernas ferríferas	Cavernas graníticas
Alta	0 - 7,25	$0 - 5{,}75$	0 - 4,5	0 - 4,5
Média	7,26 - 14,5	5,76 – 11,5	4,6-9	4,6-9
Baixa	14,6 - 21,75	11,6 - 17,25	9,1-13,5	9,1-13,5
Comum	21,76 - 29	17,26-23	13,6-18	13,6-18

Tabela 1: Valores de referência para a classificação da raridade das feições geológicas de cavernas.

Conforme mostram as figuras 10, 11, 12 e 13, as cavernas desenvolvidas em rochas carbonáticas não apresentam feições de raridade alta, sendo apenas uma de raridade média, oito classificadas como raridade baixa e quatorze feições comuns. Entre as rochas sedimentares siliciclásticas também não houve nenhuma alta, sendo seis classificadas como raridade média, dez de raridade baixa e sete comuns. As cavernas em rochas ferriferas apresentam quatro feições consideradas de alta raridade, oito de média e cinco enquadradas como baixa raridade, e outras seis interpretadas como comuns. Conforme já mencionado, nas cavidades em rochas graníticas três feições não foram identificadas por nenhum especialista. Com relação à raridade das feições, 12

foram consideradas de alta, duas de média e três de baixa. Outras três feições foram classificadas como comuns.

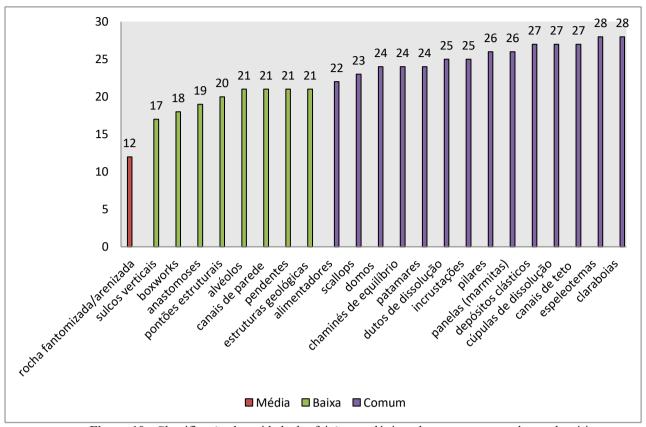


Figura 10 - Classificação da raridade das feições geológicas de cavernas em rochas carbonáticas.

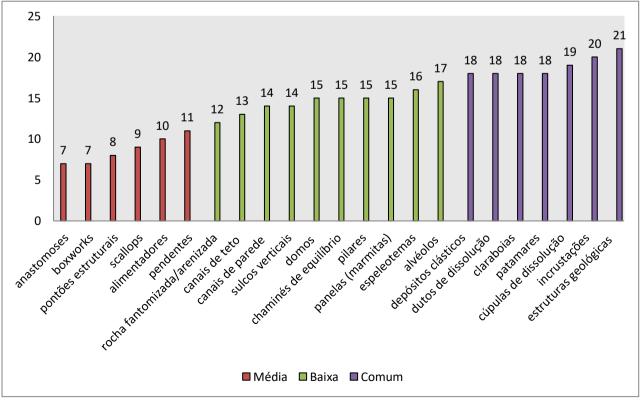


Figura 11- Classificação da raridade das feições geológicas de cavernas em rochas sedimentares siliciclásticas.

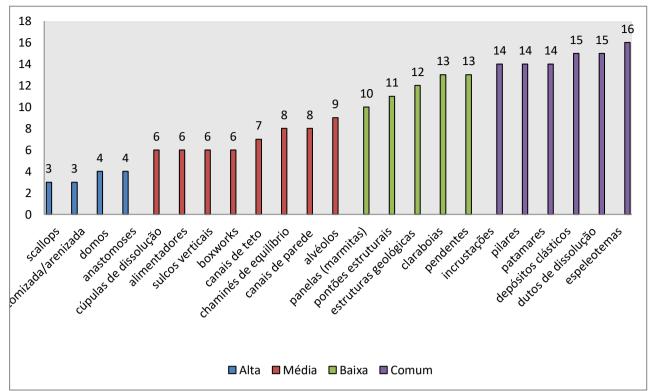


Figura 12 - Classificação da raridade das feições geológicas de cavernas em rochas ferríferas.

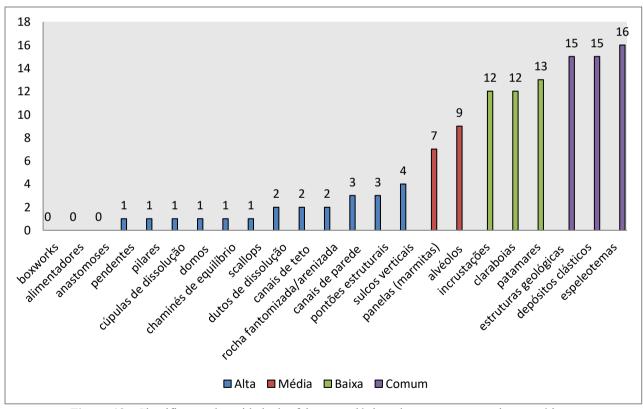


Figura 13 - Classificação da raridade das feições geológicas de cavernas em rochas graníticas.

A classificação do atributo raridade, de acordo com o método apresentado na tabela 1 e figuras 10, 11, 12 e 13, não analisa o contexto de especificidades das feições. Os espeleotemas são considerados feições geológicas comuns de acordo com as análises desta pesquisa. Porém, não pode

ser deixada de fora da análise de relevância destas feições a raridade de suas características específicas, que podem ser identificadas apenas com estudos de detalhe.

É prudente sempre analisar o contexto local e regional em que os ambientes subterrâneos estão desenvolvidos, pois a raridade pode aumentar de acordo com o recorte geográfico trabalhado. Além disso, salienta-se que apenas as feições consideradas comuns tendem a serem mais conhecidas, aquelas encaixadas nas três classes de raridade (alta, média e baixa) devem ganhar mais destaque e cuidados em levantamentos de relevância espeleológica e ações de gestão de cavidades naturais subterrâneas.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As características da geodiversidade estão entre os diversos aspectos a serem avaliados para a classificação da relevância espeleológica. Os diferentes tipos de rocha condicionam diferentes feições geológicas, o que influencia no tamanho, abundância e raridade da geodiversidade, ou seja, não se pode aplicar um modelo único de parâmetros para a classificação de relevância espeleológica.

Por este motivo, a pesquisa realizou um diagnóstico das feições geológicas de cavidades naturais subterrâneas desenvolvidas em diferentes litotipos no Brasil. A proposta identificou registros da ocorrência de feições a partir de consulta junto à comunidade científica e profissional, priorizando a padronização de conceitos e termos e, principalmente, visando avaliar a raridade destas feições em relação aos diferentes contextos geológicos.

Das 23 feições geológicas de cavernas identificadas nesta pesquisa, apenas nove estão entre os atributos considerados para a classificação de grau de relevância de cavernas segundo a legislação brasileira que rege o tema (Decreto nº 6.640/2008 e INMMA nº 2/2017). Isso demonstra uma deficiência da legislação e a importância de novas pesquisas que visem atualizar os dados e informações sobre a geodiversidade subterrânea.

Apenas as cavernas em rochas graníticas não apresentaram ocorrência de três feições (alimentadores, anastomoses e *boxworks*), as cavidades desenvolvidas em rochas sedimentares siliciclásticas, ferríferas e carbonáticas registraram todas as feições. Doze componentes geológicos foram considerados de raridade alta nas rochas graníticas (pendentes, pilares, cúpulas de dissolução, domos, chaminés de equilíbrio, *scallops*, dutos de dissolução, canais de teto, canais de parede, rochas fantomizada/arenizada, pontões estruturais e sulcos verticais) e quatro nas rochas ferríferas (*scallops*, rocha fantomizada/arenizada, domos e anastomose).

Entre as cavernas desenvolvidas em rochas carbonáticas quatorze feições foram classificadas como comuns e nove apresentam algum grau de raridade. Com relação às feições

geológicas de cavidades em rochas sedimentares siliciclásticas, dezesseis se enquadram com algum nível de raridade, sendo sete categorizadas como comuns. Entre as feições mais abundantes identificadas estão os espeleotemas, depósitos clásticos, incrustações, patamares e claraboias. Por outro lado, *boxworks*, anastomoses e rochas fantomizada/arenizada são consideradas menos frequentes.

A geodiversidade ainda não conquistou a mesma atenção que a biodiversidade possui, principalmente em relação às políticas públicas, mas passa por constantes ameaças de degradação e risco de supressão total de elementos e processos geológicos e geomorfológicos, muitos considerados de alto valor científico, cultural, funcional, educativo ou turístico. Apesar de existir legislação específica sobre o uso e proteção do patrimônio espeleológico, se discute se os parâmetros utilizados são eficazes o suficiente para a avaliação e classificação da relevância da geodiversidade de cavernas.

É valido salientar que recentes pesquisas de campo indicaram a existência de novas feições geológicas, totalizando 30 feições, classificadas em primárias ou secundárias (de acordo com o momento de sua formação) e distribuídas em quatro grupos (espeleotemas, espeleogens/feições de intemperismo, estruturas geológicas e depósitos clásticos). Isto mostra que novas feições podem ser facilmente identificadas, exigindo atualizações constantes destes inventários e reconsulta com a comunidade científica especializada.

Por fim, os resultados da presente pesquisa indicaram que é possível diagnosticar e avaliar a importância das feições geológicas subterrâneas com maior precisão. Pretende-se com isso, contribuir para a elaboração de métodos que visem à identificação da relevância de cavernas, criação de protocolos para trabalhos de licenciamento espeleológico, gerar subsídio para possíveis revisões legislativas e estimular ações de geoconservação de cavernas.

AGRADECIMENTOS

A primeira autora agradece à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de doutorado.

REFERÊNCIAS

AHMADI, A.; MOGHIMI, E; ZAMANZADEH, S. M.; MOTAMED, R. The Effect of Sandstone Composition on Distribution of Tafoni Landforms in the Aghajari Sandstone, Northwest of Masjed Soleyman, Iran. Hindawi Publishing Corporation. **Advances in Geology**, v. 215, p. 1-10, 2015.

AUBRECHT, R.; BREWER-CARÍA, C.H.; ŠMÍDA, B.; AUDY, M.; KOVÁČIK, L. Anatomy of biologically mediated opal speleothems in the World's largest sandstone cave: Cueva Charles Brewer, Chimantá Plateau, Venezuela. **Sedimentary Geology**, v. 203, p. 181-195, 2008.

- AULER, A. S.; ZOGBI, L. **Espeleologia:** noções básicas. 1. Ed. São Paulo: Redespeleo Brasil, 2005. 104p.
- AULER, A. S. Histórico, ocorrência e potencial de cavernas no Brasil. In: RUBBIOLI, E. L.; AULER, A. S.; MENIN, D. S.; BRANDI, R. (Org.). Cavernas: Atlas do Brasil Subterrâneo. Brasília: Editora IABS, 2019. p. 10-47.
- AULER, A. S.; PILÓ, L. B. Geoespeleologia. In: Instituto Terra Brasilis. IV Curso de Espeleologia e Licenciamento Ambiental. Ecoteca digital: Centro Nacional de Pesquisas e Conservação de Cavernas CECAV. Ministério do Meio Ambiente. p.25-44. 2013. Disponível em: http://www.icmbio.gov.br/cecav/images/stories/downloads/IV_Curso_de_Espeleologia_e_Licenciamento_Ambiental.pdf>. Acesso em: 20 out. 2020.
- BERBERT-BORN, M. Instrução Normativa MMA 2/09 método de classificação do grau relevância de cavernas aplicado ao licenciamento ambiental: uma prática possível? SBE Campinas, SP. **Espeleo-Tema**. v. 21, n. 1. p.67-103, 2010.
- BRANCO, P. M. **Espeleologia:** o estudo das cavernas. CPRM Serviços Geológicos do Brasil. 2014. Disponível em: http://www.cprm.gov.br/publique/Redes-Institucionais/Rede-de-Bibliotecas--Rede-Ametista/Canal-Escola/Espeleologia%3A-o-estudo-das-cavernas-1278.html. Acesso em: 20 de outubro de 2020.
- BRASIL. **Decreto Federal n.º 99.556, de 1º de outubro de 1990.** Disponível em: http://www2.camara.leg.br/legin/fed/decret/1990/decreto-99556-1-outubro-1990-339026-publicacaooriginal-1-pe.html. Acesso em: 20 out. 2020.
- CALUX, A.; CASSIMIRO, R. Geoespeleologia das cavernas em rochas ferríferas: aspectos dimensionais, morfológicos, hidrológicos e sedimentares. In: RUCHKYS, U. A.; TRAVASSOS, L. E. P.; RASTEIRO, M. A.; FARIA, L. E. **Patrimônio Espeleólogico em Rochas Ferruginosas:** Propostas para sua conservação no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. Campinas: Sociedade Brasileira de Espeleologia, 2015. p.134-157.
- CAÑAVERAS J. C.; SÁNCHEZ-MORAL S.; SOLER. V.; SAIZ-JIMÉNEZ, C. Microorganisms and microbially induced fabrics in cave walls. **Geomicrobiology Journal**, v. 18, p. 223-240, 2001.
- CANIE CADASTRO NACIONAL DE INFORMAÇÕES ESPELEOLÓGICAS. **Relatório Estatístico do CANIE**. 2020. Disponível em: http://www.icmbio.gov.br/cecav/index.php?option=com_icmbio_canie&controller=relatorioestatistico&itemPesq=true>. Acesso em: 26 nov. de 2020.
- CECAV CENTRO NACIONAL DE PESQUISAS E CONSERVAÇÃO DE CAVERNAS. **Cavidades naturais subterrâneas.** 2018. Disponível em: http://www.icmbio.gov.br/cecav/cavidades-naturais-subterraneas.html. Acesso em: 22 abr. 2020.
- CNC CADASTRO NACIONAL DE CAVERNAS. **Sociedade Brasileira de Espeleologia.** 2020. Disponível em: http://www.cavernas.org.br/cnc/>. Acesso em: 20 out. 2020.
- COLLET, G. C. Contribuição para elaboração de um glossário espeleológico. São Paulo: Grupo Espeleológico Bagrus. 1981.
- CURL, R. A. Deducing Flow Velocity in Cave Conduits from Scallops. **The NSS Bulletin**, v. 36, n. 2, p. 1-5, 1974.

- FEINBERG, J.; GAO, Y.; ALEXANDER, E. C. JR. Caves and Karst Across Time. 1. ed. Colorado: Geological Society of America, 2016. 300p.
- FIELD, M. S. A lexicon of cave and karst terminology with special reference to environmental karst hydrology. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Research and Development, National Center for Environmental Assessment, Washington Office, Washington, DC, 1999. 194p.
- GOODCHILD, M. F.; FORD, D. C. Analysis of Scallop Patterns by Simulation Under Controlled Conditions. **The Journal of Geology**, v. 79, n. 1, p. 52-62, 1970.
- GRAY, M. **Geodiversity:** valuing and conserving abiotic nature. 1. ed. England: John Wiley and Sons, 2004. 434p.
- GUPE GRUPO UNIVERSITÁRIO DE PESQUISAS ESPELEOLÓGICAS. **Patrimônio espeleológico do Parque Nacional dos Campos Gerais:** Ações prioritárias para o Manejo e propostas de ampliações da Unidade de Conservação. Relatório técnico. Ponta Grossa (PR). 2017. 22p.
- HARDT, R.; RODET, J.; PINTO, S.A.F.; WILLEMS, L. Exemplos brasileiros de carste em arenito: Chapada dos Guimarães (MT) e Serra de Itaqueri (SP). SBE Campinas, SP. **Espeleo-Tema**. v. 20, n. 1. p.7-23, 2009.
- HILL, C. A.; FORTI, P. Cave Minerals of the World. 2. ed. Huntsville: National Speleological Society, 1997. 463p.
- IGUAL, E. C. 2011. Gruta do Riacho Subterrâneo, Itu-SP (CNC SBE SP 700): a maior caverna em granito do Hemisfério Sul. **Teto Baixo**, ano 2, p. 04-06, 2011.
- JENNINGS, J. N. Cave and karst terminology. Australian Speleological Federation Incorporated Administrative Handbook, 1997. Disponível em: http://speleologija.eu/znanost/terminologija/CaveKarstTerminologyJennings.html>. Acesso em: 20 out. 2020.
- JANSEN, D. C.; CAVALCANTI, L. F.; LABLÉM, H. A. Mapa de potencialidade de ocorrência de cavernas no Brasil, na escala 1:2.500.000. **Revista Brasileira de Espeleologia**, v. 2, n. 1, p. 42-57, 2012.
- KAUFMANN, O.; BINI, A.; TOGNINI, P.; QUINIF, Y. 1999. Étude microscopique d'une altérite de type fantôme de roche. Études de géographie physique. **Travaux**, Suppl. XXVIII, p. 129-134, 1999.
- KARMANN, I. Ciclo da água: água subterrânea e sua ação geológica. In: TEIXEIRA, W.; TOLEDO, M. C. M.; FAIRCHILD, T. R.; TAIOLO, F. (Org.). **Decifrando a Terra**. São Paulo: Oficina de Textos, 2001. p. 113-138.
- KARMANN, I. Carste e cavernas no Brasil: distribuição, dinâmica atual e registros sedimentares, breve histórico e análise crítica das pesquisas realizadas no âmbito do IGc USP. 2016. 62 f. Tese (Livre Docência) Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016.
- KLIMCHOUK A. B. **Hypogene Speleogenesis:** Hydrogeological and Morphogenetic Perspective. Special Paper 1. Carlsbad: National Cave and Karst Research Institute Carlsbad, 2007. 106p.

KLIMCHOUK, A. B. Principal features of hypogene speleogenesis: Hypogene speleogenesis and karst hydrogeology of artesian basins. **Ukrainian Institute of Speleology and Karstology**, Special Paper 1. p. 7-15, 2009.

KLIMCHOUK, A. B. Tafoni and honeycomb structures as indicators of ascending fluid flow and hypogene karstification. **Geological Society**, London, Special Publications 466, p. 79-105, 2017.

LAUREANO, F. V.; KARMANN, I. Sedimentos clásticos em sistemas de cavernas e suas contribuições em estudos geomorfológicos: uma revisão. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 14, n. 1, p. 23-33, 2013.

LUNDBERG, J.; BREWER-CARIAS, C.; MCFARLANE, D. A. Preliminary results from U–Th dating of glacial–interglacial deposition cycles in a silica speleothem from Venezuela. **Quaternary Research**, v. 74. p.113–120, 2010.

MASSUQUETO, L. L. **O sistema cárstico do Sumidouro do Rio Quebra-Perna (Ponta Grossa - PR):** caracterização da geodiversidade e de seus valores. 2010. 81 f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso de Bacharelado em Geografia) - Departamento de Geociências, Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2010.

MASSUQUETO, L. L.; MOREIRA, J. C. Roteiro geoturístico na gruta Pinheiro Seco, Castro/PR. **Terr@Plural**, Ponta Grossa, v. 6, n. 1, p.153-173, 2012.

MELO, M. S.; GUIMARÃES, G. B.; CHINELATTO, A. L.; GIANNINI, P. C.; PONTES, H. S.; CHINELATTO, A. C. A.; ATENCIO, D. Kaolinite, illite and quartz dissolution in the karstification of Paleozoic sandstones of the Furnas Formation, Parana Basin, Southern Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 63. p. 20-35, 2015.

MOCHIUTTI, N. F. B.; TOMAZZOLI, E. R. Cavernas em granito. Precisamos falar sobre elas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ESPELEOLOGIA. 35., 2019. **Anais...** Bonito: SBE, 2019. p. 18-29.

PASINI, G. A terminological matter: paragenesis, antigravitative erosion or antigravitational erosion? **International Journal of Speleology**, Bologna, v. 38, n. 2, p. 129-138, 2009.

PILÓ, L. B.; AULER, A. S. Introdução à Espeleologia. In: Instituto Terra Brasilis. **III Curso de Espeleologia e Licenciamento Ambiental.** Belo Horizonte: Instituto Terra Brasilis, 2011. p. 7-23. Disponível em: https://www.icmbio.gov.br/cecav/download/EspeleologiaLicenciamento.pdf>. Acesso em: 20 de outubro de 2020.

PILÓ, L. B.; AULER, A. S. Geoespeleologia. In: CECAV - Centro Nacional de Pesquisas e Conservação de Cavernas. **IV Curso de Espeleologia e Licenciamento Ambiental.** Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio) 2013. p. 25-44. Disponível em: http://www.icmbio.gov.br/cecav/images/stories/downloads/IV_Curso_de_Espeleologia_e_Licenciamento Ambiental.pdf>. Acesso em: 20 de outubro de 2020.

PONTES, H. S. Espacialização de feições cársticas da Formação Furnas: ferramenta para gestão do território no Município de Ponta Grossa (PR). 2014. 163 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2014.

QUINIF, Y. Fantômisation, crypto altération et altération sur roche nue, le triptyque de la karstification. **Etudes de géographie physique**, Travaux, Supplement 18, p. 159-164, 1999.

RIBAS, L. M. L. R.; CARVALHO, L. C. Cavidade natural subterrânea: natureza jurídica. **Interações**, Campo Grande, v. 10, n. 1, p. 83-93, 2009.

RODET, J. Une nouvelle organisation géométrique du drainage karstique des craies: le labyrinthe d'altération, l'exemple de la grotte de la Mansionnière (Bellou-sur-Huisne, Orne, France). C. R. Acad. Sci., v. 3, n. 322, p. 1039-1045, 1996.

STAFFORD, K. W.; NANCE, R.; ROSALES-LAGARDE, L.; BOSTON, P. J. Epigene and Hypogene Gypsum Karst Manifestations of the Castile Formation: Eddy County, New Mexico and Culberson County, Texas, USA. **International Journal of Speleology,** Bologna, v. 37, n. 2, p. 83-98, 2008.

TIMO, J. B.; OLIVEIRA, S. O. **Geoespeleologia**. In.: Spelayon Consultoria ME - Análise de relevância de cavidades Mina Viga. Belo Horizonte, 2012. p. 46-70.

TIMO, J. B.; TIMO, M. B. Geoespeleologia de cavernas em quartzito e formações ferríferas no Quadrilátero Ferrífero, região de Congonhas (MG). **Espeleo-Tema**, Campinas, v. 27, n. 1. p.11-32, 2016.

TRAVASSOS, L. E. P.; RODRIGUES, B. D.; TIMO, M. B. Glossário conciso e ilustrado de termos cársticos e espeleológicos. 1. ed. Belo Horizonte: PUC Minas, 2015. 65p.

VERGARI, A.; QUINIF, Y. Les paléokarsts du Hainaut. Geodin. Acta, v. 10. p. 175–187, 1997.

VERGÈS-BELMIN, V. **Illustrated glossary on stone deterioration patterns.** Paris: ICOMOS and (ISCS) International Scientific Committee for Stone, 2008. 86p.

WINGE, M. 2001. **Glossário Geológico Ilustrado.** Disponível em http://sigep.cprm.gov.br/glossario/. Acesso em: 05 de nov. 2020.

WRAY, R. A. L. Phreatic drainage conduits within quartz sandstone: Evidence from the Jurassic Precipice Sandstone, Carnarvon Range, Queensland, Australia. **Geomorphology**, v. 110, p. 203–211, 2009.

YOUNG, R. W.; WRAY, R. A. M.; YOUNG, A. R. M. Sandstone Landforms. Cambridge: Cambridge, 2009. 99p.

Trabalho enviado em 26/11/2020 Trabalho aceito em 22/01/21