



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

LAIS LUANA MASSUQUETO

METODOLOGIA DE INVENTÁRIO DE CAVIDADES NATURAIS SUBTERRÂNEAS
PARA CLASSIFICAÇÃO DA RELEVÂNCIA ESPELEOLÓGICA EM DIFERENTES
LITOTIPOS E DIRETRIZES ADEQUADAS DE GEOCONSERVAÇÃO NO BRASIL

CURITIBA
2020

LAÍS LUANA MASSUQUETO

METODOLOGIA DE INVENTÁRIO DE CAVIDADES NATURAIS SUBTERRÂNEAS
PARA CLASSIFICAÇÃO DA RELEVÂNCIA ESPELEOLÓGICA EM DIFERENTES
LITOTIPOS E DIRETRIZES ADEQUADAS DE GEOCONSERVAÇÃO NO BRASIL

Tese apresentada ao Programa de pós-graduação em Geologia, Setor de Ciências da Terra da Universidade Federal do Paraná (UFPR), como requisito para obtenção do Doutorado em Geologia Ambiental, linha de pesquisa Geoconservação e patrimônio geológico.

Orientador: Dr. Luiz Alberto Fernandes

CURITIBA
2020

Catálogo na Fonte: Sistema de Bibliotecas, UFPR
Biblioteca de Ciência e Tecnologia

M422m Massuqueto, Laís Luana
 Metodologia de inventário de cavidades naturais subterrâneas para classificação da
 relevância espeleológica em diferentes litotipos e diretrizes adequadas de geoconservação no
 Brasil [recurso eletrônico] / Laís Luana Massuqueto. – Curitiba, 2020.

Tese - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências da Terra, Programa de Pós-
Graduação em Geologia, 2020.

Orientador: Luiz Alberto Fernandes.

1. Cavernas. 2. Geodiversidade. 3. Espeleologia. I. Universidade Federal do Paraná. II.
Fernandes, Luiz Alberto. III. Título.

CDD: 796.525

Bibliotecária: Vanusa Maciel CRB- 9/1928



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SETOR DE CIÊNCIAS DA TERRA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO GEOLOGIA -
40001016028P5

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em GEOLOGIA da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da tese de Doutorado de **LAIS LUANA MASSUQUETO** intitulada: **METODOLOGIA DE INVENTÁRIO DE CAVIDADES NATURAIS SUBTERRÂNEAS PARA CLASSIFICAÇÃO DA RELEVÂNCIA ESPELEOLÓGICA EM DIFERENTES LITOTIPOS E DIRETRIZES ADEQUADAS DE GEOCONSERVAÇÃO NO BRASIL**, sob orientação do Prof. Dr. LUIZ ALBERTO FERNANDES, que após terem inquirido a aluna e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua **APROVAÇÃO** no rito de defesa.

A outorga do título de doutor está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 15 de Junho de 2020.

Assinatura Eletrônica
16/06/2020 16:32:10.0
LUIZ ALBERTO FERNANDES
Presidente da Banca Examinadora

Assinatura Eletrônica
18/06/2020 12:00:02.0
WILLIAM SALLUN FILHO
Avaliador Externo (INSTITUTO GEOLÓGICO DO ESTADO DE SÃO PAULO)

Assinatura Eletrônica
18/06/2020 12:26:42.0
RODOLFO JOSÉ ANGULO
Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Assinatura Eletrônica
16/06/2020 17:01:25.0
MARIA DA GLORIA MOTTA GARCIA
Avaliador Externo (UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO)

Assinatura Eletrônica
22/06/2020 14:10:49.0
PAULO CÉSAR BOGGIANI
Avaliador Externo (UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO)

DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA-CENTRO POLITÉCNICO-UFPR - CURITIBA - Paraná - Brasil
CEP 81531-990 - Tel: (41) 3361-3365 - E-mail: posgeol@ufpr.br

Documento assinado eletronicamente de acordo com o disposto na legislação federal Decreto 8539 de 08 de outubro de 2015.

Gerado e autenticado pelo SIGA-UFPR, com a seguinte identificação única: 43440

Para autenticar este documento/assinatura, acesse <https://www.prrpg.ufpr.br/siga/visitante/autenticacaassinaturas.jsp> e insira o código 43440

AGRADECIMENTOS

Ao Henrique, meu amigo, companheiro, marido, meu amor. Há dezesseis anos estamos juntos, trilhando nossos caminhos, dividindo conquistas e alegrias, superando as dificuldades e planejando o amanhã. Sua presença sempre foi fundamental na minha pesquisa, desde a época de graduação. Foram inúmeros campos em conjunto, madrugadas revisando textos, conversas, discussões e reflexões, que me trouxeram até aqui. Agradeço pelas viagens, aos sonhos realizados, aos domingos que tirávamos uma folga para assistir um filme, às conversas bobas sobre qualquer coisa da vida, às danças desajeitadas no meio da sala. Obrigada por compartilhar a vida comigo, eu te amo mais do que palavras conseguem expressar.

Aos meus queridos pais Nerlí e Selso, os quais fizeram o possível e o impossível para que eu tivesse uma boa educação, sempre apoiando todas as minhas decisões. Agradeço por serem tão presentes em minha vida, tão dedicados e tão carinhosos. Essa conquista é de vocês e para vocês!

Às minhas irmãs Lilian e Mari, vocês são minhas amigas, minhas companheiras de vida. Obrigada por todos os bons momentos vividos, pelas conversas, pelos conselhos, por juntas trilharmos, sempre se fazendo presente uma na vida da outra.

Aos amigos e compadres, Dani e Heder, os quais há anos dividem as conquistas e os perrengues da vida comigo (e com o Henrique). Ao longo de mais de uma década de amizade, por muitas coisas passamos juntos, boas e ruins, de abrir (e encerrar) uma empresa à nossa viagem tão sonhada e enfim, executada, para o Atacama. Hoje, mesmo com a distância, essa amizade fica cada dia mais forte. Agradeço pelos momentos de conversas, pelas risadas, pelos conselhos, por ajudarem a manter a lucidez em momentos tão difíceis e é claro, por colocarem a pequena Aurora em minha vida também.

À Ana e Felipe, obrigada pelos bons momentos em família, pelas palavras de incentivo, pela hospitalidade que sempre tiveram comigo e com o Henrique. Às

minhas sobrinhas Clarice e Cecília agradeço por sempre serem motivo de sorrisos e risadas, pelos abraços apertados, pelo carinho e por serem inspiração para lutarmos por um país melhor.

Aos amigos Fernanda, Simone, Alex, Sol, Camila, Angelo, Alfredo e Gilson agradeço por fazerem a vida valer a pena. Por todos os bons momentos, seja em idas para cavernas ou ao cinema, fazendo um piquenique, falando bobeira em grupos pelo celular, jogando uno num final de semana com um pote de sorvete ao lado... esses momentos me fizeram rir, esquecer problemas, seguir em frente.

Ao Professor Luiz Alberto, agradeço principalmente pela oportunidade, por aceitar me orientar, por me guiar nesse momento tão complexo que foi a construção da tese e por sempre estar ao meu lado nos diversos “imprevistos” que aconteceram ao longo desses quatro anos.

Aos amigos do Grupo Universitário de Pesquisas Espeleológicas – GUPE agradeço pelo constante aprendizado, pela ajuda em trabalhos de campo e em discussões referentes ao tema espeleológico, e é claro, pelos “campos apenas para diversão”, que sempre resultaram em mais trabalhos!

Aos amigos do Grupo de Geoconservação e patrimônio geológico/UFPR, pelas conversas, pelas festas e por proporcionar aquele momento de “alívio” dentro da universidade.

Aos professores Paulo César Boggiani, Ricardo Galeno Fraga de Araújo Pereira, William Sallun Filho, Maria da Glória Motta Garcia e Rodolfo José Angulo por contribuírem significativamente nos momentos de qualificação e banca de defesa dessa pesquisa.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pela concessão de bolsa de doutorado.

À Universidade Federal do Paraná.

(...)

Desvista-se de sua tristeza.

Deixe todo o passado para trás.

Tempo de ser livre.

(...)

Andre Matos

RESUMO

O patrimônio espeleológico brasileiro é regulamentado pelo Decreto Federal nº 99.556/1990, que dispõe sobre a proteção das cavernas existentes no território nacional. Este marco legal foi significativamente modificado pelo Decreto Federal nº 6.640/2008, que definiu a relevância de cavidades naturais subterrâneas em máxima, alta, média e baixa para o processo de licenciamento ambiental. A relevância espeleológica deve ser classificada de acordo com o método estabelecido na Instrução Normativa MMA N°2/2017. Esta pesquisa questiona se este método é eficaz para a avaliação da geodiversidade de cavernas desenvolvidas em diferentes tipos de rochas. O objetivo central é propor métodos, com parâmetros e critérios objetivos, para a classificação de relevância de cavidades naturais subterrâneas de diferentes litotipos (siliciclástico, carbonático, ferrífero e granítico). Um diagnóstico realizado e avaliado pela comunidade científica especializada em geodiversidade de ambientes subterrâneos (através de questionário semiaberto) e as investigações em campo permitiram identificar 30 feições geológicas de cavernas desenvolvidas nos diferentes litotipos. Na primeira etapa da pesquisa foi possível reconhecer a frequência de ocorrência das feições (raridade ou regularidade), o nível de conhecimento da comunidade científica e as formações rochosas que apresentam maior registro de pesquisas. Isso permitiu discussões qualitativas, com base nos dados quantitativos gerados pelas entrevistas. Na segunda etapa da pesquisa, foram avaliados apenas os atributos relacionados às feições geológicas para determinar a relevância espeleológica com base na Instrução Normativa MMA n°/2017. Para isso, aplicou-se o método de avaliação em duas cavidades para cada tipo de rocha estudada, sendo Ponta Grossa e Castro (PR), em cavernas areníticas e carbonáticas respectivamente, Florianópolis (SC) em graníticas e Caeté (MG) em cavidades ferruginosas. Ao analisar apenas as feições geológicas, se a caverna não apresentar máxima relevância automaticamente, ela será classificada como de baixa relevância. São apenas dois grupos de atributos de geoformas considerados na lei pela análise sob o enfoque local e nenhum sob o enfoque regional. Devido a estes fatores, ao aplicar os resultados na chave de classificação, automaticamente a cavidade é considerada como de baixa relevância no enfoque regional e de importância significativa no enfoque local, impossibilitando que a caverna possa ser classificada como de média ou alta relevância. Desta maneira, quando na avaliação restrita apenas das feições, as oito cavidades estudadas foram classificadas como de baixa relevância, pois nenhuma atingiu o resultado minimamente significativo. No entanto, estas cavernas apresentam importantes elementos geológicos e não poderiam ser classificadas como de baixa relevância, quando na análise destes atributos isoladamente. Esta situação evidenciou um grave problema, pois as feições geológicas só serão contabilizadas para a proteção de uma cavidade se somadas a outros grupos de atributos de outras áreas temáticas e não de maneira independente. Assim, foi confirmada a hipótese inicial da pesquisa, de que há lacunas e subjetividades na legislação que trata (de maneira direta ou indireta) do controle do uso e proteção do patrimônio espeleológico brasileiro. A última etapa da presente pesquisa focou no desenvolvimento de um protocolo para identificação da relevância espeleológica de cavernas formadas em diferentes litotipos no Brasil, com base na valoração da geodiversidade. Para a determinação da relevância espeleológica quatro aspectos da geodiversidade subterrânea devem ser avaliados, incluindo as feições geológicas (geoformas), a forma (padrão de desenvolvimento) de cavidades naturais subterrâneas, a dimensão e elementos hidrológicos. Nove

parâmetros de análise foram conceituados e pesos e contribuições foram definidos numericamente para que o protocolo possa ser aplicado de maneira criteriosa. Conclui-se que a realização de um inventário e a avaliação mediante a quantificação dos aspectos da geodiversidade subterrânea permitiu atribuir um índice numérico como resultado, sendo possível classificar mais objetivamente as cavernas quanto à relevância de sua geodiversidade. Contudo, não é excluída a necessidade de análise qualitativa, uma vez que o método exige sempre considerar os diferentes contextos geológicos. O protocolo proposto pode auxiliar o processo de classificação da relevância espeleológica para fins de licenciamento ambiental, de acordo com a legislação vigente no Brasil. Trata-se de um instrumento de gestão que possibilita a identificação dos aspectos da geodiversidade mais expressivos, assim como os mais ameaçados e que exigem ações urgentes de gestão, manejo e proteção pela legislação. Com os resultados finais, busca-se fornecer subsídio para propostas de atualização e melhoramento da legislação espeleológica brasileira, tendo como princípio, diretrizes de geoconservação.

Palavras-chave: cavernas, geodiversidade subterrânea, relevância espeleológica, legislação espeleológica, valoração do patrimônio espeleológico.

ABSTRACT

The Brazilian speleological heritage is regulated by Federal Decree No. 99.556/1990, which provides for the protection of caves existing in the national territory. This legal framework was significantly modified by Federal Decree No. 6.640/2008 which defined the relevance of natural underground cavities at maximum, high, medium and low for the environmental licensing process. Speleological relevance must be classified according to the method established in Normative Instruction MMA No. 2/2017. This research asks if this method is effective for the evaluation of the caves geodiversity developed in different types of rocks. The main objective is to propose methods, with clear parameters and criteria, for the classification of relevance of natural underground cavities of different lithotypes (siliciclastic, carbonatic, ferriferous and granitic). A diagnosis made and evaluated by the scientific community specialized in the geodiversity of underground environments (through a semi-open questionnaire) and field investigations allowed the identification of 30 geological features of caves developed in different lithotypes. In the first stage of the research, it was possible to recognize the frequency of occurrence of the features (rarity or regularity), the level of knowledge of the scientific community and the rock formations that have the greatest research record. This allowed for qualitative discussions, based on the quantitative data generated by the interviews. In the second stage of the research, only the attributes related to the geological features were evaluated to determine the speleological relevance based on the Normative Instruction MMA No. 2/2017. For this, the evaluation method was applied in two cavities for each type of rock studied, being Ponta Grossa and Castro (Paraná State), in sandstone and carbonate caves, respectively, Florianópolis (Santa Catarina State) in granite and Caeté (Minas Gerais State) in ferruginous cavities. When analyzing only the geological features, if the cave does not have maximum relevance automatically, it will be classified as of low relevance. There are only two groups of geofom attributes considered in the law by the analysis under the local approach and none under the regional approach. Because of this, when applying the results in the classification key, the cavity is automatically considered to be of low relevance in the regional approach and of significant importance in the local approach, making it impossible for the cave to be classified as medium or high relevance. Thus, when in the restricted evaluation of features only, the eight caves studied were classified as of low relevance, as none reached the minimally significant result. However, these caves have important geological elements and could not be classified as of low relevance, when analyzing these attributes in isolation. This situation evidenced a serious problem, since the geological features will only be recognized for the protection of a cave if they are assigned to other groups of attributes from other thematic areas and not independently. Thus, the initial research hypothesis was confirmed, that there are data gaps and subjectivities in the legislation that deals (directly or indirectly) with the control of the use and protection of the Brazilian speleological heritage. The last stage of this research developed a protocol to identify the speleological relevance of caves formed in different lithotypes in Brazil, based on the geodiversity assessment. To determine the speleological relevance, four aspects of underground geodiversity must be evaluated, including the geological features (geofoms), the shape (development standard) of subterraneous natural cavities, the dimension and hydrological elements. Nine parameters were conceptualized and contributions were defined numerically so that the protocol can be applied judiciously. It is concluded that the realization of an inventory and the evaluation through the quantification of the

aspects of the subterranean geodiversity allowed to assign a numerical index as a result, making it possible to classify the caves more objectively regarding the relevance of its geodiversity. However, the need for qualitative analysis is not excluded, since the method always requires considering the different geological contexts. The proposed protocol can assist the classification process of speleological relevance for environmental licensing purposes, according to the prevailing legislation in Brazil. It is a management instrument that makes it possible to identify the most expressive and the most threatened geodiversity aspects that require urgent management and protection actions under the legislation. The final results of this research provide support for proposals for updating and improving Brazilian speleological legislation, based on geoconservation guidelines.

Keywords: caves, underground geodiversity, speleological relevance, speleological legislation, valuation of speleological heritage.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Espeleotemas formados em cavernas de diferentes litotipos.....	34
Figura 1.2 – Chave de classificação do grau de relevância.....	40
Figura 1.3 – Mapa de localização das cavidades naturais subterrâneas.....	42
Figura 1.4 – Entrada da Caverna da Chaminé (Ponta Grossa/PR).....	44
Figura 1.5 – Vista geral da Caverna das Andorinhas (Ponta Grossa/PR).....	45
Figura 1.6 – Localização e contexto geológico da Caverna da Chaminé.....	45
Figura 1.7 – Localização e contexto geológico da Caverna das Andorinhas.....	46
Figura 1.8 – Gruta Olhos d'Água (Castro/PR).....	47
Figura 1.9 – Gruta de Pinheiro Seco (Castro/PR).....	48
Figura 1.10 – Localização e contexto geológico da Gruta Olhos d'Água.....	48
Figura 1.11 – Localização e contexto geológico da Gruta de Pinheiro Seco.....	49
Figura 1.12 – Gruta da Piedade (Caeté/MG).....	50
Figura 1.13 – Caverna do Triângulo (Caeté/MG).....	51
Figura 1.14 – Localização e contexto geológico da Gruta da Piedade e Caverna do Triângulo.....	51
Figura 1.15 – Sistema de Cavernas da Água Corrente (Florianópolis/SC).....	53
Figura 1.16 – Gruta do Saco Grande (Florianópolis/SC).....	53
Figura 1.17 – Localização e contexto geológico do Sistema de Cavernas da Água Corrente e da Gruta do Saco Grande.....	54
Figura 2.1 – Localização das cavidades naturais subterrâneas.....	74
Figura 2.2 – Feições geológicas de cavernas.....	85

Figura 2.3 – Feições geológicas de cavernas.....	86
Figura 2.4 – Registro total de feições geológicas subterrâneas.....	87
Figura 2.5 – Panorama geral do registro de feições geológicas.....	88
Figura 2.6 – Inventário das feições geológicas em cavernas carbonáticas.....	89
Figura 2.7 – Inventário das feições geológicas em cavernas siliciclásticas.....	90
Figura 2.8 – Inventário das feições geológicas em cavernas ferríferas.....	90
Figura 2.9 – Inventário das feições geológicas em cavernas graníticas.....	91
Figura 2.10 – Classificação da raridade das feições geológicas de cavernas carbonáticas.....	93
Figura 2.11 – Classificação da raridade das feições geológicas de cavernas siliciclásticas.....	93
Figura 2.12 – Classificação da raridade das feições geológicas de cavernas ferríferas.....	94
Figura 2.13 – Classificação da raridade das feições geológicas de cavernas graníticas.....	94
Figura 3.1 – Mapa de localização das cavidades naturais subterrâneas.....	107
Figura 3.2 – Cavidades subterrâneas da área de estudo.....	114

LISTA DE TABELAS E QUADROS

Tabela 1.1 – Classificação de importância relativa aos atributos da cavidade.....	36
Tabela 1.2 – Atributos da geodiversidade a serem considerados na classificação do grau de relevância sob enfoque local.....	39
Tabela 2.1 – Valores de referência para a classificação da raridade das feições geológicas de cavernas.....	92
Tabela 3.1 – Atributos da geodiversidade a serem considerados na classificação do grau de relevância sob o enfoque local.....	117
Tabela 3.2 – Quantificação dos atributos de feições geológicas da Gruta Olhos d’Água.....	119
Tabela 3.3 – Quantificação dos atributos de feições geológicas da Gruta de Pinheiro Seco.....	119
Tabela 3.4 – Quantificação dos atributos de feições geológicas da Caverna das Andorinhas.....	119
Tabela 3.5 – Quantificação dos atributos de feições geológicas da Caverna da Chaminé.....	120
Tabela 3.6 – Quantificação dos atributos de feições geológicas da Gruta da Piedade.....	120
Tabela 3.7 – Quantificação dos atributos de feições geológicas da Caverna do Triângulo.....	120
Tabela 3.8 – Quantificação dos atributos de feições geológicas do Sistema de Cavernas da Água Corrente.....	121
Tabela 3.9 – Quantificação dos atributos de feições geológicas da Gruta do Saco Grande.....	121
Tabela 3.10 – Classificação da importância relativa aos atributos da cavidade natural subterrânea, avaliados sob os enfoques local e regional.....	123
Table 4.1 - Attributes, parameters and weights in the assessment of geological features in natural underground cavities.....	140
Table 4.2 - Reference values for determining the individual relevance of a geological feature.....	140
Table 4.3 - Reference values for determining the relevance of geological features in caves, applied to a hypothetical case in which all 30 known geofoms are to be classified.....	142

Table 4.4 - Attributes, parameters and weights in the assessment of shape (development pattern) relevance in natural underground cavities.....	144
Table 4.5 - Reference values in the shape (development pattern) relevance assessment of a cave.....	145
Table 4.6 - Reference values for determining the relevance of each extension attribute in natural underground cavities.....	146
Table 4.7 - Reference values for determining the relevance of the extension of a natural underground cavity.....	146
Table 4.8 - Reference values for determining the relevance attributes of hydrological elements in underground cavities.....	148
Table 4.9 - Reference values for determining the individual relevance of hydrological elements in underground cavities.....	148
Table 4.10 - Reference values for determining the final relevance of hydrological elements in underground cavities.....	149
Table 4.11 - Reference values for the relevance of geodiversity aspects in underground cavities.....	150
Table 4.12 - Reference values for the final relevance of geodiversity aspects of an underground cavity.....	150
Quadro 1.1 – Atributos da geodiversidade a serem considerados.....	38
Quadro 3.1 – Atributos e respectivos conceitos a serem considerados para fim de classificação do grau de relevância máximo, com base nas feições geológicas.....	116
Quadro 3.2 – Chave de classificação do grau de relevância de cavidades naturais subterrâneas.....	123
Quadro 3.3 – Classificação da relevância espeleológica das cavidades naturais subterrâneas foco dessa pesquisa.....	124
Box 4.1 – Classification of the geological features found in brazilian caves.....	136

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DA PESQUISA.....	16
1.5 OBJETIVOS.....	22
1.3 HISTÓRICO DA LEGISLAÇÃO ESPELEOLÓGICA BRASILEIRA.....	23
1.4 GEOCONSERVAÇÃO, GEODIVERSIDADE E PATRIMÔNIO GEOLÓGICO.....	27
1.5 JUSTIFICATIVAS DA PESQUISA: ANÁLISE CRÍTICA DA INSTRUÇÃO NORMATIVA MMA Nº2, DE 30 DE AGOSTO DE 2017.....	32
1.6 LOCALIZAÇÃO E CONTEXTO GEOLÓGICO DAS CAVIDADES NATURAIS SUBTERRÂNEAS.....	42
1.7 MÉTODOS DE PESQUISA.....	55
1.8 FORMA DE APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS E DISCUSSÕES DA TESE.....	60
REFERÊNCIAS.....	61
2 RESULTADOS E DISCUSSÕES	70
2.1 CARACTERIZAÇÃO DAS FEIÇÕES GEOLÓGICAS DE CAVIDADES NATURAIS SUBTERRÂNEAS EM DIFERENTES CONTEXTOS LITOLÓGICOS NO BRASIL.....	70
2.2 RELEVÂNCIA DE CAVIDADES NATURAIS SUBTERRÂNEAS DESENVOLVIDAS EM DIFERENTES LITOTIPOS: APLICAÇÃO DO DECRETO Nº 6.640/2008 E IN MMA Nº 2/2017 COM BASE NAS FEIÇÕES GEOLÓGICAS.....	103
2.3 A SPELEOLOGICAL RELEVANCE ASSESSMENT PROTOCOL BASED ON THE GEODIVERSITY OF NATURAL UNDERGROUND CAVITIES IN DIFFERENT LITHOTYPES IN BRAZIL.....	131
3 CONCLUSÃO	156
REFERÊNCIAS	163
ANEXOS	179

1. INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DA PESQUISA

Caverna é conceituada cientificamente, de acordo com Smith (1998), como uma cavidade natural na rocha, suficientemente grande para um humano adentrar. O termo também se aplica se a cavidade estiver totalmente inundada, mas se estiver preenchida por sedimentos ou gelo, tornando-a impenetrável, o conceito deve ser revisado.

No Brasil, o conceito de caverna no âmbito legal é definido pelo Decreto nº 6.640, de 7 de novembro de 2008, que utiliza o termo cavidade natural subterrânea. Este decreto traz que cavidade é todo e qualquer espaço subterrâneo acessível pelo ser humano, com ou sem abertura identificada, popularmente conhecida como caverna, gruta, lapa, toca, abismo, furna ou buraco, incluindo seu ambiente, conteúdo mineral e hídrico, a fauna e a flora ali encontrados e o corpo rochoso onde os mesmos se inserem, desde que tenham sido formados por processos naturais, independentemente de suas dimensões ou tipo de rocha encaixante (BRASIL, 2008).

As rochas com presença de minerais mais solúveis, como a calcita, halita, anidrita, gipsita e dolomita, podem ser consideradas como indicadores físicos da ocorrência de cavidades naturais subterrâneas. Porém, rochas que tradicionalmente são consideradas menos solúveis, como quartzitos e arenitos siliciclásticos, formações ferríferas e canga, e granitos, constituem parte importante do patrimônio espeleológico no Brasil e no mundo.

De acordo com os relatórios 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), o Brasil possui atualmente 21.397 cavernas (CANIE, 2020). Já o Cadastro Nacional de Cavernas do Brasil (CNC) da Sociedade Brasileira de Espeleologia (SBE), registra 8.082 cavernas.

Embora haja divergências entre os números totais, os dois cadastros são considerados importantes ferramentas para as mais diversas pesquisas de informações sobre as cavernas. Contudo, o CANIE deve ser considerado o banco de dados oficial para o controle do número total de cavernas em território brasileiro, não apenas pelo número superior de cavernas registradas, mas também por agrupar as

informações presentes no sistema da SBE e por ser referência aos processos de licenciamento ambiental e gestão do patrimônio espeleológico nacional.

Os dados oficiais do CANIE mostram que no Brasil 98,9% das cavernas se desenvolvem em quatro litotipos principais, sendo: 68,5% em rochas carbonáticas (calcários, dolomitos, seus correspondentes metamórficos, calcarenitos, dentre outras com composição carbonática), 19,5% em ferríferas (canga, itabirito, jaspilito, ferricrete), 9,9% em siliciclásticas (quartzarenitos, quartzitos, conglomerados) e 1% em rochas graníticas (granitos, sienogranito, granodiorito).

Este dado reflete o histórico de maior atenção e esforços de pesquisa e exploração de cientistas e grupos de espeleologia em áreas com afloramentos de rochas carbonáticas. As exigências de prospecção espeleológica para o licenciamento de mineração presentes no Decreto nº 6.640/2008, juntamente com as atividades de grandes minerações de ferro no Quadrilátero Ferrífero (Minas Gerais) e na Serra de Carajás (Pará), resultou no crescimento acentuado do registro de cavernas em rochas ferríferas. Porém, as áreas com rochas sedimentares siliciclásticas e principalmente graníticas ainda são pouco exploradas por cientistas e grupos espeleológicos e, em muitos casos, os estudos espeleológicos para licenciamento ambiental não chegam a ser requeridos pelos órgãos ambientais competentes.

As cavidades subterrâneas, por si só, são consideradas ambientes únicos e particulares, mas devido aos diferentes litotipos que podem desenvolver cavernas é possível atribuir singularidades específicas em diversos aspectos. Como exemplo, os aspectos genéticos podem diferenciar dependendo do contexto geológico no qual a caverna está inserida, assim como as feições geológicas que compõe o ambiente subterrâneo. Apesar da semelhança que possa ocorrer nos processos de desenvolvimento de cavidades naturais subterrâneas, é certo que a história geológica, geomorfológica e climática difere para cada local, podendo expressar de formas múltiplas nas feições geológicas e demais aspectos da geodiversidade de cavernas.

Considerados como ecossistemas frágeis e delicados, as cavernas devem ser estudadas e monitoradas em casos de intervenções humanas diretas e/ou indiretas, visando principalmente analisar alterações no fluxo de energia no ambiente subterrâneo (aumento do aporte sedimentar, diminuição ou desaparecimento de cursos hídricos, aumento da temperatura e concentração de CO₂) e o impacto que

estas alterações causam nos elementos cavernícolas bióticos e abióticos. Para tanto, há uma legislação específica no Brasil para tratar o patrimônio espeleológico, a qual estabelece critérios de gestão, utilização, proteção e supressão de cavidades naturais subterrâneas.

Áreas com potencial espeleológico possuem expressivo valor econômico, sendo destaque para atividades de exploração de água, calcário, areia, minério de ferro e diversos outros recursos minerais. Além disso, estas áreas apresentam crescente interesse para o uso turístico, agropecuário, plantio comercial de espécies arbóreas exóticas, construção de hidrelétricas e urbanização.

Por este motivo, o arcabouço legal que trata sobre a espeleologia brasileira vem colecionando normatizações específicas ao tema, incluindo decretos, resoluções, portarias e instruções normativas, desde a década de 1980 até os dias atuais, concomitantemente às polêmicas discussões sobre as questões ambientais (MONTEIRO, 2013).

No Brasil, a principal legislação espeleológica é o Decreto Federal nº 99.556, de 1º de outubro de 1990, o qual foi significativamente modificado pelo Decreto Federal nº 6.640, de 7 de novembro de 2008, que normatizou o uso, supressão e conservação das cavidades naturais subterrâneas a partir da definição do grau da relevância espeleológica, classificada em máxima, alta, média e baixa. Segundo Berbert-Born (2010), para avaliar a relevância das cavernas, o decreto traz que devem ser consideradas as características biológicas, ecológicas, geológicas, paleontológicas, hidrológicas, cênicas, histórico-culturais e socioeconômicas, as quais necessitam ser avaliadas por uma abordagem local e regional. São nesses atributos relacionados às cavernas que se busca reconhecer situações de singularidade e significância, que mostrem os valores ecológicos, científicos e culturais que necessitam de preservação ou compensação ambiental.

O Decreto 6.640/2008 surgiu durante o Programa de Aceleração do Crescimento (PAC), momento em que o Brasil apresentou elevado crescimento no setor da construção civil. Este episódio exigiu o aumento de produtos como cimento, cal, areia e outros agregados para a construção civil, fato que impulsionou o setor de mineração. Conseqüentemente, mais energia foi requerida, resultando na construção de diversas usinas hidrelétricas, desde pequenas a grandes centrais, aumentando significativamente a pressão sobre a natureza. Neste contexto, a presença de cavernas, tornou-se um dos fatores naturais para inviabilizar ou

influenciar diretamente o processo de instalação de empreendimentos, principalmente de mineração e hidrelétricas. A partir da sanção do decreto, apenas a existência de cavernas não é mais um parâmetro para impedir a instalação de empreendimentos e o desenvolvimento de uma determinada atividade.

Todavia, o Brasil apresenta uma realidade que perdurou há décadas em todo o território nacional, principalmente em regiões com órgãos de fiscalização ambiental deficitários. Pontes e Massuqueto (2015) colocam que cavidades naturais subterrâneas foram suprimidas sem a exigência de compensação ambiental aos infratores, o que ocorre até hoje em diversas regiões do Brasil, com cavernas formadas em diferentes litotipos. Como exemplo, é válido mencionar o caso existente no estado do Paraná, onde vários empreendimentos de elevado potencial degradador não apresentam estudos espeleológicos no processo de licenciamento ambiental, e quando há são insuficientes, o que deixa em risco todo o patrimônio espeleológico regional (PONTES, 2019).

Com a criação do Decreto nº 6.640/2008 as cavernas consideradas de máxima relevância não podem ser impactadas. Já as classificadas como de alta relevância que forem suprimidas por alguma atividade, devem ser compensadas através de medidas de compensação ambiental previstas no Artigo 36 da Lei Federal nº 9.985/2000 (Sistema Nacional de Unidades de Conservação – SNUC) (BRASIL, 2000). Contudo, salienta-se que quando a compensação ocorre é comum o desvirtuo de finalidade, ou seja, geralmente o Poder Executivo dá um destino incorreto ao recurso, sendo remanejado para pastas não atreladas à área ambiental. Esta situação foi evidenciada na Ação Civil Pública (ACP) que o Ministério Público do Estado de Minas Gerais ajuizou contra o Estado de Minas Gerais e o Instituto Estadual de Florestas (IEF) por não destinarem recursos de compensação ambiental às Unidades de Conservação do Estado, muito delas repletas de cavidades subterrâneas (MPMG, 2015).

Apesar de ter como objetivo normatizar o uso e a conservação do patrimônio espeleológico brasileiro, desde que foi sancionado, o Decreto nº 6.640/2008 ocasiona diversas discussões entre os pesquisadores espeleólogos brasileiros, pois a partir de sua criação as cavernas passaram a poder ser suprimidas legalmente. Para Figueiredo et al. (2010) este decreto trocou a proteção integral que o patrimônio espeleológico recebia pela possibilidade de ampla destruição do mesmo.

Dentre os principais problemas detectados nesta legislação, que prejudicam a caracterização do ambiente e distorcem os valores ajuizados, segundo Berbert-Born (2010), está o tratamento não sistêmico dos atributos, incertezas, subjetividade, arbitrariedade e precariedade temporal dos estudos espeleológicos.

Trajano e Bichuette (2010) afirmam que os estudos ambientais que visem à classificação de cavernas de acordo com o seu grau de relevância têm falhado nesse objetivo, pois seguem protocolos insuficientes para testar a ausência dos atributos de máxima relevância estabelecidos na legislação. As referidas autoras destacam que entre as diversas falhas da instrução normativa, está a definição de critérios mínimos de estudo que, na verdade, não são efetiva e cientificamente mínimos para compreender a relevância destes ambientes. Os parâmetros de avaliação adotados pelo decreto, e em sua instrução normativa, não suprem o necessário para identificar a relevância do patrimônio espeleológico, necessitando detalhamento nos dispositivos legais a fim de prever estudos de maior detalhe.

Ganem (2009) afirma que o decreto não estabeleceu métodos para a aplicação dos critérios de classificação de cavernas, ou seja, não há qualquer parâmetro que aponte como definir a importância dos atributos. Marra (2008), em sua tese de doutorado intitulada “Critérios de relevância para a classificação de cavernas no Brasil” também questiona se os atributos do decreto nº 6.640/2008 são suficientes na classificação de cavidades naturais subterrâneas. Trata-se, portanto, de problemas de natureza metodológica para a atribuição da relevância espeleológica.

No entanto, a inquestionável a necessidade de recursos naturais pela sociedade moderna. Isso exige a exploração da natureza, mas é evidente que esta extração deve ser realizada da melhor maneira possível, ou seja, com o mínimo impacto ambiental e dentro de preceitos conservacionistas. É esta lógica que reforça a necessidade de medidas de geoconservação, através de políticas públicas, a exemplo do Decreto nº 6.640/2008. Neste caso, faltam ajustes metodológicos visando à melhoria deste dispositivo legal e a correção de situações que caracterizam brechas e subjetividade.

As cavernas classificadas com grau máximo de relevância, de acordo com o decreto, têm sua proteção garantida segundo a lei, porém essa classificação é quase sempre atribuída com base nos aspectos biológicos. Esta tendência por um lado é motivada pelo fato da conservação da biodiversidade ter maior apelo se

comparada a geodiversidade. Por outro, soma-se a falta de conhecimento sobre a geodiversidade dos ambientes subterrâneos e prováveis lacunas no Decreto nº 6.640/2008. Por isso, são importantes políticas públicas que possuam diretrizes e normas detalhadas e eficientes, para garantir a atribuição de relevância espeleológica também com base nos aspectos da geodiversidade.

A ampla falta de conhecimento a cerca dos elementos abióticos de cavernas e lacunas na legislação espeleológica deixam o tema marginalizado e vulnerável a erros em processos de licenciamento ambiental, sendo um grave risco a geoconservação de cavidades subterrâneas em todo o território nacional.

Há um expressivo número de trabalhos científicos sobre o tema espeleologia, em seus mais variados assuntos, porém, ainda de forma muito restrita são os trabalhos sobre a legislação espeleológica. São ainda mais escassas as produções científicas com foco na análise da legislação espeleológica e a conservação dos aspectos da geodiversidade de cavernas, sobretudo as feições geológicas.

Diante da problemática apresentada, se questionou se os métodos de classificação da relevância do patrimônio espeleológico previstos no Decreto Nº 6.640/2008 e sua Instrução Normativa MMA Nº 2/2017 são eficazes para a avaliação da geodiversidade de cavidades naturais subterrâneas desenvolvidas em diferentes tipos de rochas?

Como hipótese, admite-se que o decreto e demais dispositivos associados não levam em consideração os aspectos da geodiversidade, sobretudo as feições geológicas, de cavernas em diferentes litotipos em sua totalidade. Da mesma forma, não definem parâmetros claros e eficazes para a identificação da relevância destes ambientes, quando na análise dos aspectos da geodiversidade, como também não mencionam as diversas feições geológicas passíveis de ocorrer em diferentes ambientes subterrâneos do Brasil.

A partir disso, esta pesquisa teve como objetivo propor métodos, com parâmetros e critérios objetivos para a classificação de relevância de cavidades naturais subterrâneas desenvolvidas em contextos litológicos distintos, a partir dos aspectos da geodiversidade de cavernas e contribuir para medidas de geoconservação no Brasil.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Propor métodos, com parâmetros e critérios objetivos para a classificação de relevância de cavidades naturais subterrâneas de diferentes litotipos, a partir dos aspectos da geodiversidade, como contribuição para medidas adequadas de geoconservação no Brasil.

1.2.2 Objetivos específicos

- a) aplicar e avaliar o método de identificação da relevância espeleológica conforme a Instrução Normativa MMA nº 2/2017 a partir das feições geológicas;
- b) inventariar as feições geológicas de cavidades naturais subterrâneas desenvolvidas em rochas carbonáticas, siliciclásticas, graníticas e ferríferas;
- c) quantificar e classificar a geodiversidade das oito cavidades naturais subterrâneas foco deste estudo com base nos princípios da geoconservação;
- d) apresentar protocolo com diretrizes de geoconservação para identificação da relevância espeleológica de cavidades naturais subterrâneas desenvolvidas em diferentes litotipos.

1.3 HISTÓRICO DA LEGISLAÇÃO ESPELEOLÓGICA BRASILEIRA

No Brasil, há diversas leis que tratam sobre o patrimônio espeleológico, mas não citam cavidades naturais subterrâneas de maneira direta. Como exemplo, cita-se a Lei nº 3.924, de 26 de julho de 1961, que trata sobre os monumentos arqueológicos e pré-históricos nacionais, incluindo nesta classificação as grutas, lapas e abrigos sob rocha que apresentam vestígios de ocupação pelos paleoameríndios (BRASIL, 1961). Além desta lei, se enquadra neste aspecto o Artigo 216 da Constituição Federal Brasileira, que considera os sítios de valor histórico, paisagístico, arqueológico, paleontológico, ecológico e científico como patrimônio cultural brasileiro, podendo nestes casos, incluir as cavidades naturais subterrâneas (BRASIL, 1988).

A primeira vez que o poder público manifestou oficialmente, e diretamente, o interesse pela proteção e conservação de cavernas foi através da Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) nº 009, de 24 de Janeiro de 1986, a qual criou uma Comissão Especial para tratar de assuntos relativos à preservação do Patrimônio Espeleológico (CONAMA, 1986). Logo no ano seguinte, como resultado dos trabalhos feitos pela Comissão Especial, foi publicada a Resolução CONAMA nº 005, de 6 de Agosto de 1987, ainda com a inexistência de uma lei específica para proteger regularmente o patrimônio espeleológico nacional, foi criado o Programa Nacional de Proteção ao Patrimônio Espeleológico (MMA, 1987).

A inserção do patrimônio espeleológico na Constituição Federal Brasileira de 1988 foi um marco de significativa importância. Em seu artigo 20, as cavidades naturais subterrâneas passaram a ser consideradas como bens da União (BRASIL, 1988). É somente após a Constituição Federal de 1988 que a legislação a cerca do patrimônio espeleológico brasileiro começa a ganhar destaque, com a sanção de decretos, portarias e resoluções.

Em 15 de Junho de 1990, o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) através da Portaria nº 887 instituiu as principais normas para a gestão das cavernas brasileiras. Dentre os principais tópicos desta portaria está: a) a realização de um diagnóstico da situação do patrimônio espeleológico nacional; b) a limitação do uso das cavidades naturais subterrâneas (apenas para pesquisa e atividades de caráter espeleológico, étnico-cultural, turístico, recreativo e educativo); c) exigência de Estudo de Impacto

Ambiental (EIA) para atividades diversas realizadas em áreas de ocorrência de cavidades naturais subterrâneas ou de potencial espeleológico; d) proibição de diferentes tipos de uso de solo e subsolo que representem risco as cavidades naturais subterrâneas e sua área de entorno e, e) a criação e definição de área de influência de uma cavidade natural subterrânea.

Ainda em 1990, no dia 1 de outubro, foi publicado o Decreto Federal nº 99.556, considerado a principal dispositivo legal da legislação brasileira que trata sobre o patrimônio espeleológico. Este decreto dispõe sobre a proteção das cavidades naturais subterrâneas existentes no território nacional, considerando as cavernas como patrimônio cultural brasileiro, devendo ser preservadas e conservadas de modo a permitir pesquisas e atividades de caráter espeleológico, étnico-cultural, turístico, recreativo e educativo, seguindo o predisposto na Portaria nº 887/1990 (BRASIL, 1990).

Em 1997, a Portaria IBAMA nº 57, de 5 de junho de 1997 criou o Centro Nacional de Estudo Proteção Manejo de Cavernas (CECAV), enquadrado na categoria de Unidade Descentralizada do IBAMA. Após dez anos, com a criação do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio), o CECAV foi incorporado à estrutura organizacional do novo instituto. Porém só foi reconhecido como uma unidade descentralizada pertencente ao ICMBio dois anos depois, através da Portaria ICMBio nº 78, de 3 de setembro de 2009 (IBAMA, 1997 e ICMBIO, 2009).

No ano de 2002 foi instituído um grupo de trabalho para rever portarias do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) referente ao patrimônio espeleológico, através da Portaria MMA nº 81, de 26 de fevereiro de 2002 (MMA, 2002). O grupo foi formado por representantes do poder público, do CONAMA e da União Internacional de Espeleologia (UIS), e teve como o objetivo atualizar as Resoluções CONAMA nºs 009/1986 e 005/1987.

A Resolução CONAMA nº 347, de em 10 de setembro de 2004 (CONAMA, 2004) teve como objetivo aprimorar e atualizar o Programa Nacional de Proteção ao Patrimônio Espeleológico e de disciplinar o uso desse patrimônio, normatizar o licenciamento ambiental das atividades que afetam ou possam afetar o patrimônio espeleológico, incorporando ao sistema de licenciamento ambiental os instrumentos de gestão ambiental do patrimônio espeleológico. Esta resolução abordou pela primeira vez o conceito de cavidade natural subterrânea relevante, o que até então

não havia sido considerado na legislação espeleológica. Posteriormente, a Resolução nº 428, de 17 de dezembro de 2010, revogou os itens que tratavam sobre cavernas com relevância (CONAMA, 2010).

A Portaria IBAMA nº 34, de 18 de abril de 2006, instituiu um novo grupo de trabalho para discutir e revisar a legislação que regulamenta a proteção e a utilização sustentável das cavidades naturais subterrâneas existentes no Brasil, composto apenas por representantes do IBAMA.

No ano de 2008, o Decreto nº 99.556, considerado como marco legal, foi significativamente modificado pelo Decreto nº 6.640, de 7 de novembro de 2008, que definiu a classificação de cavidades naturais subterrâneas em relevância máxima, alta, média e baixa para o processo de licenciamento ambiental, passando a permitir a supressão total de cavernas em todo o território nacional, conforme descrito em Brasil (2008):

"Art. 2º- A cavidade natural subterrânea será classificada de acordo com seu grau de relevância em máximo, alto, médio ou baixo, determinado pela análise de atributos ecológicos, biológicos, geológicos, hidrológicos, paleontológicos, cênicos, histórico-culturais e socioeconômicos, avaliados sob enfoque regional e local.

(...) **Art. 4º-** A cavidade natural subterrânea classificada com grau de relevância alto, médio ou baixo poderá ser objeto de impactos negativos irreversíveis, mediante licenciamento ambiental. (BRASIL, 2008).

Assim, a Constituição Federal de 1988 considera as cavidades naturais subterrâneas como bens da União e o Decreto nº 6.640/2008 permitiu o uso destes espaços (até mesmo sua supressão total). Isso implica tanto em restrições referente ao direito de propriedade como também se criou a necessidade de uma série de estudos para o licenciamento espeleológico.

Neste sentido, surgiu a relevância espeleológica, conceito criado pela Instrução Normativa MMA nº2, de 20 de agosto de 2009 (MMA, 2009). Porém, essa normativa foi revogada recentemente pela Instrução Normativa MMA nº2, de 30 de agosto de 2017 (ANEXO 1). A classificação de relevância espeleológica deve considerar aspectos diversos, conforme citado no Art. 2º do referido decreto, os quais deverão ser avaliados por uma abordagem local e regional. Busca-se reconhecer nesses atributos situações de notoriedade, singularidade, expressividade, representatividade e significância, que traduzam valores ecológicos,

científicos e culturais a serem preservados ou compensados (BERBERT-BORN, 2010).

A Portaria MMA nº 358, de 30 de setembro de 2009, criou o Programa Nacional de Conservação do Patrimônio Espeleológico, com o objetivo de desenvolver uma estratégia nacional de conservação e uso sustentável do patrimônio espeleológico brasileiro. A Instrução Normativa ICMBio nº 25, de 12 de abril de 2012, disciplinou os procedimentos de planos de ação nacionais para conservação de espécies ameaçadas de extinção ou do patrimônio espeleológico.

No ano de 2014, duas instruções normativas do ICMBio foram publicadas, a nº 3, de 1 de setembro de 2014, que fixou normas para a utilização do Sistema de Autorização e Informação em Biodiversidade (SISBio), exigindo licenças para pesquisas em cavidades naturais subterrâneas, e a nº 7, de 10 de novembro de 2014, que estabelece procedimentos para licenciamentos e autorização de pesquisa em Unidades de Conservação Federais e suas áreas de amortecimento, incluindo cavernas.

Em 2017 outras três instruções normativas do ICMBio entraram em vigor. A IN nº 1, de 24 de janeiro de 2017, estabeleceu procedimentos para definição de outras formas de compensação ao impacto negativo irreversível em cavidade natural subterrânea com grau de relevância alto. A IN nº 4, de 20 de setembro de 2017, modificou a IN nº 1/2017, com acréscimo do art. 5-A e nova redação ao art. 6. Por fim, a Instrução Normativa MMA nº2, de 30 de Agosto de 2017, que revogou a IN MMA nº2/2009, e estabeleceu métodos atualizados para a classificação do grau de relevância das cavidades naturais subterrâneas (MMA, 2017). Esta normativa, objeto de análise da presente pesquisa, está em vigor atualmente, sendo o principal instrumento legal para o licenciamento espeleológico no território brasileiro.

1.4 GEOCONSERVAÇÃO, GEODIVERSIDADE E PATRIMÔNIO GEOLÓGICO

As cavidades naturais subterrâneas e os sítios arqueológicos e pré-históricos são bens da união e demandam ações concretas de proteção através de políticas públicas. Estas ações devem integrar de forma efetiva as variáveis sociais, econômicas e ambientais.

O patrimônio espeleológico brasileiro é rico e diversificado, sendo caracterizado pela heterogeneidade geológica, geomorfológica e ambiental, porém, está em um cenário preocupante, do ponto de vista da conservação. A elaboração de critérios mais adequados para a priorização de áreas destinadas à conservação do patrimônio espeleológico é fundamental, pois, a proteção dos elementos da geodiversidade não se enquadra em todas as categorias estabelecidas nos dois grupos de unidades de conservação, Proteção Integral e Uso Sustentável, pertencentes ao Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza, o SNUC (CAVALCANTI et al., 2015).

Os autores citados acima colocam ainda, que as cavernas são geralmente conhecidas por sua beleza cênica, seus espeleotemas ou as dimensões de seus pórticos e salões subterrâneos. Esses são os primeiros atributos utilizados para justificar a importância e necessidade de preservação das cavidades. Entretanto, os valores de uma caverna vão além dos cênicos, paisagísticos e de dimensões, apresentando um rico conjunto de elementos bióticos e abióticos.

As estratégias de conservação do meio natural sempre estiveram focadas na biodiversidade, fazendo com que os elementos geológicos, ou a geodiversidade, quase sempre fiquem em segundo plano. E esta realidade não é diferente quando o tema é patrimônio espeleológico. Esta lógica, de falta de importância e atenção para com a geodiversidade, torna-se, portanto, equivocada, uma vez que as condições abióticas sempre foram cruciais para a evolução e sobrevivência de todos os seres vivos (BRILHA, 2005).

O termo geodiversidade ainda é considerado recente, comparado aos demais termos das Geociências, e conforme Gray (2004), o conceito surgiu por ocasião da Conferência de Malvern sobre Conservação Geológica e Paisagística, realizada no Reino Unido em 1993. Para Brilha (2005) a geodiversidade consiste na variedade de ambientes geológicos, fenômenos e processos ativos que compõem paisagens,

rochas, minerais, fósseis, solos e outros depósitos superficiais que são o suporte para a vida na Terra.

Devido à necessidade que a sociedade tem dos elementos geológicos, pouco se faz para a proteção dos mesmos. Conforme aponta Brilha (2005) a geodiversidade sofre ameaças, em escalas diversas e graus distintos, quase sempre de uma forma direta ou indiretamente relacionada com atividades humanas.

Como exemplo das ameaças que a geodiversidade vem sofrendo, pode-se citar: exploração de recursos geológicos, desenvolvimento de obras e estruturas de múltiplas finalidades, urbanização precária, a falta de gestão de bacias hidrográficas, desmatamentos, atividades agrosilvopastoris, atividades militares, atividades recreativas e turísticas, coleta de amostras geológicas para fins não científicos e até mesmo a coleta de amostras para fins científicos de maneira descontrolada. A falta de conhecimento técnico-científico na área das Geociências e baixa valorização destas áreas do conhecimento, por parte de políticos, técnicos, sociedade em geral e até mesmo, na academia, agrava ainda mais esta situação.

Por mais que apresentem uma aparência de resistência e durabilidade, os elementos da geodiversidade são frágeis. A ideia de que sejam infinitos e duradouros, estando além da interferência humana, faz com que não sejam alvos prioritários quando se trata da conservação do meio natural (ROCHA e GUIMARÃES, 2010). Desta maneira, devido às ameaças e em contraponto com as necessidades da sociedade moderna, buscando a conservação do meio abiótico, surge a Geoconservação.

Para Sharples (2002) a Geoconservação visa à preservação da diversidade natural, ou geodiversidade, de significativos aspectos e processos geológicos, geomorfológicos e do solo, garantindo sua manutenção e evolução natural. Surgiu como uma forma de conservar o meio abiótico, que muitas vezes apenas são protegidos por estarem localizados em áreas de proteção biológica, histórica ou cultural, mas não propriamente pelo seu valor científico-geológico. Diversos autores salientam sobre o esquecimento, proposital ou não, da conservação da geodiversidade nas políticas públicas voltadas à conservação da natureza no Brasil, como é o caso da Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000, que institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação (e.g. PEREIRA et al., 2008 e PONTES et al., 2018).

Entretanto, não é possível conservar toda a diversidade geológica existente e para isso são utilizados métodos para análise de alguns parâmetros que buscam classificar e escolher quais locais devem ser protegidos. Há toda uma preocupação na forma de definir o que é mais representativo da geodiversidade e o que deve ser conservado. Por isso, os locais que apresentam o mais alto grau de interesse geológico são classificados como geossítios.

O conjunto de geossítios constitui o patrimônio geológico de uma determinada região, definido a partir de um levantamento geológico detalhado, seguido da valoração e comparação com dados similares de outros locais (PEREIRA, 2010). Nieto (2002) coloca que o patrimônio geológico inclui os recursos naturais não renováveis, como formações rochosas, formas de relevo e paisagens, minerais, fósseis e coleções de objetos geológicos, que apresentem algum valor científico, cultural ou recreativo.

O objetivo da Geoconservação é conservar o patrimônio geológico e os processos a ele associados. Carcavilla, López-Martinez e Durán (2007) salientam a necessidade de um conjunto de técnicas e medidas para garantir a conservação da geodiversidade. De acordo com Lima et al. (2010) e Brilha (2016) o primeiro passo é definir os objetivos, considerando quatro questões principais: a) o tema que será inventariado (patrimônio geológico como um todo, patrimônio paleontológico, patrimônio geomorfológico, uma única estrutura geológica, entre outros); b) o valor, o qual está intimamente relacionado ao uso potencial dos locais, podendo ser científico, educacional e/ou turístico; c) a escala, a qual se refere ao tamanho da área onde o inventário geológico será realizado, por exemplo, um parque natural, um município, um estado ou mesmo um país todo e; d) o uso, relacionado ao objetivo dos locais inventariados, como exemplo, desenvolver um projeto voltado ao geoturismo, promover a geodiversidade local ou um programa educacional, apoiar estratégias nacionais de geoconservação, entre outros. Para isso é preciso métodos eficientes, capazes de determinar a relevância da geodiversidade com base na análise de parâmetros diversos.

Para Brilha (2005) devido às ameaças que a geodiversidade enfrenta é preciso aplicar métodos que visem à conservação dos elementos abióticos, assim se torna necessário implantar as estratégias de Geoconservação, que consistem em:

1 – inventário: fase que busca reconhecer e caracterizar todos os geossítios que apresentem feições singulares e um elevado valor científico, educativo, cultural,

entre outros, sendo o melhor representante dentre os demais com ocorrências similares;

2 – quantificação: processo no qual cada geossítio passa por avaliação da relevância de seus valores por meio de aplicação de métodos precisos e com a menor subjetividade possível;

3 – classificação (enquadramento legal): refere-se à identificação de mecanismos legais (leis no âmbito federal, estadual ou municipal) capazes de efetivamente garantir a proteção do patrimônio geológico;

4 – avaliação: procedimento de avaliação dos geossítios diante de sua vulnerabilidade perante a degradação ocasionada por processos naturais e antrópicos;

5 – valorização e divulgação: consistem no conjunto de informações e interpretações que ajudarão o público em geral a conhecer a importância e os valores do geossítio, e por fim;

6 – monitoramento: processo de constante supervisão do patrimônio geológico e a manutenção de sua integridade física e relevância.

Em seu trabalho de 2016, Brilha coloca os critérios que devem ser adotados para classificar um geossítio como de valor científico, descritos a seguir:

1 – representatividade: é relativa à adequação de o geossítio ilustrar um processo ou recurso geológico que traz uma contribuição significativa para o entendimento do tema geológico;

2 – localidade chave: importância de um geossítio como referência ou modelo para tópicos como estratigrafia, paleontologia, mineralogia, entre outros;

3 – conhecimento científico: com base na existência de dados científicos já publicados sobre o geossítio em questão.

4 – integridade: relacionada à condição atual de conservação do geossítio, levando em consideração os processos naturais e as ações antrópicas;

5 – diversidade geológica: quando possui um elevado número de diferentes características geológicas de interesse científico;

6 – raridade: se refere ao número de geossítios na área de estudo que apresentam características geológicas semelhantes e;

7 – limitações de uso: quando há obstáculos que possam ser problemáticos para o uso científico regular do geossítio.

Pode-se dizer que a geoconservação é baseada em três pilares principais: educação, conservação da natureza e ordenamento do território, que devem ser colocados em prática, buscando cada vez mais inserir os temas geodiversidade, patrimônio geológico e geoconservação em políticas públicas (BRILHA, 2005).

Entretanto, tal como o conceito de geodiversidade, a geoconservação não recebe destaque e importância necessária. Quando se fala sobre conservação da natureza, a palavra geoconservação dificilmente é associada. Tal fato é evidenciado no trabalho de Bittencourt e De Paula (2012) que analisaram a produção científica em unidades de conservação da natureza no território nacional, constatando uma enorme quantidade de trabalhos sobre biodiversidade, confirmando a disparidade em relação a artigos sobre geodiversidade.

Em termos legislativos no Brasil, várias leis e decretos foram implantados como instrumentos para a proteção do meio natural. Todavia, poucos estão especificamente voltados para a proteção da geodiversidade. Há, nas políticas públicas, diversas lacunas em relação aos temas geoconservação, geodiversidade e patrimônio geológico. Destaca-se que uma das etapas de estratégia da geoconservação é justamente o enquadramento legal, sendo um grave problema haver tais lacunas em relação a estes temas na legislação brasileira.

Regiões com ocorrência de cavernas apresentam diversos processos, formas e feições singulares e o inventário, quantificação e classificação destes ambientes, em busca da geoconservação, exige critérios específicos, que considerem as particularidades presentes nas cavidades subterrâneas. A legislação que trata sobre o patrimônio espeleológico brasileiro pode ser considerada uma das poucas leis que abordam mais claramente sobre aspectos da geodiversidade. Mesmo assim, há problemas em seus textos normativos.

Neste sentido, mesmo com uma legislação que conseguiu incluir a geodiversidade, ainda há lacunas na classificação da relevância de cavernas com base nos aspectos da geodiversidade subterrânea. O método de quantificação possui inconsistências, especialmente em relação aos valores e pesos atribuídos para os parâmetros analisados e subjetividades presentes na análise. O desafio é chegar a um resultado que apresente um método mais eficiente, que inclua as feições da geodiversidade de cavernas desenvolvidas em diferentes litotipos na avaliação e seja menos subjetivo possível.

1.5 JUSTIFICATIVAS DA PESQUISA: ANÁLISE CRÍTICA DA INSTRUÇÃO NORMATIVA MMA Nº 02, DE 30 DE AGOSTO DE 2017

A presente pesquisa tem como principal justificativa a necessidade de análise dos dispositivos legais em vigência que possibilitam a supressão total de cavidades naturais subterrâneas. É investigado se os aspectos da geodiversidade subterrânea em diferentes contextos geológicos são contemplados de maneira suficiente e contundente na análise de relevância espeleológica, sobretudo as feições geológicas. Para isso, buscaram-se identificar incongruências, lacunas e subjetividade nestes dispositivos legais, problemas estes que deixam vulnerável o patrimônio espeleológico. Desta forma, é possível propor novo método de estudo, que busque de maneira efetiva garantir a geoconservação dos ambientes subterrâneos no Brasil.

O Brasil possui atualmente mais de vinte mil cavidades subterrâneas, conforme o Cadastro Nacional de Informações Espeleológicas (CANIE) do Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas (CECAV). As maiores concentrações de cavernas ocorrem em quatro principais tipos de rocha, sendo: carbonáticas, siliciclásticas, ferríferas e graníticas. Neste sentido, esta pesquisa incluiu oito estudos de casos, a fim de identificar os distintos aspectos da geodiversidade que as cavernas apresentam quando desenvolvidas nos litotipos anteriormente citados, envolvendo diferentes características, feições e elementos.

Ao início da pesquisa, a instrução normativa que prevalecia no país em relação à relevância espeleológica, era diferente da qual rege o tema no momento. A partir da análise feita em seus instrumentos normativos, indagou-se se os métodos de classificação para relevância do patrimônio espeleológico eram eficazes para a avaliação da geodiversidade de cavidades naturais subterrâneas desenvolvidas em diferentes tipos de rochas.

Como hipótese, admite-se que o Decreto nº 6.640/2008 e a INMMA nº 02/2009 não levavam em consideração os aspectos da geodiversidade de cavernas em diferentes litotipos em sua totalidade. Da mesma forma, não definiam parâmetros claros e eficazes para a identificação da relevância destes ambientes, quando na análise das feições geológicas, por exemplo, como também não mencionavam as diversas geoformas passíveis de ocorrer em diferentes ambientes subterrâneos do Brasil.

Diversos pesquisadores, como Marra (2008), Ganem (2009), Figueiredo et al. (2010), Trajano e Bichuette (2010), Berbert-Born (2010), Timo e Acácio (2012), dentre outros, questionaram certa deficiência metodológica na aplicação da Instrução Normativa MMA nº 02/2009. A aplicação deste instrumento normativo resultaria na relevância espeleológica, o que, conseqüentemente, poderia autorizar a supressão total de cavidades naturais subterrâneas.

Uma vez que as cavernas se formam e apresentam feições, composição, forma e estrutura diferentes, métodos de classificação diferenciados deveriam ser adquiridos, na busca de um ajuste adequado para cada realidade, o que também não ficava claro na Instrução Normativa do Ministério do Meio Ambiente (INMMA) nº 02, de 20 de agosto de 2009.

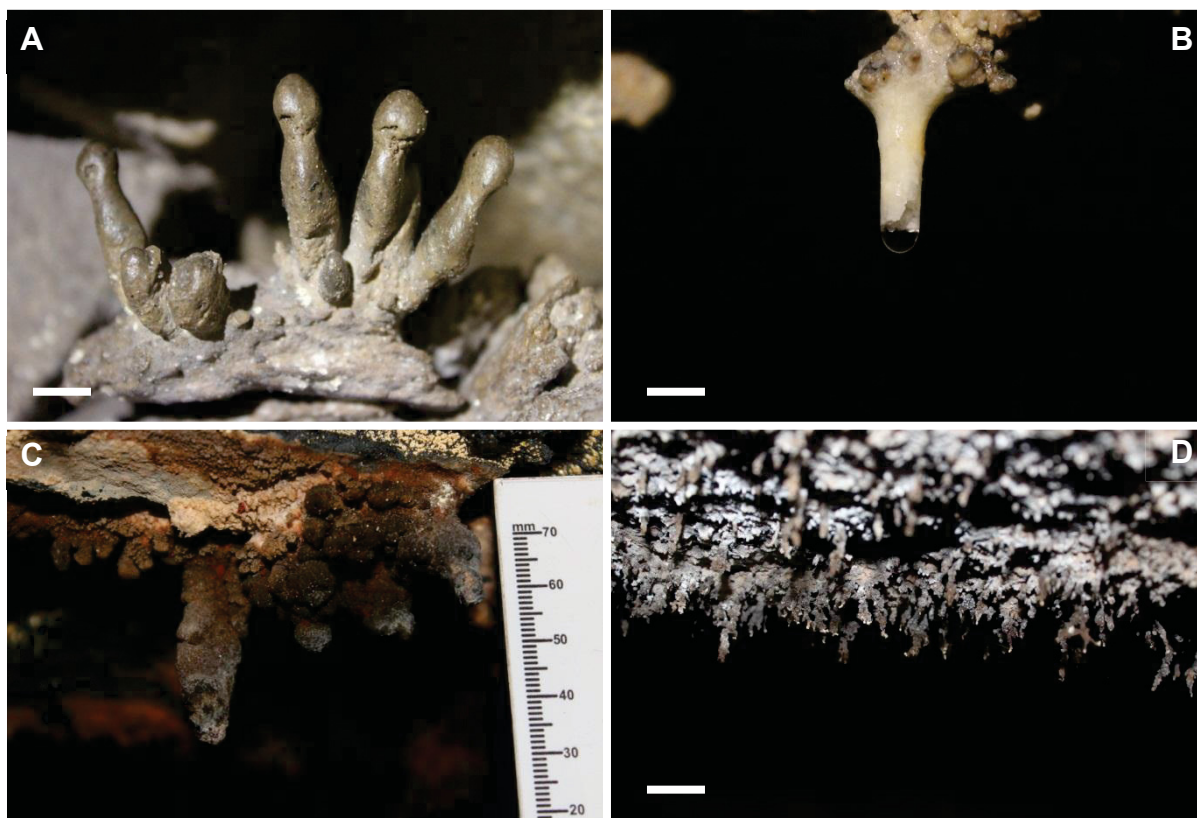
Analisando os atributos e respectivos conceitos que devem ser considerados para fim de classificação do grau de relevância, a INMMA nº 02/2009 trazia em relação aos espeleotemas (figura 1.1), por exemplo, a variável de presença ou ausência. Dessa forma, vários questionamentos surgiam, como: que parâmetro utilizar para saber se uma caverna possui muitos ou poucos espeleotemas? Qual é a relação entre muitos e poucos espeleotemas quando se compara cavernas em rochas carbonáticas, graníticas, ferríferas e siliciclásticas? Como se define o que são muitos ou poucos espeleotemas quando se comparam materiais compostos de sílica e carbonato de cálcio?

Ainda de acordo com a antiga e não mais em vigor INMMA nº 02/2009, as feições geológicas são abordadas como estruturas espeleogenéticas, com parâmetros de avaliação envolvendo: presença significativa de estruturas espeleogenéticas raras; presença de estruturas espeleogenéticas raras e estruturas espeleogenéticas sem destaque ou ausência. Nesse sentido, outras dúvidas poderiam ser apresentadas, como quais são as feições geológicas passíveis de serem encontradas em cavernas carbonáticas, graníticas, ferríferas e siliciclásticas? Quais feições são raras em determinado contexto geológico e quais não são?

Outro ponto que chamava a atenção era o Art. 7º, o qual colocava, dentre outros, como critério de classificação do grau de relevância, a alta projeção horizontal, alta área de projeção horizontal e o alto volume da cavidade em relação às demais cavidades que se distribuem na mesma unidade espeleológica. Tal item também causava dúvidas, pois não é possível comparar a extensão ou volume de uma caverna desenvolvida em determinado tipo de rocha carbonática com cavernas

desenvolvidas nos demais contextos litológicos. Neste caso, cita-se como exemplo, a Toca da Boa Vista (Bahia) com 114 km de extensão, desenvolvida em dolomito e a gruta do Riacho Subterrâneo (São Paulo) com 1.2 km, desenvolvida em granito.

FIGURA 1.1 - ESPELEOTEMAS FORMADOS EM CAVERNAS DE DIFERENTES LITOTIPOS A) EM CAVERNA SEDIMENTAR SILICICLÁSTICA; B) EM CAVERNA CARBONÁTICA; C) EM CAVERNA FERRÍFERA E; D) EM CAVERNA GRANÍTICA. ESCALA DE UM CENTÍMETRO. (FOTOS: HENRIQUE SIMÃO PONTES).



As situações anteriormente mencionadas são apenas alguns exemplos, a serem avaliados para todos os atributos considerados para classificação de grau de relevância máximo de uma caverna, em relação a sua geodiversidade. Ou seja, é preciso quantificar e classificar as feições geológicas e demais componentes da geodiversidade presentes na cavidade subterrânea, baseando-se em parâmetros objetivos, para posteriormente realizar uma análise integrada com o intuito de avaliar o valor da geodiversidade como um todo e identificar sua relevância espeleológica.

Após fazer essa análise da INMMA nº 02/2009, conclui-se que havia subjetividades em seus textos normativos, assim como lacunas que tornavam ineficiente a aplicação de métodos para a relevância de cavidades naturais

subterrâneas, não apresentando um roteiro para definir como quantificar e classificar cada um dos parâmetros individualmente.

Em 2017, corroborando com as hipóteses previamente apresentadas, o Ministério de Meio Ambiente revogou a INMMA nº 02/2009, e passou a vigorar a Instrução Normativa MMA nº 02, de 30 de agosto de 2017. Destaca-se aqui, que desde sua sanção até ser revogada, a Instrução Normativa possibilitou a supressão de diversas cavernas em todo território nacional. Este fato é comprovado pelo Tribunal de Contas da União, que salienta que, entre os anos de 2008 a 2013, das 418 cavidades naturais subterrâneas analisadas em estudos espeleológicos para o licenciamento de quatro empreendimentos, apenas nos casos em que o CECAV se manifestou, 72 cavernas tiveram a supressão autorizada (TCU, 2013). Isto representa que 17,2% do total de cavidades naturais subterrâneas envolvidas em processos de licenciamento neste período foram suprimidas. Pode até parecer pouco se levar em consideração a extensão territorial do Brasil, contudo é importante frisar que cada cavidade constitui um ambiente único, não substituível.

Mesmo com os alertas emitidos pela comunidade acadêmica, pesquisadores, profissionais e grupos da área espeleológica, que mostraram as fragilidades no método de determinação do grau de relevância, esta legislação ficou ativa e serviu como base legal nacional do tema por oito anos.

Com a revogação da normativa que regulamentava o procedimento de análise de relevância espeleológica, a presente pesquisa necessitou ser reestruturada por motivos de adequação a nova legislação, uma vez que seu conteúdo (textos, atributos, parâmetros de análises e variáveis para definir o grau de relevância espeleológico) foi modificado.

O primeiro passo após a publicação da nova instrução normativa foi analisar o que foi modificado, quais e se, a subjetividade anteriormente levantada foram suprimidas, e se esta nova normativa melhorou em termos de efetiva proteção do patrimônio espeleológico e dos aspectos da geodiversidade subterrânea, sempre considerando diferentes contextos litológicos.

A nova normativa traz em seus textos a quantificação dos atributos a serem considerados para a classificação de grau de relevância de cavernas, sendo esse um dos principais pontos modificados em relação à antiga. O Art. 4º da INMMA nº2/2017 coloca que a definição do grau de relevância das cavidades naturais subterrâneas deverá considerar, segundo os enfoques local e regional, os atributos,

grupos de atributos, peso e contribuição, conforme especificado no anexo II da Instrução Normativa. Segundo MMA (2017) os cálculos para a determinação da relevância deverão ser realizados de acordo com os parágrafos 1º e 2º do artigo 4º, que apresentam o seguinte:

§ 1º O resultado final para cada grupo de atributos será obtido pela somatória do resultado parcial de cada atributo avaliado, que por sua vez será resultado da multiplicação dos valores do peso e da contribuição de cada atributo.

§ 2º Somente os resultados finais que sejam iguais ou superiores a 30% do valor potencial máximo para cada grupo de atributos serão considerados minimamente significativos para fins de avaliação do grau de relevância da cavidade natural subterrânea. (MMA, 2017).

Outra mudança, entre as duas instruções normativas, está descrita no Art. 5º, o qual coloca que a importância dos atributos das cavidades naturais subterrâneas será definida como acentuada, significativa ou baixa de acordo com o número de grupos de atributos minimamente significativos, avaliados sob os enfoques local e regional (Tabela 1.1).

TABELA 1.1 - CLASSIFICAÇÃO DE IMPORTÂNCIA RELATIVA AOS ATRIBUTOS DA CAVIDADE NATURAL SUBTERRÂNEA, AVALIADOS SOB OS ENFOQUES LOCAL E REGIONAL.

Importância	Número de grupos de atributos considerados minimamente significativos para a classificação do grau de relevância	
	Enfoque local	Enfoque regional
Acentuada	4 a 8	2 a 4
Significativa	1 a 3	1
Baixa	0	0

FONTE: MMA (2017).

Entende-se, de acordo com a lei, que o enfoque local é delimitado pela unidade geomorfológica que apresente continuidade espacial, podendo abranger feições como: serras, morrotes ou sistemas cársticos, o que for mais restritivo em termos de área, desde que a área de influência da caverna seja contemplada.

Já o enfoque regional é delimitado pela unidade espeleológica, a qual é entendida como uma área com homogeneidade fisiográfica, geralmente associada à ocorrência de rochas mais solúveis, que pode congrega diversas formas de relevo cárstico e ou não, tais como dolinas, sumidouros, ressurgências, vale cego, lapiás e as próprias cavernas, delimitada por um conjunto de fatores ambientais específicos

para a sua formação. É importante deixar claro que associar a existência de cavidades naturais subterrâneas apenas em relevos compostos por rochas de constituição carbonática não é um critério seguro de caracterização e conservação destas feições no Brasil, pois diversas delas foram catalogadas nos últimos anos em regiões de rochas areníticas siliciclásticas, graníticas, ferríferas, dentre outras (SOUZA-SILVA et al., 2015).

O Art. 3º da Instrução Normativa MMA nº 2/2017 traz que as dimensões notáveis em extensão, área ou volume serão avaliadas para a classificação do grau de relevância. Entretanto, para fim de classificação do grau de relevância máximo das cavidades naturais subterrâneas, as dimensões notáveis em extensão, área e/ou volume, é considerado os casos em que a cavidade apresente extensão (horizontal ou vertical), área ou volume superior a oito vezes a mediana relativa ao enfoque local ou regional, sendo avaliada apenas a variável de presença ou ausência. O problema nesta regra é não ser explicado o motivo do valor adotado, tornando subjetivo o parâmetro e os pesos. Os valores mudam, mas a situação de subjetividade se repete na etapa de classificação da relevância para cavernas de alto, médio e baixo grau.

Dessa forma, a partir da análise feita nos anexos da instrução normativa, se entende que, antes de dar a relevância, é necessário conhecer todas as demais cavernas, no enfoque local e regional, uma vez que o parâmetro de extensão, área, volume e projeção estão presentes nos dois enfoques. Isto pode gerar graves problemas nos estudos que aplicam a Instrução Normativa MMA nº 2/2017, devido à falta de razoabilidade, resultada, sobretudo da incompatibilidade da proporcionalidade exigida na lei.

Levando em consideração a nova normativa, a presente pesquisa busca avaliar se o método proposto para quantificar e classificar as cavernas em grau de relevância, a partir da geodiversidade destes ambientes, é satisfatório quando na análise dos quatro contextos litológicos distintos (cavernas carbonáticas, siliciclásticas, ferríferas e graníticas).

Para aplicação do método de identificação da relevância espeleológica conforme a Instrução Normativa MMA nº 2/2017, com foco restrito sobre os aspectos da geodiversidade, primeiramente foi feita uma análise preliminar dos anexos I e II da normativa, a fim de identificar as alíneas que abordam especificamente elementos geológicos, conforme mostra o quadro 1.1:

QUADRO 1.1 - ATRIBUTOS DA GEODIVERSIDADE A SEREM CONSIDERADOS PARA FIM DE CLASSIFICAÇÃO DO GRAU DE RELEVÂNCIA DE CAVIDADES NATURAIS SUBTERRÂNEAS CONFORME A INSTRUÇÃO NORMATIVA MMA Nº2 DE 2017.

Atributo da geodiversidade	Conceito
Espeleotemas únicos	Espeleotemas individualmente ou em conjunto, pouco comuns ou excepcionais, em tamanho, mineralogia, tipologia, beleza ou profusão, especialmente se considerados frente à litologia dominante da cavidade ou sob os enfoques territoriais considerados (local ou regional).
Estruturas geológicas de interesse científico (Obs.: Na IN MMA nº2 de 2009 esse atributo encontrava-se como 'Estruturas espeleogenéticas').	Estrutura na rocha matriz de importância científica (ex. contatos, tectonismo, mineralogia), incluindo estruturas herdadas do processo de formação da cavidade (ex. <i>scallops</i> , <i>bell holes</i> , marmitas, meandros de teto, anastomoses pendentes, meios tubos, <i>boxwork</i> e assemelhados), padrões morfológicos ou seções geométricas.
Diversidade de depósitos químicos (Obs.: Na IN MMA nº2 de 2009 esse atributo encontrava-se como 'Diversidade da sedimentação química').	Complexidade da deposição secundária de minerais presentes em solução em relação aos tipos de espeleotemas (diversidade genética, morfológica e mineral) e processos (água estagnada, circulante ou de exsudação).
Configuração dos espeleotemas	Aspecto, maturidade ou abundância dos depósitos minerais secundários.
Sedimentação clástica ou química	Interesse/importância científica ou didática (biológica, climática, paleoclimática, antropológica, paleontologia) da deposição de fragmentos desagregados de rochas, solos e outros acúmulos sedimentares, inclusive orgânicos, de tamanhos diversos, associada à dinâmica hidrológica, morfológica, ou da deposição secundária de minerais presentes em solução.
Registros paleontológicos	Fósseis de animais e vegetais (restos, vestígios).

FONTE: Adaptado de MMA (2017).

O atributo relacionado à espeleotemas únicos fica condicionado a variável de presença ou ausência na cavidade natural subterrânea, estabelecendo o enfoque local ou regional. Os demais atributos da geodiversidade considerados passaram a ter seu grau de relevância a partir da quantificação proposta no Anexo II da Instrução Normativa MMA Nº 2/2017, conforme mostra a tabela 1.2:

TABELA 1.2 - ATRIBUTOS DA GEODIVERSIDADE A SEREM CONSIDERADOS NA CLASSIFICAÇÃO DO GRAU DE RELEVÂNCIA SOB ENFOQUE LOCAL.

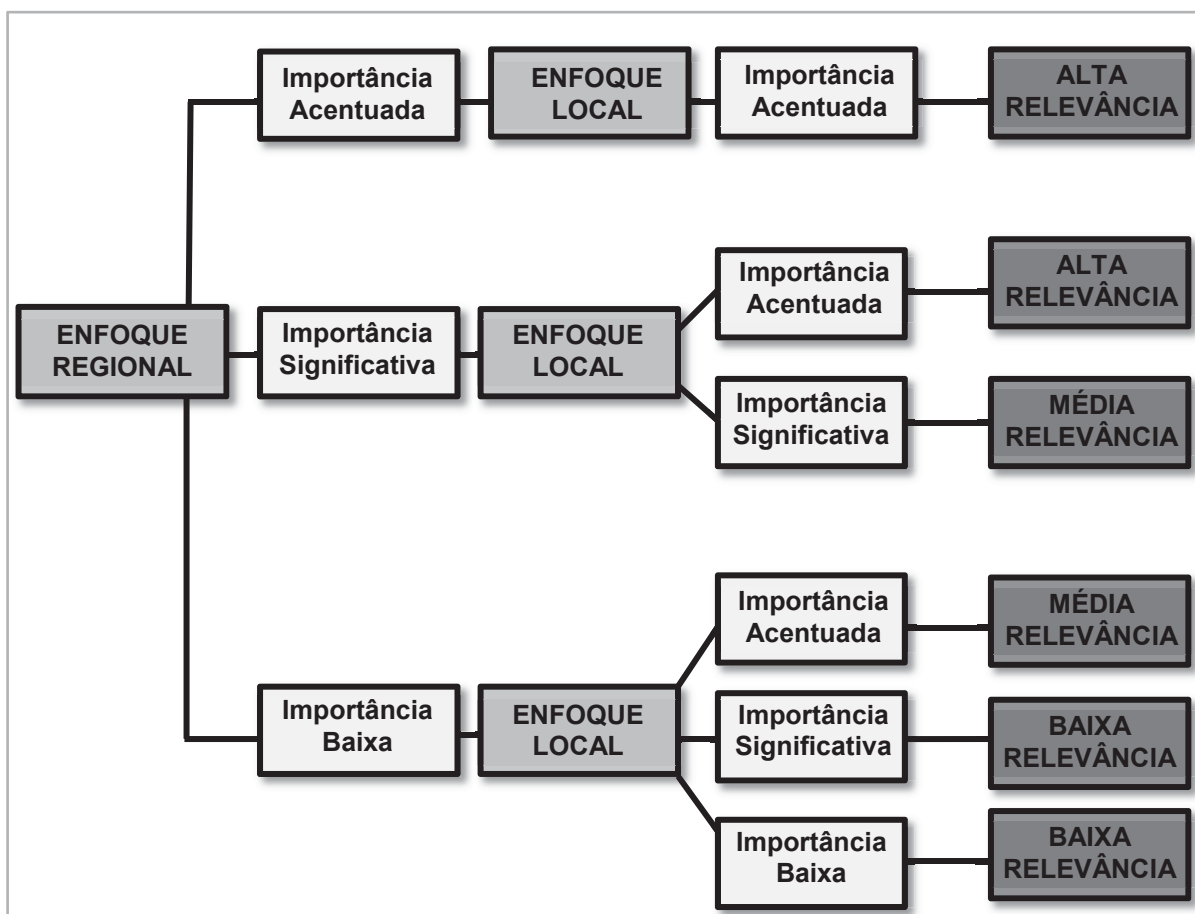
Atributos relacionados à sedimentação química e clástica	Parâmetros para avaliação	Peso	Contribuição (%)	Resultado parcial (peso x contribuição)	Resultado final (Σ dos resultados parciais)	Resultado minimamente significativo para ser considerado na classificação do grau de relevância
Diversidade de depósitos químicos	Muitos tipos de espeleotemas e processos de deposição	3	35	0		90
	Muitos tipos de espeleotemas ou processos de deposição	2				
	Poucos tipos ou processos	1				
	Ausência de tipos e processos	0				
Configuração dos espeleotemas	Notável	3	35	0		90
	Pouco significativo	0				
Sedimentação clástica ou química com valor científico	Presença de valor científico	3	30	0		90
	Presença sem valor científico ou ausência	0				
Atributos relacionados a interesse científico	Parâmetros para avaliação	Peso	Contribuição (%)	Resultado parcial (peso x contribuição)	Resultado final (Σ dos resultados parciais)	Resultado minimamente significativo para ser considerado na classificação do grau de relevância
Presença de registros paleontológicos	Presença	3	30	0		90
	Ausência	0				
Presença de estruturas geológicas de interesse científico	Presença	3	30	0		90
	Ausência	0				

FONTE: Adaptado de MMA (2017).

Por fim, a última análise feita da nova instrução normativa é baseada no Anexo IV, o qual foi mantido o mesmo esquema da normativa revogada e traz exclusivamente a chave de classificação do grau de relevância de cavidades

naturais subterrâneas, que por critérios previamente estabelecidos, não se encaixam no grau de cavidades naturais subterrâneas de máxima relevância (figura 1.2).

FIGURA 1.2 - CHAVE DE CLASSIFICAÇÃO DO GRAU DE RELEVÂNCIA DE CAVIDADES NATURAIS SUBTERRÂNEAS.



FONTE: Adaptado de MMA (2017).

O primeiro aspecto a ser considerado é o enfoque regional, que deve ser analisado, de acordo com a chave de classificação, a partir da importância do atributo, a qual está dividida entre acentuada, significativa e baixa, e após, se faz a análise sob o ponto de vista do enfoque local.

Entretanto, de acordo com a normativa, não há feições geológicas, principal aspecto da geodiversidade subterrânea, para serem avaliadas sob o enfoque regional. Ou seja, se o atributo geológico não for considerado de máxima relevância, o próximo item a ser analisado é o enfoque local, o que eleva a probabilidade de a caverna ser enquadrada como de média ou baixa relevância.

No enfoque local, os aspectos da geodiversidade que são avaliados, possuem parâmetros imprecisos. No caso dos espeleotemas, a variável se divide em: muitos

tipos de espeleotemas e processos de deposição; muitos tipos de espeleotemas ou processos de deposição, poucos tipos ou processos, ausência de tipos e processos. A configuração de espeleotemas (feição geológica comumente encontrada em cavernas) é classificada em notável ou pouco significativo, e por fim, a determinação de presença ou não de valor científico. Ou seja, as subjetividades que eram encontradas na normativa anterior, continuam presentes na atual normativa. Além disso, não são mencionados de forma satisfatória e completa, os aspectos da geodiversidade de cavernas e seus componentes, nem foram apresentados parâmetros e pesos adequados para o cálculo da relevância com base nesses atributos.

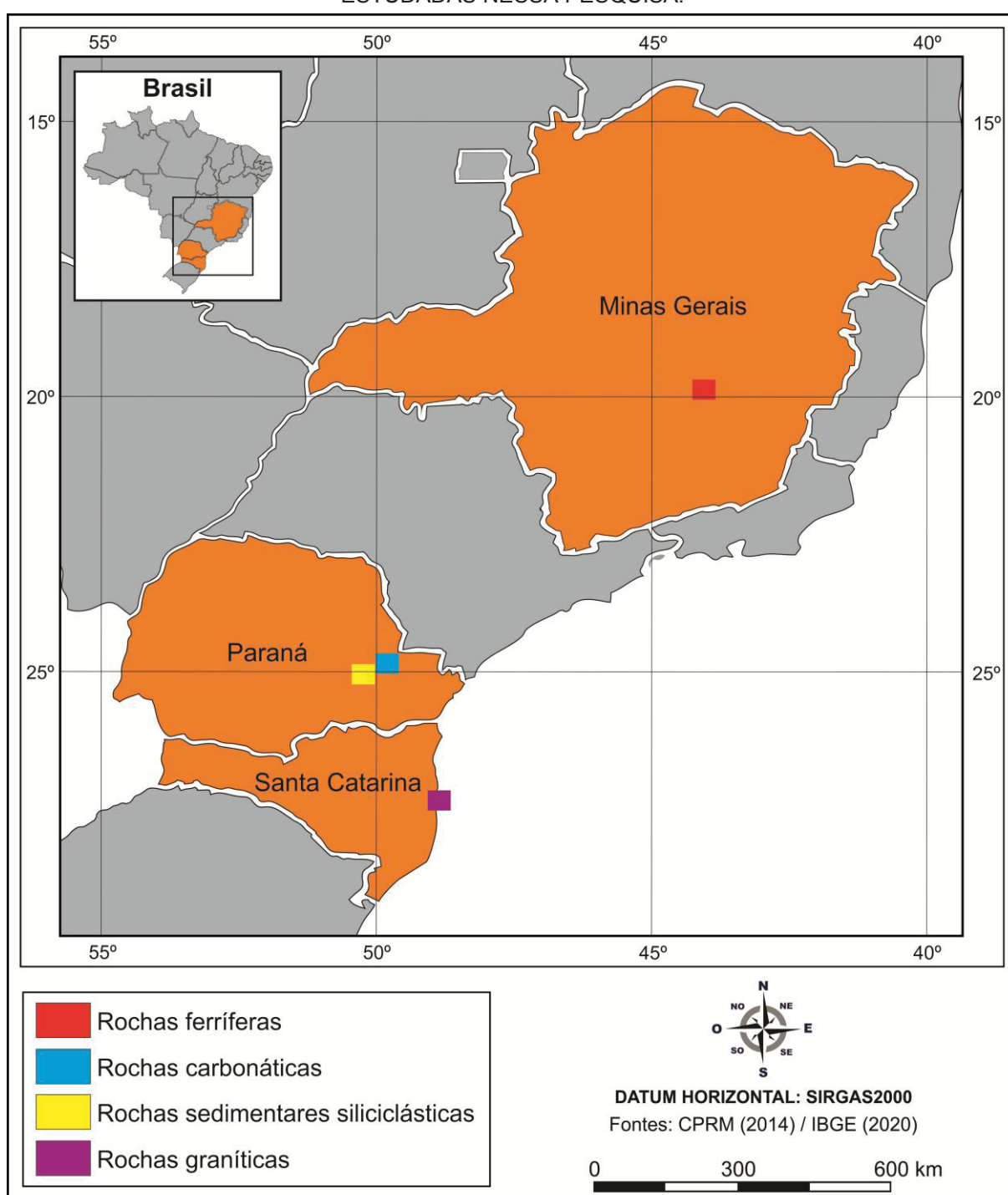
A Instrução Normativa MMA Nº 2/2017 indica vários atributos a serem analisados e levados em conta para a realização de estudos de licenciamento ambiental. Porém, é evidente que, com relação aos aspectos da geodiversidade há falhas e lacunas no texto normativo. Como aborda a questão da supressão de cavidades naturais subterrâneas encaixadas na relevância alta, média e baixa, este dispositivo legal não deve apresentar lacunas e subjetividades que possibilitem impactos negativos irreversíveis nestes locais.

Com isso, a elaboração de um método que inclui o inventário, quantificação e atribuição da relevância, com base na geodiversidade de ambientes subterrâneos em diferentes litotipos, contribui para a revisão e aprimoramento de leis e normas de conservação do patrimônio espeleológico. Desta forma, este conjunto de diretrizes pode ser utilizado para diminuir ou solucionar problemas em relação ao uso de cavernas, sobretudo, mas não restritamente, em estudos de licenciamento ambiental.

1.6 LOCALIZAÇÃO E CONTEXTO GEOLÓGICO DAS CAVIDADES NATURAIS SUBTERRÂNEAS

As atividades de campo foram desenvolvidas em cavernas de quatro áreas com contexto geológico distinto entre si. Essa escolha reflete a geodiversidade dos ambientes subterrâneos, por conter variados tipos de feições espeleogenéticas, constituindo relevante amostragem do contexto espeleológico nacional (figura 1.3).

FIGURA 1.3 - MAPA DE LOCALIZAÇÃO DAS CAVIDADES NATURAIS SUBTERRÂNEAS ESTUDADAS NESTA PESQUISA.



É esta diversidade geológica de cavernas que foi inventariada, quantificada e classificada nesta pesquisa, servindo para estabelecer parâmetros essenciais para o diagnóstico de relevância espeleológica de cada área, levando em consideração as especificidades de cada contexto litológico.

A presente pesquisa levou em consideração as características de diversas cavernas desenvolvidas nos quatro contextos litológicos, para a construção de um material coeso sobre as características geológicas das cavernas. Entretanto, para a aplicação do método proposto pela legislação e, ao final, o protocolo resultado final apresenta no trabalho, foi escolhido oito cavidades-chave.

1.6.1 Cavernas em rochas sedimentares siliciclásticas

Para representar as cavidades subterrâneas em rochas sedimentares siliciclásticas foram escolhidas a Caverna da Chaminé (figura 1.4) e Caverna das Andorinhas (figura 1.5). Localizadas no distrito de Itaiacoca, município de Ponta Grossa, Paraná (figuras 1.6 e 1.7), estas cavidades se desenvolveram em rochas da Formação Furnas, unidade que aflora na borda Leste da Bacia do Paraná, com idade de 395-421 Ma, entre o Siluriano e o Devoniano (BORGHI, 1993; ASSINE, 1999).

Segundo Assine (1996) e Melo e Giannini (2007) esta formação é predominantemente composta por arenitos quartzosos de granulação variada, cimentados principalmente por caulinita e illita, apresentando também camadas síltico-argilosas esparsas de espessura geralmente decimétrica. Os arenitos estão dispostos em estratos de espessura de 0,5 a 5 metros, com formas tabular, lenticular e cuneiforme, exibindo marcante estratificação cruzada planar, tangencial na base ou acanalada (ASSINE, 1996).

FIGURA 1.4 - ENTRADA DA CAVERNA DA CHAMINÉ (PONTA GROSSA/PR) (FOTO: HENRIQUE SIMÃO PONTES).



FIGURA 1.5 - VISTA GERAL DA CAVERNA DAS ANDORINHAS (PONTA GROSSA/PR) (FOTO: HENRIQUE SIMÃO PONTES).



FIGURA 1.6 - LOCALIZAÇÃO E CONTEXTO GEOLÓGICO DA CAVERNA DA CHAMINÉ (PONTA GROSSA/PR).

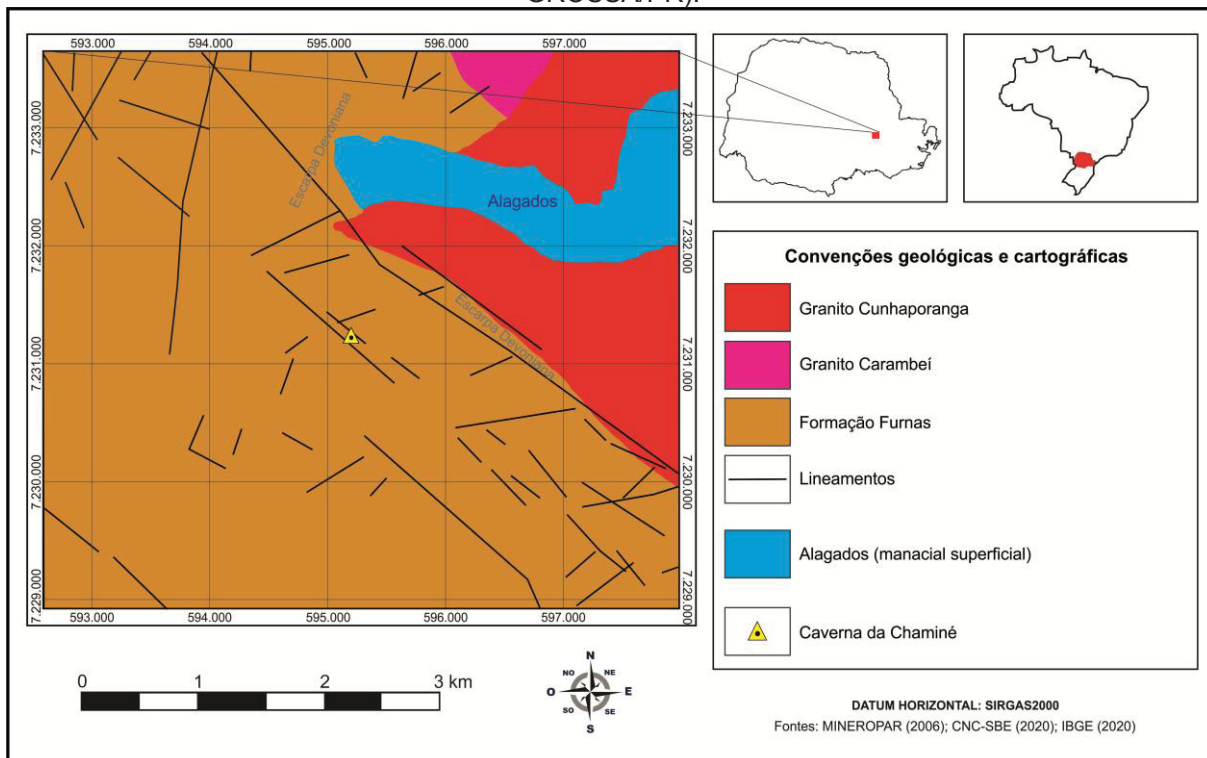
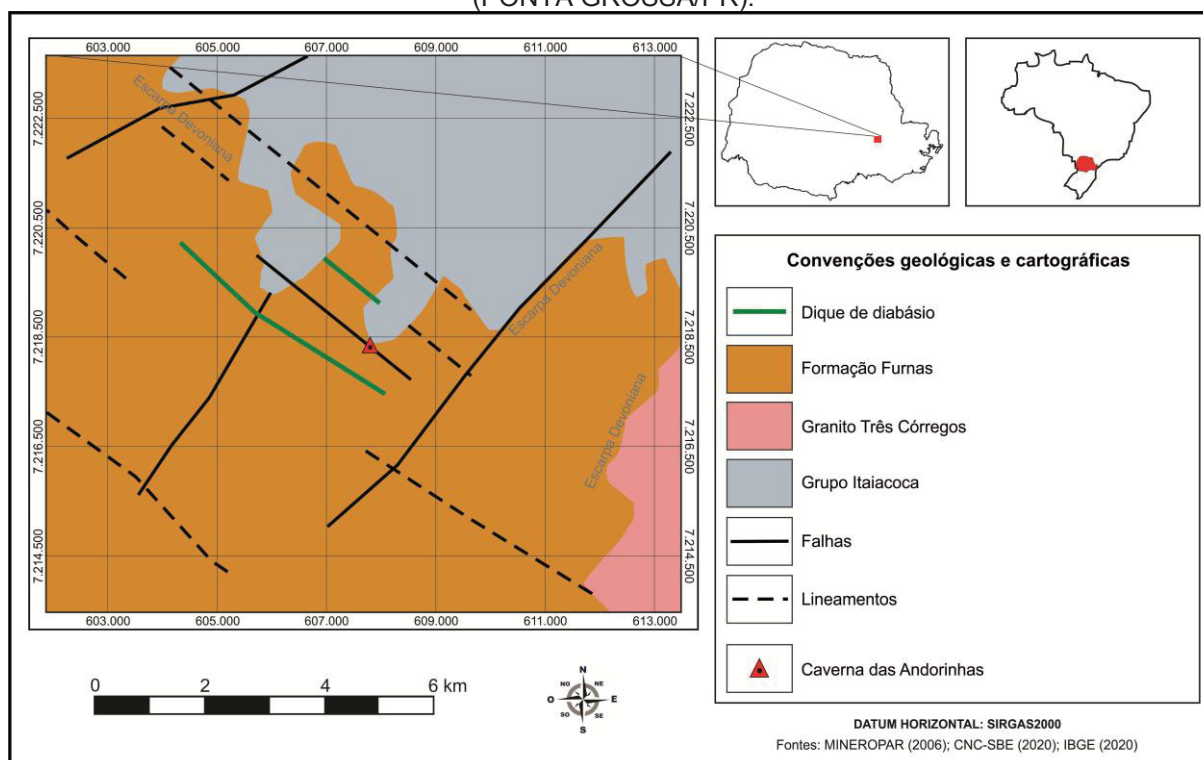


FIGURA 1.7 - LOCALIZAÇÃO E CONTEXTO GEOLÓGICO DA CAVERNA DAS ANDORINHAS (PONTA GROSSA/PR).



O padrão estrutural desta região é marcado por lineamentos NW-SE, relacionados ao Arco de Ponta Grossa, estruturas ativas principalmente durante o Mesozoico, na separação dos continentes Sul-Americano com o Africano (ZALÁN et al., 1990), e falhas transversais de direção NE-SW relacionadas a estruturas mais antigas do embasamento Proterozoico.

A área está localizada no segundo Planalto Paranaense, próxima à Escarpa Devoniana, um escarpado formado pelo recuo erosivo que marca a divisa entre o primeiro com o segundo Planalto Paranaense. O relevo é classificado como um notório exemplo de carste em quartzarenitos, região de *canyons* e lineamentos estruturais, com presença de enxame de diques de diabásio e com notáveis feições cársticas não carbonáticas. A área é considerada uma região cárstica brasileira (PONTES, 2019) abrigando uma das maiores concentração de cavernas do país, associadas a várias situações de cavidades com drenagem subterrânea, furnas (dolinas) e um importante manancial de águas subterrâneas, o Aquífero Furnas (MELO, 2009).

1.6.2 Cavernas em rochas carbonáticas

Em rochas carbonáticas foram selecionadas duas cavidades subterrâneas, localizadas no município de Castro, Paraná: a Gruta Olhos d'Água (figura 1.8) e Gruta de Pinheiro Seco (figura 1.9). Estas cavernas se desenvolvem em rocha carbonática metamórfica pertencente à Formação Bairro dos Campos, do Grupo Itaiacoca (figuras 1.10 e 1.11), com idade de aproximadamente 1030-908 Ma (Mesoproterozoico e início do Neoproterozoico) (SZABÓ et al., 2006). É constituída predominantemente por mármore dolomítico com intercalações de metamargas, como filitos carbonáticos e calcifilitos (CALTABELOTI, 2011). Esta formação é definida por Souza (1990) como uma sequência metadolomítica de plataforma carbonática.

Karmann (1994) e Hiruma et al. (2007) destacam que as unidades geológicas do Grupo Itaiacoca estão dispostas concordantemente com a estrutura geológica pré-cambriana regional, uma faixa de direção geral NE-SW. Denominada por Caltabeloti (2011) de Domínio da Zona de Cisalhamento Itapirapuã, conforme salienta Hasui (2010) esta falha é uma marcante feição do ciclo neoproterozoico Brasileiro (900 - 580 Ma).

FIGURA 1.8 - GRUTA OLHOS D'ÁGUA (CASTRO/PR) (FOTO: TIAGO AUGUSTO BARBOSA).



FIGURA 1.9 - GRUTA DE PINHEIRO SECO (CASTRO/PR) (FOTO: HENRIQUE SIMÃO PONTES).



FIGURA 1.10 - LOCALIZAÇÃO E CONTEXTO GEOLÓGICO DA GRUTA OLHOS D'ÁGUA (CASTRO/PR).

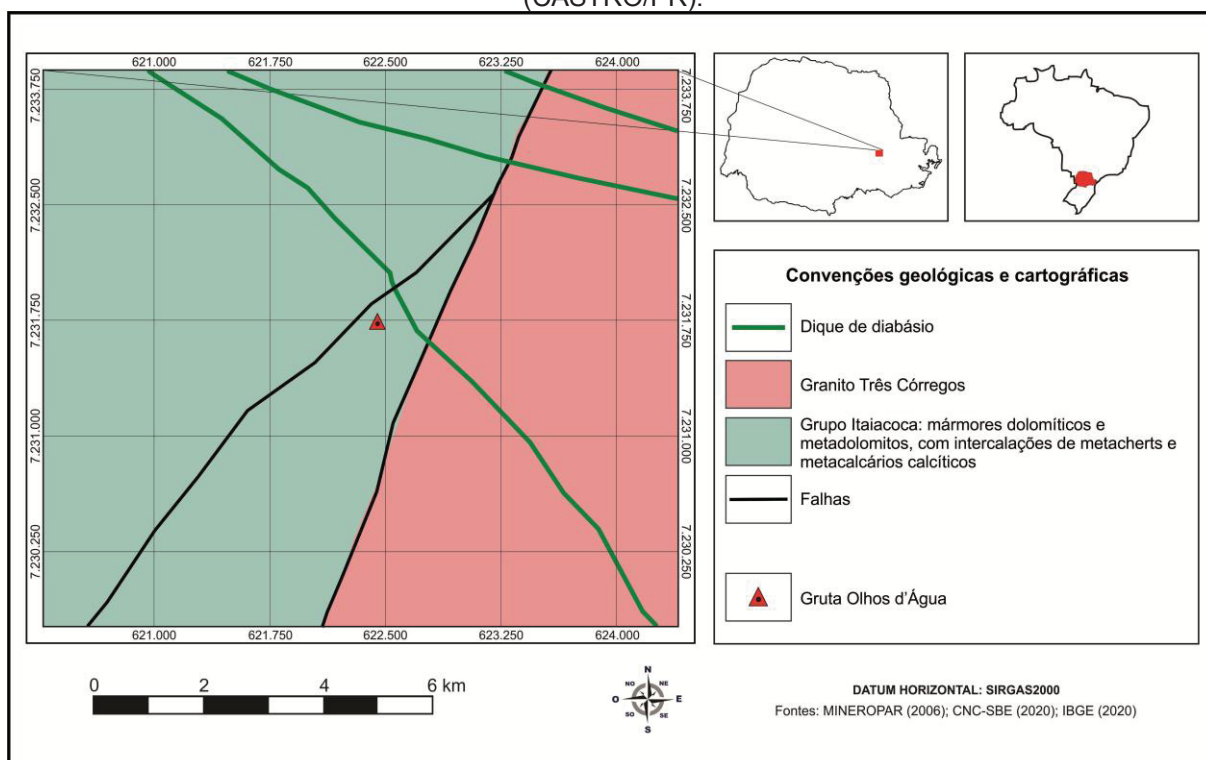
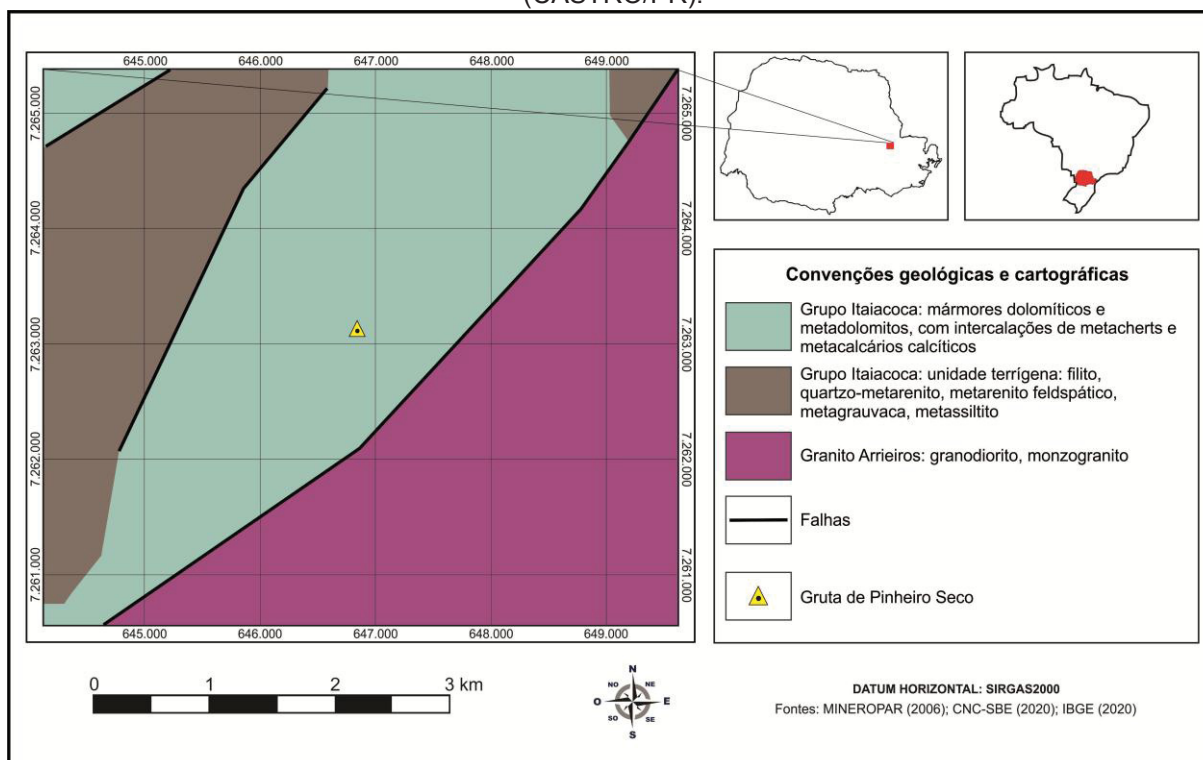


FIGURA 1.11 - LOCALIZAÇÃO E CONTEXTO GEOLÓGICO DA GRUTA DE PINHEIRO SECO (CASTRO/PR).



A área pertence à bacia hidrográfica do rio Ribeira do Iguape, no terço mais a montante. Este sistema hidrológico está praticamente todo encaixado na faixa de direção NE-SW anteriormente mencionada, se estendendo desde o sopé da Escarpa Devoniana, no Paraná, até sua foz em Iguapé, São Paulo. A geomorfologia local é dominada por relevo cárstico tradicional, com presença de feições e formas típicas de áreas cársticas, com drenagens subterrâneas, *canyons*, dolinas e campos de lapiás.

1.6.3 Cavernas em rochas ferríferas

Como representantes das cavernas em rochas ferríferas foram selecionadas a Gruta da Piedade (figura 1.12) e a Gruta do Triângulo (figura 1.13), situadas no município de Caeté, Minas Gerais, na região da Serra da Piedade (figura 1.14). Segundo Calux (2013) estas cavernas estão situadas no contato entre canga detrítica sustentada por clastos e itabiritos. A canga é composta por clastos de hematita angulosos a subangulosos, de granulação variada e heterogênea e presença moderada de matriz limonítica. Já o itabirito encontra-se bastante alterado, é localmente dobrado, composto por bandas intercaladas de hematita e vazios

reliquiais de sílica. Estas rochas pertencem a Formação Cauê, Grupo Itabira, com idade do Paleoproterozoico, de aproximadamente 2300 Ma (CPRM, 2014).

A Formação Cauê é constituída por itabiritos e minerais hematífticos, itabirito hematítico e magnetítico indiferenciados e itabiritos argilosos (RUCHKYS et al., 2015). Sobreira (2001) coloca que esta unidade geológica é constituída por formações ferríferas bandadas compostas principalmente por hematita e quartzo. Estes litotipos apresentam cores cinza prateado e marrom a ocre (itabirito anfíbolítico).

A Serra da Piedade integra uma sinclinal homônima, caracterizada como uma sinclinal invertida, com presença de falha de empurrão atribuída ao Ciclo Brasileiro, com notável controle estrutural na direção WSW-ENE (ALVES, 1961).

Conforme destaca Calux (2013) a área faz parte da Província Mineral do Quadrilátero Ferrífero, situa-se junto à borda sul do Cráton São Francisco, região que apresenta uma das maiores concentrações de cavernas desenvolvidas em rochas ferríferas do mundo. Apenas na Serra da Piedade são 125 cavidades naturais subterrâneas cadastradas (CANIE, 2019).

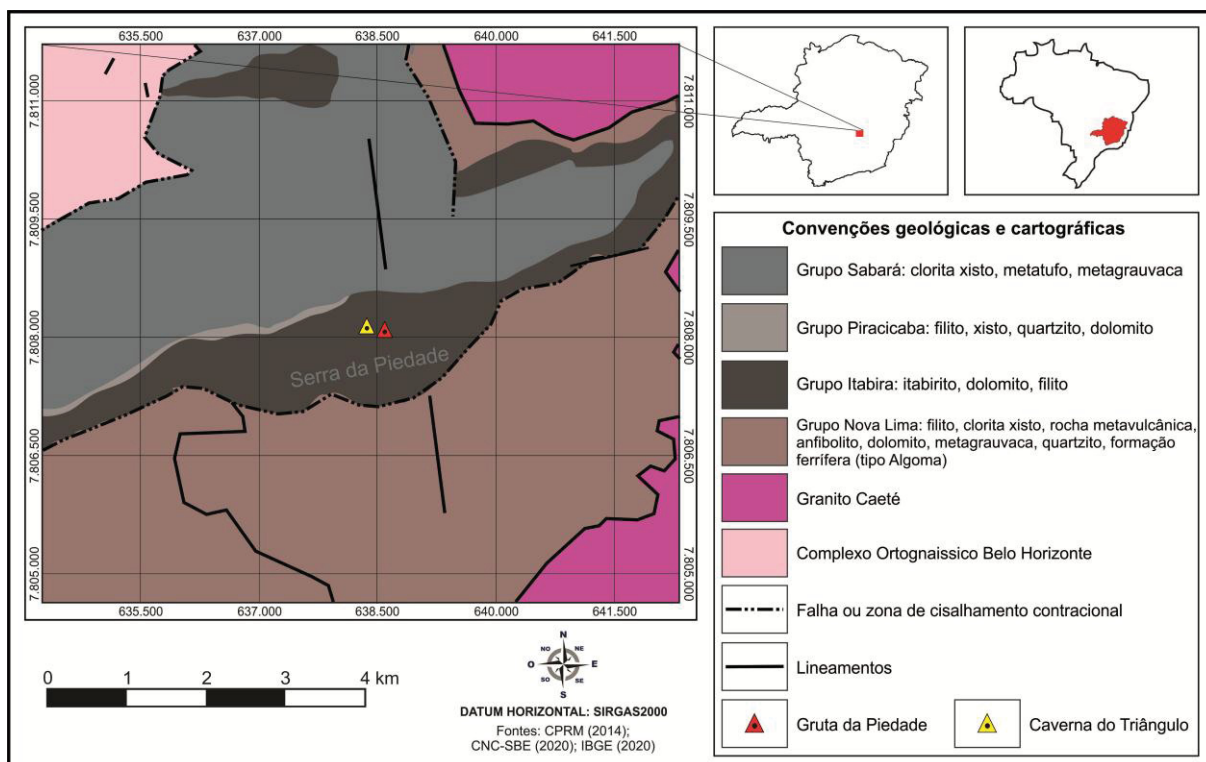
FIGURA 1.12 - GRUTA DA PIEDADE (CAETÉ/MG) (FOTO: HENRIQUE SIMÃO PONTES).



FIGURA 1.13 - CAVERNA DO TRIÂNGULO (CAETÉ/MG) (FOTO: HENRIQUE SIMÃO PONTES).



FIGURA 1.14 - LOCALIZAÇÃO E CONTEXTO GEOLÓGICO DA GRUTA DA PIEDADE E CAVERNA DO TRIÂNGULO (CAETÉ/MG).



1.6.4 Cavernas em rochas graníticas

Para representar as rochas graníticas foram escolhidos o Sistema de Cavernas da Água Corrente (figura 1.15) e a Gruta do Saco Grande (figura 1.16). Situadas na porção norte da ilha de Florianópolis, Santa Catarina, estas cavidades são desenvolvidas no Granito Ilha, Suíte Pedras Grandes com idade de aproximadamente 524 ± 68 Ma (Neoproterozoico) (CPRM, 2014) (figura 1.17). A rocha tem cor rosada ou cinza-clara, textura equigranular grossa ou média, raramente pórfira, e é constituída por quartzo, feldspato potássico, biotita, anfibólio, como minerais essenciais.

Tomazzoli e Pellerin (2015) relatam que o Granito Ilha não exhibe enclaves e, em determinados locais, apresenta feições cataclásticas. Apesar da afirmação dos autores citados, é notável a presença de enclaves no granito, conforme observado no interior das cavidades estudadas, com tamanhos que variam de alguns poucos a dezenas de centímetros.

A área situa-se na costa noroeste da ilha de Florianópolis e faz parte do compartimento geomorfológico da planície litorânea, com morros e serras que atingem localmente mais de 300 metros de altitude, relacionando-se com as serras do Leste Catarinense (Serra do Mar). Atualmente, a ilha de Florianópolis é a área com maior concentração de cavernas graníticas do Brasil (CECAV, 2019).

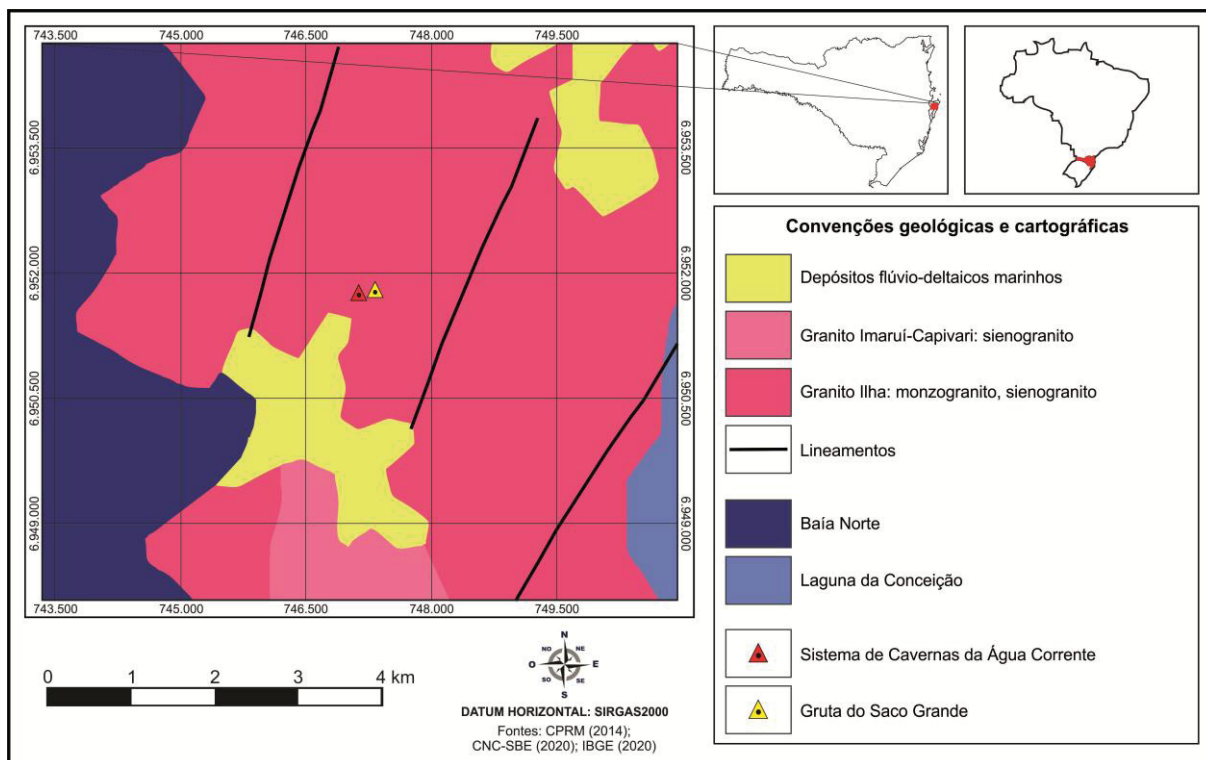
FIGURA 1.15 - SISTEMA DE CAVERNAS DA ÁGUA CORRENTE (FLORIANÓPOLIS/SC) (FOTO: HENRIQUE SIMÃO PONTES).



FIGURA 1.16 - GRUTA DO SACO GRANDE (FLORIANÓPOLIS/SC) (FOTO: HENRIQUE SIMÃO PONTES).



FIGURA 1.17 - LOCALIZAÇÃO E CONTEXTO GEOLÓGICO DO SISTEMA DE CAVERNAS DA ÁGUA CORRENTE E DA GRUTA DO SACO GRANDE (FLORIANÓPOLIS/SC).



1.7 MÉTODOS DE PESQUISA

A geodiversidade é um entre os vários aspectos que devem ser avaliados para a determinação da relevância espeleológica de cavidades naturais subterrâneas. Contudo, esta pesquisa visou classificar a geodiversidade de cavernas para avaliar o grau de relevância espeleológica, com base nos princípios da geoconservação. A presente pesquisa foi realizada em cinco etapas, para atingir os objetivos específicos propostos.

1.7.1. *Etapa 1*

A pesquisa teve início com levantamento bibliográfico, principalmente voltado para os temas patrimônio espeleológico brasileiro, legislação, geodiversidade, geoconservação e inventário do patrimônio geológico.

As atividades de campo foram realizadas em oito cavernas desenvolvidas nos quatro principais litotipos para a ocorrência de cavernas no Brasil. Contudo, outras cavidades foram pesquisadas com a finalidade de comparar os aspectos físicos de cada ambiente, para a aplicação dos métodos de relevância espeleológica e para o inventário das feições.

A escolha destas cavernas é principalmente devido aos aspectos da geodiversidade subterrânea destes ambientes, por conter variados tipos de feições espeleogenéticas e espeleotemas. Outro motivo para esta seleção é que se tratam de locais de destaque nos contextos litológicos nos quais estão inseridos, representando relevante amostragem do contexto espeleológico nacional, uma vez que 98,9% das cavidades subterrâneas se formam em rochas carbonáticas, ferríferas, siliciclásticas ou granítica.

É esta diversidade geológica de cavernas inventariada, quantificada e classificada, serviu de teste para a proposição de parâmetros essenciais para determinar a relevância espeleológica de cada área, levando em consideração as especificidades de cada contexto geológico.

1.7.2 Etapa 2

Para aplicação do método de identificação da relevância espeleológica conforme a Instrução Normativa MMA nº 2/2017, com foco restrito sobre os aspectos da geodiversidade, primeiramente foram analisados os anexos I, II, III e IV da normativa, a fim de identificar as alíneas que abordam especificamente os elementos geológicos. Nesta etapa foi elaborado um protocolo específico para caracterização e avaliação das feições geológicas e classificação da relevância espeleológica nas cavidades foco deste estudo, baseando-se unicamente nos dados e nas diretrizes presentes nesse dispositivo legal. Em seguida, foram realizados levantamentos de campo para caracterização física e avaliação deste modelo frente à diversidade geológica nos ambientes subterrâneos dos quatro contextos litológicos.

1.7.3 Etapa 3

Esta etapa compreendeu duas atividades: 1) inventário das feições geológicas das cavernas nos quatro contextos litológicos destacados, e 2) a valoração e classificação da geodiversidade subterrânea.

A caracterização das feições geológicas dos ambientes subterrâneos também demandou um momento inicial de atividades de escritório, para levantamento de informações sobre cada caso estudado, envolvendo contexto geológico, modelos genéticos e tipos de feições associadas, a fim de identificar as diferenças e semelhanças entre cada ambiente e gerar material de apoio para coleta de dados em campo. Esta fase serviu para definir quais feições geológicas de cada caverna necessitam ser identificadas, quantificadas e classificadas (determinação da relevância espeleológica de acordo com a legislação).

Para a fase de inventário foi elaborada uma ficha para caracterização específica, abrangendo as feições de cada contexto geoespeleológico (ANEXO 2). Esta lista apresenta vinte e três feições, das quais apenas nove estão entre os atributos considerados na Instrução Normativa MMA nº 2/2017. Esse inventário foi submetido para a avaliação e contribuição de sessenta pesquisadores, vinte e sete grupos de espeleologia e vinte e duas empresas que oferecem serviços de licenciamento espeleológico de todo Brasil (ANEXO 3). O objetivo com esta consulta

foi envolver a comunidade científica especializada em geodiversidade de ambientes subterrâneos e verificar se todas as feições foram incluídas, a fim de padronizar nomenclatura, incluir novos termos, discutir aspectos genéticos, de forma, dimensões, litotipo de ocorrência etc.

Com os resultados obtidos nesta etapa foi possível elaborar análises quantitativas sobre cada feição geológica subterrânea. Assim, os registros de cada uma das feições em cada litotipo indicado (com base na experiência profissional dos pesquisadores) foram comparados, permitindo estabelecer situações de frequência de ocorrência (raridade ou regularidade). Com isso foi possível ter um panorama geral sobre as feições geológicas subterrâneas em diferentes litotipos no Brasil, bem como obter informações sólidas para a elaboração de protocolos que visem à identificação da relevância espeleológica com base em atributos relacionados à geodiversidade.

1.7.4 Etapa 4

O inventário das feições geológicas das cavidades foco da presente pesquisa serviu de base para a quantificação e classificação da geodiversidade. Esta etapa utilizou planilhas e valores numéricos para a quantificação e, conseqüentemente, a classificação e hierarquização da relevância espeleológica com base nos aspectos da geodiversidade subterrânea. O protocolo de avaliação da relevância espeleológica é constituído pela seguinte nomenclatura: aspectos; componentes; atributos; parâmetros; pesos e contribuição.

Para a quantificação e classificação das feições geológicas, para a identificação da relevância espeleológica, nove parâmetros foram analisados, sendo: a) valor científico, b) raridade, c) feição modelo, d) associação com outros elementos, e) quantidade, f) tamanho, g) composição h) excentricidade e i) espacialização.

Além da análise do aspecto feições geológicas, foi feita a quantificação e classificação de cada cavidade natural subterrânea a partir de sua forma e dimensões. A forma indica os processos de formação e a dinâmica evolutiva, por isso este aspecto deve ser avaliado para a identificação da relevância espeleológica com base na geodiversidade. A dimensão do ambiente subterrâneo também deve constar nesta análise, entretanto, esta variável não deve ser uma condicionante para

a relevância científica da cavidade, uma vez que tamanho não condiciona exclusivamente a importância do ambiente, pois cavidades pequenas podem apresentar feições geológicas únicas. Da mesma forma, os elementos hidrológicos também foram classificados como um aspecto da geodiversidade e foram considerados para a classificação da relevância espeleológica.

Para a quantificação e classificação da forma (padrão de desenvolvimento da caverna) foram adotados seis parâmetros, sendo eles: a) valor científico, b) raridade, c) feição modelo, d) associação com outros elementos, e) composição e f) excentricidade. Para a análise da dimensão, os parâmetros adotados foram a) composição, b) tamanho e c) raridade. Para a quantificação dos elementos hidrológicos, que incluem cursos hídricos, lagos e/ou represas naturais, processos de infiltração, gotejamento, cachoeiras e quedas d'água (perenes, intermitentes ou efêmeros), os atributos analisados foram: a) tamanho, b) quantidade e c) espacialização.

Para quantificar e classificar os elementos da geodiversidade, a pesquisa partiu da análise crítica e possíveis adequações, de trabalhos já realizados sobre o tema (e.g. CORTÉS, et al., 2000; GONGGRIJP, 2000; BRILHA, 2005; GRAY, 2005; GARCÍA-CORTÉS e FERNÁNDEZ-GIANOTTI, 2005; DE WEVER et al., 2006; PEREIRA, 2006; WHITE e MITCHEL, 2006; HARLEY et al., 2011; GARCÍA-CORTÉS et al., 2012; OLIVEIRA-GALVÃO e COSTA-NETO, 2013; LOBO e BOGGIANI, 2013; GARCÍA-CORTÉS et al., 2014; HJORT et al., 2015; BRILHA, 2016; GUPE, 2017; PONTES et al., 2018).

Verificou-se, no entanto, que há poucas propostas mais específicas envolvendo quantificação e classificação de cavidades naturais subterrâneas. Ressalta-se que tais estudos geralmente seguem apenas o roteiro previsto em lei, mas não aplicam os princípios da geoconservação para os elementos abióticos.

1.7.5 Etapa 5

Após o inventário, quantificação e classificação dos elementos da geodiversidade das cavidades naturais subterrâneas, e aplicação e avaliação do método de identificação da relevância espeleológica, conforme a Instrução Normativa MMA nº 2/2017, foi elaborado um protocolo de diretrizes de quantificação

para a relevância espeleológica com base nos princípios da geoconservação. Este material é a síntese das análises realizadas durante esta pesquisa.

Conforme exposto no Art. 22 da Instrução Normativa MMA nº 2/2017, esta deve ser revista em um prazo máximo de cinco anos (até 2022), contados da data de sua publicação, ouvidos o ICMBio, o IBAMA e demais setores, inclusive governamentais, afetos ao tema. Assim, a presente pesquisa produziu um material que poderá contribuir nas discussões sobre a legislação espeleológica e colaborar com a sua revisão.

1.7.6 Materiais e equipamentos utilizados na pesquisa

Os materiais e equipamentos utilizados para o desenvolvimento desta pesquisa foram: caderneta e ficha de campo, receptor GPS *Garmin map64*, máquina fotográfica *Canon EOS Rebel t3i*, bússola geológica *Brunton Com-Pro Transit*, bússola de visada *Brunton* com clinômetro *SUM360LA*, trena a laser *Leica DISTO™ D810 touch*, *smartphone Samsung On7* com aplicativo para mapeamento de cavernas *TopoDroid 4.1.1a* e *drone DJI Phantom 3 Professional* (para obtenção de imagens aéreas atualizadas das áreas de ocorrência das cavidades naturais subterrâneas).

Os mapas temáticos, como geológicos e de localização foram gerados utilizando ambiente SIG – Sistemas de Informação Geográfica através do programa Quantum GIS 2.14.3 (disponível para *download* na *internet*). Os mapas temáticos foram elaborados a partir de dados vetoriais disponíveis gratuitamente pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Serviços Geológicos do Paraná (MINEROPAR), Instituto de Terras, Cartografia e Geologia (ITCG) e Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM).

1.8 FORMA DE APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS E DISCUSSÕES DA TESE

Esta tese é apresentada na seguinte estrutura textual: introdução, resultados e discussões, formados por artigos e conclusão. Os artigos seguem as Normas complementares 01/14 do Programa de pós-graduação em Geologia da Universidade Federal do Paraná. As referências são apresentadas ao final da introdução e de cada artigo, objetivando facilitar a identificação dos trabalhos científicos utilizados em cada item deste documento. Ao final desta tese se apresenta a lista final de referências, incluindo todos os trabalhos utilizados na pesquisa. Os resultados e discussões foram separados em três momentos, conforme expostos a seguir.

A primeira parte é constituída pelo artigo *Diagnóstico das feições geológicas de cavidades naturais subterrâneas em diferentes contextos litológicos no Brasil*, o qual apresenta um inventário de geoformas passíveis de serem encontradas em cavernas brasileiras. Esta etapa da pesquisa permitiu identificar 23 feições geológicas de cavernas e os resultados deste artigo serviram de base e direcionaram as análises realizadas nas etapas subsequentes.

O segundo artigo, intitulado *Relevância de cavidades naturais subterrâneas desenvolvidas em diferentes litotipos: aplicação do Decreto 6.640/2008 e IN MMA nº2/2017 com base nas feições geológicas*, teve como objetivo avaliar o método de identificação da relevância espeleológica com foco exclusivo nas geoformas. Tal avaliação permitiu definir se os critérios adotados na referida instrução normativa são eficientes quando levados em consideração apenas estas feições da geodiversidade presentes em cavernas desenvolvidas em diferentes contextos geológicos.

A terceira parte desta tese é composta pelo capítulo *A speleological relevance assessment protocol based on the geodiversity of natural underground cavities in different lithotypes in Brazil*, o qual apresenta os resultados finais. É apresentada a contribuição dessa pesquisa para a ciência espeleológica, com proposta de quantificação dos aspectos da geodiversidade subterrânea (feições geológicas, forma e dimensão de cavernas e elementos hidrológicos) visando à relevância espeleológica em estudos para licenciamentos ambientais. Por fim, conclui-se esse documento com as considerações finais da tese e seus anexos.

REFERÊNCIAS

ALVES, B. P. 1961. **Sumário sobre estratigrafia e estrutura das quadrículas de Caeté e Serra da Piedade.** Publicação da Sociedade de Intercâmbio Cultural e Estudos Geológicos, 1. Ouro Preto: SICEG. p.257-260

ASSINE, M. L. 1996. **Aspectos da estratigrafia das seqüências pré-carboníferas da Bacia do Paraná no Brasil.** Tese de doutorado. Programa de Pós- Graduação em Geologia Sedimentar, São Paulo. 207p.

ASSINE, M. L. 1999. **Fácies, icnofósseis, paleocorrentes e sistemas deposicionais da Formação Furnas, no flanco sudeste da bacia do Paraná.** Rev. Bras. Geociências, São Paulo, v. 29. p.357-370.

BERBERT-BORN, M. 2010. **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.

BITTENCOURT, L. A. F.; DE PAULA, A. 2012. **Análise cienciométrica de produção científica em unidades de conservação federais do Brasil.** Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.8, n.14; p.2044-2054.

BORGHI, L. 1993. **Caracterização e análise faciológicas da Formação Furnas (Prídoli Devoniano inferior) em afloramentos do bordo leste da bacia sedimentar do Paraná, Estado do Paraná, Brasil.** Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 227p.

BRASIL. 1961. **Lei nº 3.924, de 26 de julho de 1961.** Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/1950-1969/L3924.htm>. Acesso em: 22 de abril de 2020.

BRASIL. 1988. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988.** Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/ConstituicaoCompilado.htm>. Acesso em: 22 de abril de 2020.

BRASIL. 1990. **Decreto Federal Nº 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: 22 de abril de 2020.

BRASIL. 2000. **Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000**. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9985.htm>. Acesso em: 22 de abril de 2020.

BRASIL. 2008. **Decreto nº 6640 de 7 de novembro de 2008**. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ Ato2007-2010/2008/Decreto/D6640.htm>. Acesso em: 22 de abril de 2020.

BRILHA, J. 2005. **Patrimônio Geológico e Geoconservação: a conservação da natureza na sua vertente geológica**. Lisboa: Palimage. 183p.

BRILHA, J. 2016. **Inventory and Quantitative Assessment of Geosites and Geodiversity Sites: a Review**. *Geoheritage*, 8(2). p.119-134.

CALTABELOTI, F.P. 2011. **Alojamento e deformação de plútons graníticos da extremidade nordeste da suíte intrusiva Cunhaporanga (Domínio Apiaí – Faixa Ribeira, PR)**. Dissertação (mestrado). Programa de Pós-Graduação em Geoquímica de Geotectônica. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. São Paulo. 98p.

CALUX, A.S. 2013. **Gênese e desenvolvimento de cavidades naturais subterrâneas em formação ferrífera no quadrilátero ferrífero, Minas Gerais**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Minas Gerais. 218p.

CECAV – Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas. 2019. **Cavidades Naturais Subterrâneas**. Disponível em: <<http://www.icmbio.gov.br/cecav/cavidades-naturais-subterraneas.html>>. Acesso em: 22 de abril de 2020.

CANIE - Cadastro Nacional de Informações Espeleológicas. 2020. **Relatório Estatístico do CANIE**. Disponível em: <http://www.icmbio.gov.br/cecav/index.php?option=com_icmbio_canie&controller=relatorioestatistico&itemPesq=true>. Acesso em: 26 de novembro de 2020.

CARCAVILLA URQUI, L.; LÓPEZ-MARTINEZ, J.; DURÁN VALSERO, J.J. 2007. **Patrimonio geológico y geodiversidad: investigación, conservación, gestión y relación com los espacios naturales protegidos**. Instituto Geológico e Minero de España, Madrid, 360p.

CAVALCANTI, L. F.; COSTA NETO, J. F. 2015. **O planejamento sistemático da conservação na identificação de áreas prioritárias para a conservação do patrimônio espeleológico brasileiro.** In: RASTEIRO, M.A.; SALLUN FILHO, W. (orgs.) 33º Congresso Brasileiro de Espeleologia. Eldorado. Anais... Campinas: SBE, 2015. p.569-579. Disponível em: <http://www.cavernas.org.br/anais33cbe/33cbe_569-579.pdf>. Acesso em: 22 de abril de 2020.

CNC - Cadastro Nacional de Cavernas. **Sociedade Brasileira de Espeleologia – SBE.** Disponível em: <<http://www.cavernas.org.br/cnc/>>. Acesso em: 18 de agosto de 2020.

CONAMA - Conselho Nacional de Meio Ambiente. 2010. **Resolução CONAMA nº 428, de em 17 de setembro de 2010.** Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=641>>. Acesso em: 22 de abril de 2020.

CONAMA - Conselho Nacional de Meio Ambiente. 1986. **Resolução CONAMA Nº 009, de 24 de Janeiro de 1986.** Disponível em: <www.icmbio.gov.br/cecav/images/download/Resolu%C3%A7%C3%A3o%20conama%20009.doc>. Acesso em: 22 de abril de 2020.

CONAMA - Conselho Nacional de Meio Ambiente. 2004. **Resolução CONAMA Nº 347, de 10 de setembro de 2004.** Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=452>>. Acesso em: 22 de abril de 2020.

CORTÉS, A. G.; FRAILE, D. B.; VALCARCE, E. G. 2000. **Inventario y catalogación del patrimonio geológico español. Revisión histórica y propuestas de futuro.** In: BARETTINO, D.; WIMBLEDON, W. A. P.; GALLEGU, Y E. (EDS.) Patrimonio Geológico: Conservación y Gestión. Madrid, Spain: ITGE. p.51-71.

CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. 2014. Download de mapas em PDF. **Mapa geológico do estado de Minas Gerais - 1:1.000.000.** Disponível em: <geobank.cprm.gov.br>.

CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. 2014. Download de mapas em PDF. **Mapa geológico do estado de Santa Catarina - 1:500.000.** Disponível em: <geobank.cprm.gov.br>.

DE WEVER, P.; LE NECHET, Y.; CORNEE, A. 2006. **Vade-mecum pour l'inventaire du patrimoine géologique national**. Mém. H. S. Soc. Géol. Fr., 12, 162p.

FIGUEIREDO L.A.V., RASTEIRO, M.A., RODRIGUES, P.C. 2010. **Legislação para a proteção do patrimônio espeleológico brasileiro: mudanças, conflitos e o papel da sociedade civil**. Espeleo-Tema: Campinas, SBE, v. 21, n. 1. p.49-65.

GANEM, R. S. 2009. **As cavidades naturais subterrâneas e o decreto nº 6.640/2008**. Consultoria Legislativa. Câmara dos Deputados. Brasília/DF. 33p.

GARCÍA-CORTÉS, A.; FERNÁNDEZ-GIANOTTI, J. 2005. **Estrategia del Instituto Geológico y Minero de España para el estudio y protección del Patrimonio Geológico y la Geodiversidad**. In: LAMOLDA, M. A. (Ed). Geociencias, Recursos y Patrimonios Geológicos, Madrid, Spain: Instituto Geológico y Minero de España. p.59-72.

GARCÍA-CORTÉS, A.; CARCAVILLA, L.; DÍAZ-MARTÍNEZ, E.; VEGAS, J. 2012. **Inventario de lugares de interés geológico de la Cordillera Ibérica**. Informe final. Instituto Geológico y Minero de España. Disponível em: <<http://www.igme.es/patrimonio/>>. Acesso em: 22 de abril de 2020.

GARCÍA-CORTÉS, A.; CARCAVILLA, L.; DÍAZ-MARTÍNEZ, E.; VEGAS, J. 2014. **Documento metodológico para la elaboración del inventario español de lugares de interés geológico (IELIG)**. Instituto Geológico y Minero de España. Disponível em: <<http://www.igme.es/patrimonio/>>. Acesso em: 22 de abril de 2020.

GONGGRIJP, G.P. 2000. **Planificación y Gestión para la Geoconservación**. In: BARETTINO, D.; WIMBLEDON, W. A. P.; GALLEGOS, Y. E. (Eds.) Patrimonio Geológico: Conservación y Gestión. Madrid, Spain: ITGE. p.31-49.

GRAY, M. 2004. **Geodiversity: valuing and conserving abiotic nature**. John Wiley and Sons, Chichester, England., 434p.

GRAY, M. 2005. **Geodiversity and Geoconservation: What, Why, and How?** The George Wright Forum, v. 22, n. 3. p.4-12.

GUPE - GRUPO UNIVERSITÁRIO DE PESQUISAS ESPELEOLÓGICAS. 2017. **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). 22p.: il. + anexos.

HASUI, Y. 2010. **A grande colisão Pré-Cambriana do sudeste brasileiro e a estruturação regional**. São Paulo, UNESP, Geociências, v. 29, n. 2, p.141-169.

HARLEY, G. L.; POLK, J. S.; NORTH, L. A.; REEDER, P.P. 2011. **Application of a cave inventory system to stimulate development of management strategies: The case of west-central Florida, USA**. Journal of Environmental Management. v.92, n.10. p.2547-2557.

HIRUMA, S.T.; FERRARI, J.A.; AMARAL, R.; HONÓRIO, R.F. 2007. **Mapeamento e caracterização de feições cársticas de superfície na Faixa Itaiacoca nas regiões de Nova Campina e Bom Sucesso de Itararé, SP/PR**. Revista do Instituto Geológico, São Paulo, 27-28 (1/2), p.1-12.

HJORT, J.; GORDON, J. E.; GRAY, M.; HUNTER JR., M. L. 2015. **Why geodiversity matters in valuing nature's stage**. Society for Conservation Biology. Conservation Biology, v.29, n.3. p.630-639.

IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. 1997. **Portaria nº 57, de 5 de junho de 1997**. Disponível em: <<https://www.ibama.gov.br/sophia/cnia/legislacao/IBAMA/PT0057-050697.PDF>>. Acesso em: 22 de abril de 2020.

ICMBIO – Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. 1990. **Portaria Nº 887, de 15 de junho de 1990**. Disponível em: <www.icmbio.gov.br/cecav/images/download/Portaria%20887.doc>. Acesso em: 22 de abril de 2020.

ICMBIO – Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. 2009. **Portaria ICMBio nº 78, de 03 de setembro de 2009**. Disponível em: <http://www.icmbio.gov.br/cecav/images/download/Portaria%20N%C2%BA78_03090_9_cria%20CECAV.pdf>. Acesso em: 22 de abril de 2020.

ICMBIO – Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. 2012. **Instrução Normativa ICMBio nº 25, de 12 de abril de 2012**. Disponível em: <http://cavernas.org.br/leis/IN_PLANO_DE_ACAO_25-2012.pdf>. Acesso em: 22 de abril de 2020.

KARMANN, I. 1994. **Evolução e dinâmica atual do sistema cárstico do alto vale do rio Ribeira de Iguape, sudeste do Estado de São Paulo**. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 228p.

LIMA, F. F.; BRILHA, J. B.; SALAMUNI, E. 2010. **Inventorying geological heritage in large territories: a methodological proposal applied to Brazil**. Geoheritage. p.91-99. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s12371-010-0014-9>>. Acesso em: 22 de abril de 2020.

LOBO, H.A.S.; BOGGIANI, P.C. 2013. **Cavernas como patrimônio geológico**. Boletim Paranaense de Geociências. v. 70. p.190-199.

MARRA, R. J. C. 2008. **Critérios de relevância para classificação de cavernas no Brasil**. Tese de Doutorado. Centro de Desenvolvimento Sustentável, Universidade de Brasília, Brasília. 380p.

MELO, M. S.; GIANNINI, P. C. F. 2007. **Sandstone dissolution landforms in the Furnas Formation, Southern Brazil**. Earth Surface Processes and Landforms, v. 32. p.2149- 2164.

MELO, M. S. 2009. **Aquífero Furnas: urgência na proteção de mananciais subterrâneos em Ponta Grossa, PR**. In: Anais do Seminário Internacional “Experiências de Agendas 21: os desafio do nosso tempos”. Sem páginas.

MMA – Ministério de Meio Ambiente. 1987. **Resolução CONAMA N.º 005 de 06 de agosto de 1987**. Pág. 17.499. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=56>> Acesso em: 22 de abril de 2020.

MMA - Ministério de Meio Ambiente. **Instrução Normativa MMA Nº 2, de 20 de agosto de 2009**. Disponível em: <http://www.icmbio.gov.br/cecav/images/download/IN%2002_MMA_Comentada.pdf> . Acesso em: 22 de abril de 2020.

MMA - Ministério de Meio Ambiente. 2002. **Portaria MMA nº 81, de 26 de fevereiro de 2002**. Disponível em: <<http://cavernas.org.br/leis/port8102.htm>>. Acesso em: 22 de abril de 2020.

MMA - Ministério de Meio Ambiente. 2009. **Portaria MMA nº 358, de 30 de setembro de 2009**. Disponível em: <<http://cavernas.org.br/leis/PortariaMMA%20358%2030-09-2009.pdf>>. Acesso em: 22 de abril de 2020.

MMA - Ministério de Meio Ambiente. 2017. **Instrução Normativa MMA Nº 2, de 31 de agosto de 2017.** Disponível em: <<http://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?data=01/09/2017&jornal=1&pagina=161&totalArquivos=208>>. Acesso em: 22 de abril de 2020.

MONTEIRO, F.A.D. 2013. **Espeleologia e legislação – proteção, desafios e o estado do conhecimento.** In: RASTEIRO, M.A.; MORATO, L. (orgs.) 32º Congresso Brasileiro De Espeleologia. Barreiras. Anais... Campinas: SBE, 2013. p.197-206. Disponível em: <http://www.cavernas.org.br/anais32cbe/32cbe_197-206.pdf>. Acesso em: 22 de abril de 2020.

MPMG - **Ministério Público do Estado de Minas Gerais.** Disponível em: <<https://www.mpmg.mp.br/comunicacao/noticias/acao-do-mpmg-requer-a-aplicacao-efetiva-de-cerca-de-r-200-milhoes-na-implantacao-e-manutencao-de-unidades-de-conservacao.htm#.W6lAgNdKjIV>>. Acesso em: 11 de junho de 2015.

NIETO, L. M. 2002. **Patrimônio Geológico, Cultura y Turismo.** Boletín del Instituto de Estudios Giennenses, No 182, p. 109-122.

OLIVEIRA-GALVÃO, A. L. C.; COSTA-NETO, J. F. 2013. **Proposta de Procedimento Metodológico para Avaliação do Nível de Relevância de Cavidades Naturais Subterrâneas.** Revista Brasileira de Espeleologia, v. 1. p.19-34.

PEREIRA P. 2006. **Patrimônio geomorfológico: conceptualização, avaliação e divulgação. Aplicação ao Parque Natural de Montesinho.** Tese de Doutorado, Universidade do Minho. Braga. 370p.

PEREIRA R.F.; BRILHA J.; MARTINEZ J.E. 2008. **Proposta de enquadramento da geoconservação na legislação ambiental brasileira.** In: Memórias e Notícias da Conferência Internacional: As Geociências no Desenvolvimento das Comunidades Lusófanos. Publicação do Departamento de Ciências da Terra e do Museu Mineralógico e Geológico da Universidade de Coimbra. p.491–494

PEREIRA, R .G. F. A. 2010. **Geoconservação e desenvolvimento sustentável na Chapada Diamantina (Bahia-Brasil).** Tese de Doutorado em Ciências – Especialidade em Geologia. Universidade do Minho Portugal. 310p.

PONTES, H.S.; MASSUQUETO, L. L. 2015. **As lacunas na legislação municipal e os desafios para a conservação do patrimônio espeleológico de Ponta Grossa (PR).** In: I Congresso de Patrimônio Cultural e II Simpósio Ponta-Grossense de

Patrimônio Cultural, Ponta Grossa/PR. Anais do I Congresso de Patrimônio Cultural e II Simpósio Ponta-Grossense de Patrimônio Cultural.

PONTES, H.S., MASSUQUETO, L.L., FERNANDES, L.A., FOLTRAN, A.C.; MELO, M.S.; MOREIRA, J.C. 2018. **Caves Geodiversity Evaluation as an Instrument to the Management of the Campos Gerais National Park, Southern Brazil.** Geoheritage. p. 1-11. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s12371-018-0317-9>>. Acesso em: 22 de abril de 2020.

PONTES, H.S. 2019. **Patrimônio geológico cárstico em rochas areníticas e políticas públicas de geoconservação, com base em estudo de caso do município de Ponta Grossa (PR).** Tese de Doutorado – Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências da Terra, Programa de Pós-graduação em Geologia, Curitiba. 260p.

ROCHA, H. L.; GUIMARÃES, G. B. 2010. **Geoformas cársticas em rochas quartzosas dos Campos Gerais do Paraná: inventariação e quantificação de geossítios de valor científico.** Anais do II Simpósio Sul-Brasileiro de Espeleologia – A Espeleologia no Sul do Brasil. Ponta Grossa – PR.

RUCHKYS U.A., TRAVASSOS, L.E.P., RASTEIRO, M.A., FARIA, L.E. 2015. **Patrimônio Espeleológico em Rochas Ferruginosas. Propostas para sua conservação no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais.** Campinas/SP. Sociedade Brasileira de Espeleologia – SBE. 1ª ed. 351p.

SHARPLES, C. 2002. **Concepts and principles of Geoconservation.** Tasmanian Parks and Wildlife Service website. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/266021113_Concepts_and_principles_of_geoconservation>. Acesso em: 22 de abril de 2020.

SMITH, G. 1998. **Glossary of Caving Terms.** Disponível em: <<http://wasg.org.au/index.php/2015-09-05-08-07-15/2016-06-27-13-46-34/glossary-of-caving-terms>>. Acesso em: 22 de abril de 2020.

SOBREIRA, F. G. 2001. **Susceptibilidade a processos geológicos e suas consequências na área urbana de Mariana, MG.** Geo.br 1. Disponível em: <http://www.degeo.ufop.br/geobr/artigos/artigos_completos/volume1/sobreira1.pdf> Acesso em: 22 de abril de 2020.

SOUZA, A.P. 1990. **Mapa geológico na escala 1: 50.000 e esboço da evolução tectônica e sedimentar do Grupo Itaiacoca, nas folhas Barra do Chapéu e Ouro Verde - SP/PR.** Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. São Paulo. 200p.

SOUZA-SILVA, M., MARTINS, R.P., FERREIRA, R. L. 2015. **Cave Conservation Priority Index to Adopt a Rapid Protection Strategy: A Case Study in Brazilian Atlantic Rain Forest.** Environmental Management. p.279-295.

SZABÓ, G. A. J.; ANDRADE, F. R. D.; GUIMARÃES, G. B.; MOYA, F. A.; CARVALHO, F. M. S. 2004. **Genesis of talc deposits and the metamorphic history of the Itaiacoca Group metadolomites, southern Brazil.** In: International 46 Congress On Applied Mineralogy, 8. Águas de Lindóia. Proceedings... Águas de Lindóia: IMA, 2004. v. 1. p.759-761.

TCU – Tribunal de Contas da União. 2013. **Relatório Análise da proteção das cavernas do Brasil (TC 016.535/2013-8).** Disponível em: <http://www.tcu.gov.br/Consultas/Juris/Docs/judoc/Acord/20140613/AC_1571_21_14_P.doc>. Acesso em: 22 de abril de 2020.

TIMO, M.B.; ACÁCIO, C.E.R.S. 2012. **Proposta de metodologia para cálculo estatístico de dados espeleométricos de acordo com a Instrução Normativa nº 2 do Ministério do Meio Ambiente.** Espeleo-Tema: Campinas, SBE, v.23, n.2. p.43-58.

TOMAZZOLI, E. R.; PELLERIN, J. M. 2015. **Unidades do mapa geológico da ilha de Santa Catarina: as rochas.** Geosul, Florianópolis, v. 30, n. 60. p.225-247.

TRAJANO, E.; BICHUETTE, M.E. 2010. **Relevância de cavernas: porque estudos ambientais espeleobiológicos não funcionam.** Espeleo-Tema: Campinas, SBE, v. 21, n. 1. p.105-112.

WHITE, S.; MITCHELL, M. 2006. **Geological heritage sites: a procedure and protocol for documentation and assessment.** AESC2006, Melbourne, Austrália, 2p.

ZALÁN, P. V.; WOLFF, S.; CONCEIÇÃO J. C. J. 1990. **Bacia do Paraná.** In: Gabaglia GPR and Milani EJ. Origem e evolução de Bacias Sedimentares, 3rd edn. Gávea, Rio de Janeiro, p.135–168.

2 RESULTADOS E DISCUSSÕES

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

Laís Luana Massuqueto^{1,2,3} (lais.massuqueto@gmail.com), Luiz Alberto Fernandes^{1,3}, Henrique Simão Pontes^{2,3,4}

¹ Programa de pós-graduação em Geologia da Universidade Federal do Paraná – UFPR

² Grupo Universitário de Pesquisas Espeleológicas – GUPE

³ Grupo de Pesquisa CNPq: Geoconservação e patrimônio geológico

⁴ Departamento de Geociências da Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG)

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 geoformas 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 that can be found in Brazilian caves, developed in carbonate, siliciclastic, iron and granite rocks. A diagnosis made with the scientific community specialized in cave's geodiversity (by a semi-open questionnaire) allowed to identify 23 geological features of caves developed in the different lithotypes. Besides, the recognition of the features occurrence frequency (rarity or regularity), the knowledge of the scientific community 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 aspects of cave relevance and debate topics dealing with underground geodiversity, in contrast to speleological legislation. The diagnosis contributes with the scientific knowledge in this area and can help in the revision of public policies and in elaboration of protocols for studies of speleological licensing and for the caves geoconservation.*

Keywords: *caves, speleological legislation, geodiversity.*

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.

Materiais e métodos

Referências nacionais e internacionais sobre o conceito geodiversidade e feições geológicas de cavernas foram utilizadas para elaboração de inventário prévio das geoformas 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.

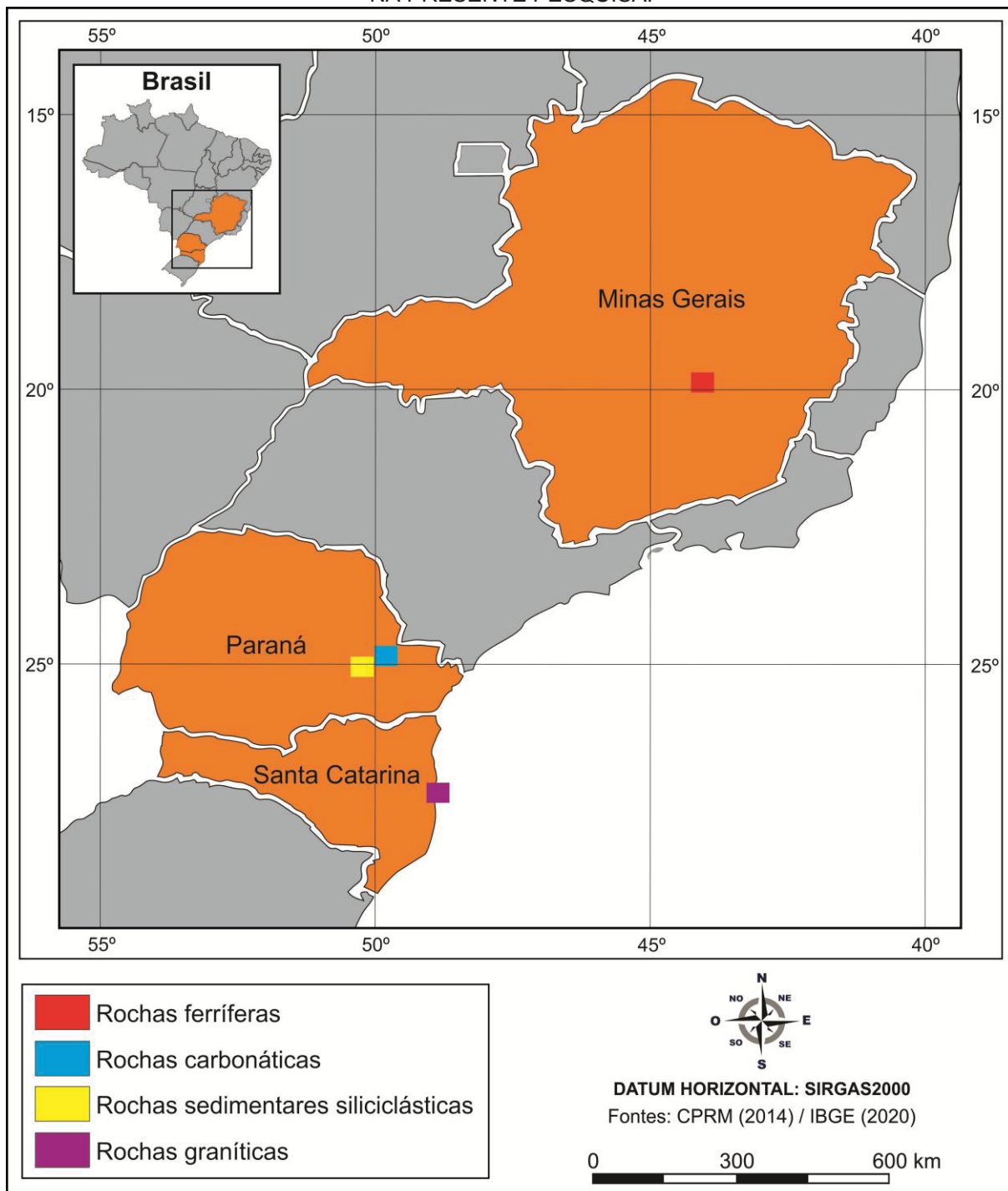
Os trabalhos de campo visaram comparar os aspectos físicos de cada ambiente e realizar um refinamento no inventário das feições da geodiversidade subterrânea. Para isso, foram estudadas cavernas desenvolvidas em rochas carbonáticas, siliciclásticas, graníticas e ferríferas, na tentativa de abordar de 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 2.1).

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.

FIGURA 2.1 - LOCALIZAÇÃO DAS CAVIDADES NATURAIS SUBTERRÂNEAS (DESENVOLVIDAS EM ROCHAS SILICICLÁSTICAS, CARBONÁTICAS, FERRÍFERAS E GRANÍTICAS) ANALISADAS NA PRESENTE PESQUISA.



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.

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.

a) Espeleotemas

O termo espeleotema deriva da palavra grega *spelaiion* (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 (CAÑEVERAS, 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 2.2a).

b) 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 carregados por fluxos de água para o interior da cavidade. Nesses vazios, os sedimentos são depositados e preservados, formando os depósitos clásticos ou detríticos (figura 2.2b). 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.

c) 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 2.2c). 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.

d) 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 2.2d). 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).

e) 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 2.2e).

f) Chaminé de equilíbrio (*out-let*)

É uma abertura vertical ou quase vertical formada no teto de cavernas (figura 2.2f). É considerado um duto cilíndrico 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.

g) 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 2.2g). 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 superficiais para o interior da cavidade. Destaca-se que as chaminés de equilíbrio podem estar associadas com claraboias, assim como os domos.

h) 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 2.2h). 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.

i) 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 2.2i). Podem exibir formas de desenvolvimento retilíneas ou meandantes. 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.

j) 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 2.2j). Outras possibilidades genéticas, assim como apresentadas para os canais de teto, também se aplicam para os canais de parede.

k) *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 2.2k). 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).

l) Alimentadores (*feeders*)

Conforme Klimchouk (2007, 2009) os alimentadores (figura 2.2l) 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).

m) Anastomoses

São feições que, quando maduras, podem se apresentar como um conjunto de pequenos canais anastomosados no teto ou paredes de cavernas, como também feições erosivas com aspecto corroído e ruiforme, formando superfícies irregulares, pontiagudas e, em determinadas situações, com vestígios de antigos canais interconectados (figura 2.2m). 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.

n) Incrustações

As incrustações são crostas que se formam sobre as rochas em paredes, teto ou piso das cavernas (figura 2.2n). 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).

o) Sulcos verticais (cerdas de baleia)

Os sulcos verticais são feições erosivas, geralmente desenvolvidas em rochas de granulação fina (fração silte e argila) (figura 2.2o). 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.

p) 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 2.3a). 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.

q) 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 2.3b). 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).

r) Pontões estruturais

Os pontões são semelhantes aos pendentes, porém tem forma irregular, geralmente retangular provocada pelas estruturas da rocha encaixante (figura 2.3c). 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.

s) Patamares

Os patamares constituem desníveis abruptos (escarpados) seguidos por superfície horizontalizada na parte superior (figura 2.3d). Essas diferenças de nível possibilitam o aumento do gradiente hidráulico e, conseqüente, 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.

t) Painéis (marmitas)

São feições côncavas presentes no piso de cavernas, arredondadas e cilíndricas, geralmente formadas a partir da ação erosiva de águas fluviais (figura 2.3e). 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 painéis (WINGE, 2001). Esta feição também é conhecida como painelão, marmita ou *pot hole*, podendo atingir alguns centímetros a metros de diâmetro e profundidade. As painéis 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.

u) *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 2.3f). 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. Fluidos 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.

v) 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 2.3g). 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.

x) 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 2.3h e i).

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 geoformas. Esta lista foi testada para verificar se todas as feições foram incluídas.

FIGURA 2.2 - FEIÇÕES GEOLÓGICAS DE CAVERNAS: A) ESPELEOTEMAS; B) DEPÓSITOS CLÁSTICOS; C) DUTOS DE DISSOLUÇÃO; D) CÚPULAS DE DISSOLUÇÃO; E) DOMOS; F) CHAMINÉ DE EQUILÍBRIO; G) CLARABÓIA; 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).

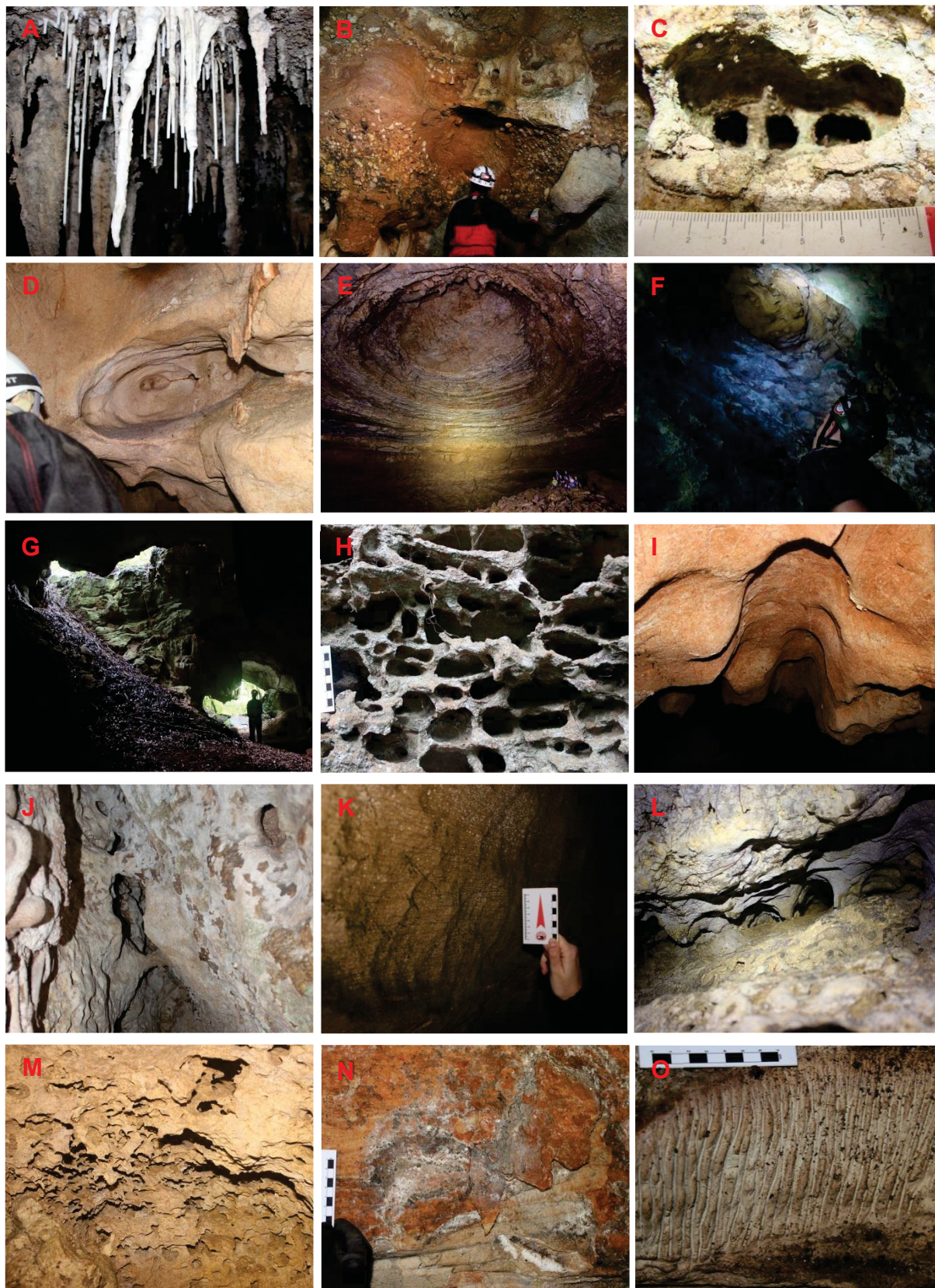
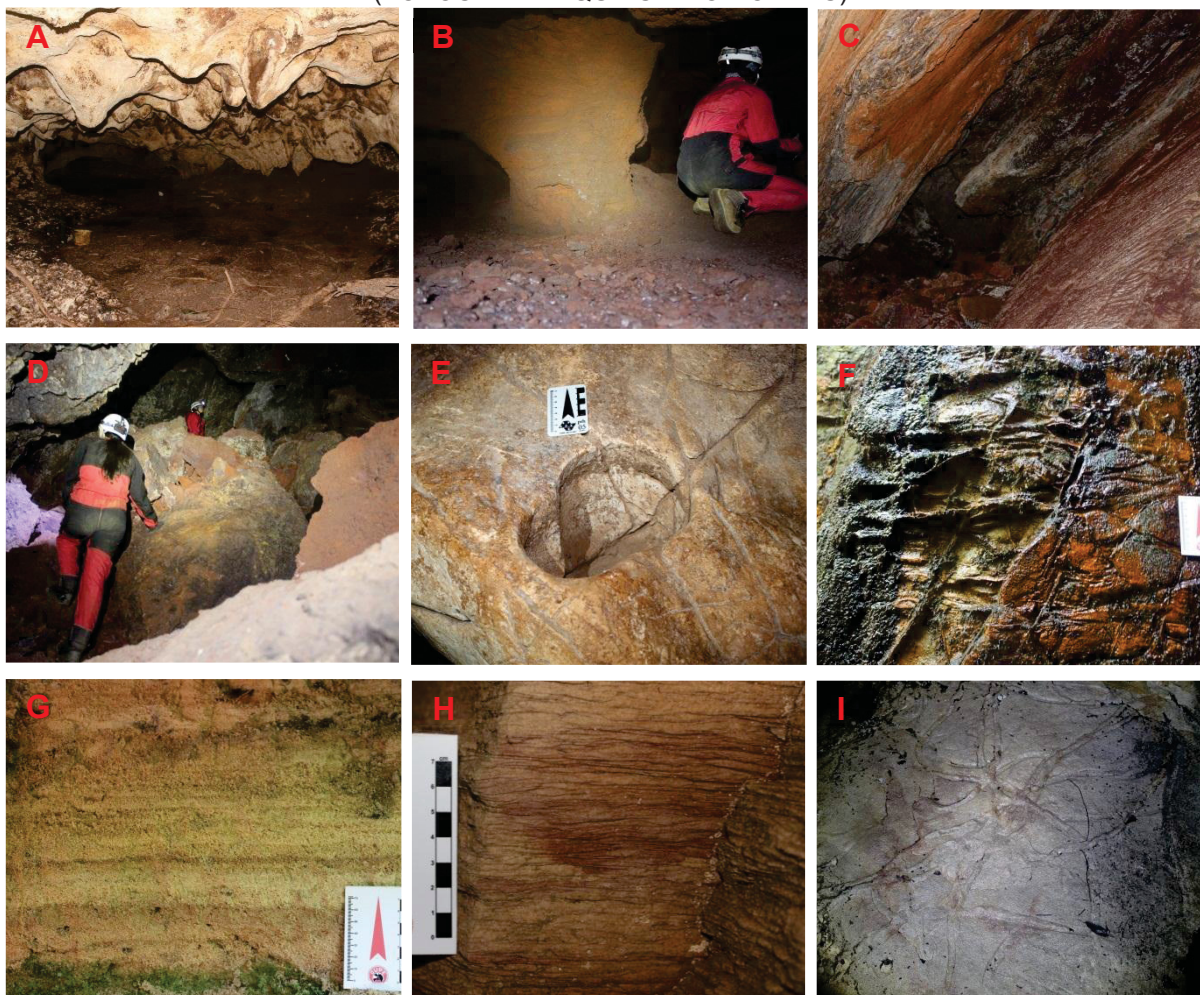


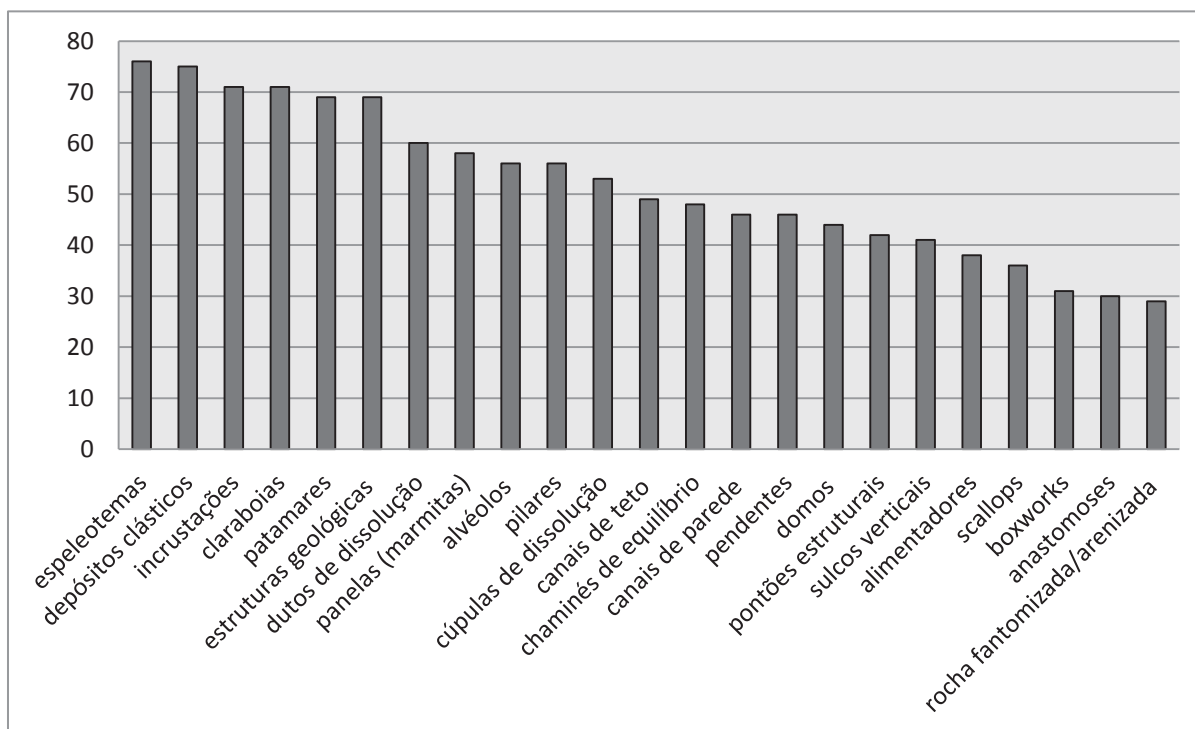
FIGURA 2.3 - FEIÇÕES GEOLÓGICAS DE CAVERNAS: A) PENDENTES; B) PILARES; C) PONTÕES ESTRUTURAIS; D) PATAMARES; E) PANEIAS; F) *BOXWORKS*; G) ROCHA FANTOMIZADA/ARENIZADA; H) ESTRUTURAS GEOLÓGICAS E; I) ICNOFÓSSEIS (FOTOS: HENRIQUE SIMÃO PONTES).



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 define 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

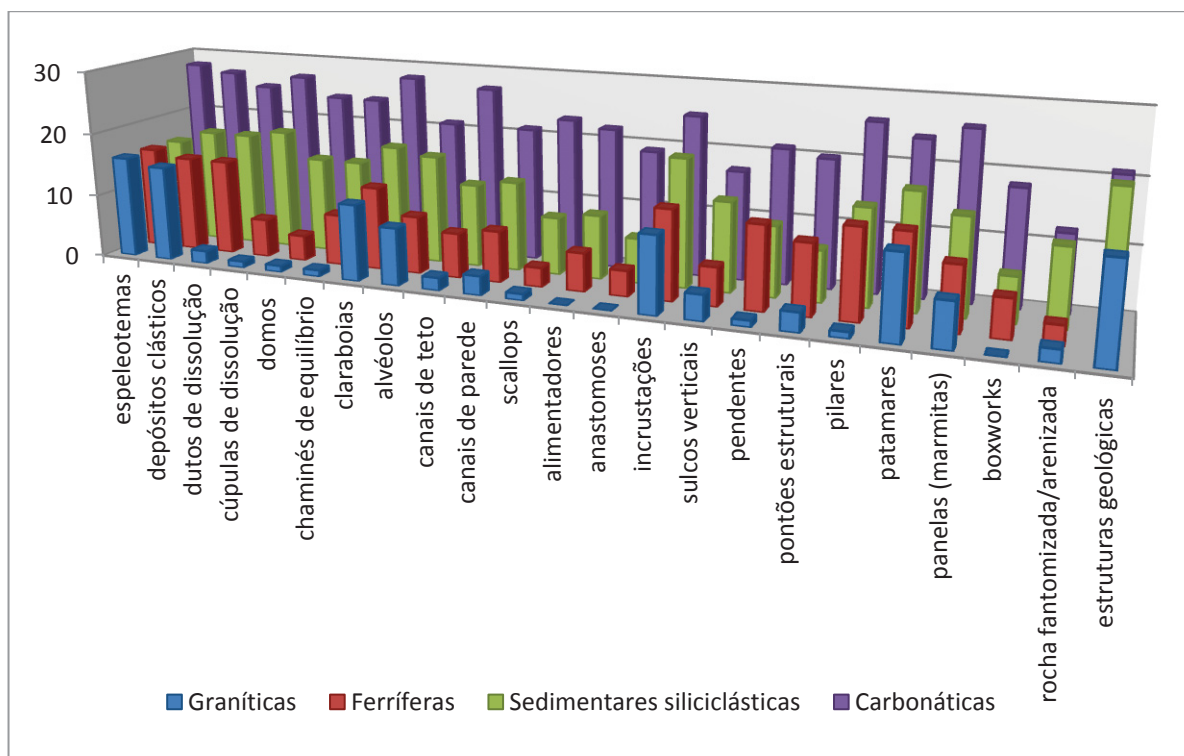
feições mais abundantes, e *boxworks*, anastomoses e rochas fantomizadas/arenizadas são menos frequentes (figura 2.4).

FIGURA 2.4 - 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 2.5). 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.

FIGURA 2.5 - PANORAMA GERAL DO REGISTRO DE FEIÇÕES GEOLÓGICAS DE CAVERNAS EM DIFERENTES CONTEXTOS GEOLÓGICOS NO BRASIL.



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.

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 2.6). Nos outros contextos litológicos os resultados apresentaram os seguintes valores: 62,38% para as siliciclásticas (figura 2.7); 52,41% para as ferríferas (figura 2.8) e; 29,22% para as cavernas graníticas (figura 2.9).

FIGURA 2.6 - INVENTÁRIO DAS FEIÇÕES GEOLÓGICAS EM CAVERNAS DE ROCHAS CARBONÁTICAS.

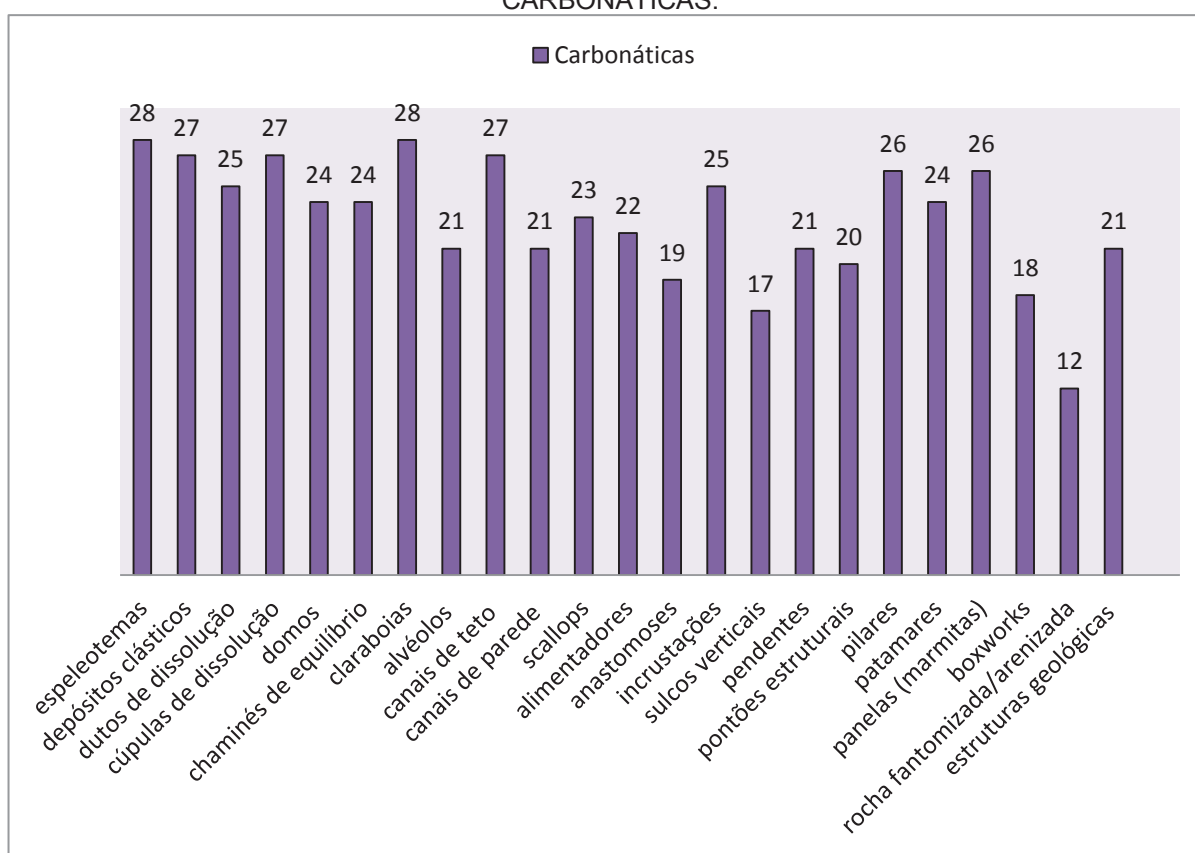


FIGURA 2.7 - INVENTÁRIO DAS FEIÇÕES GEOLÓGICAS EM CAVERNAS DE ROCHAS SEDIMENTÁRES SILICICLÁSTICAS.

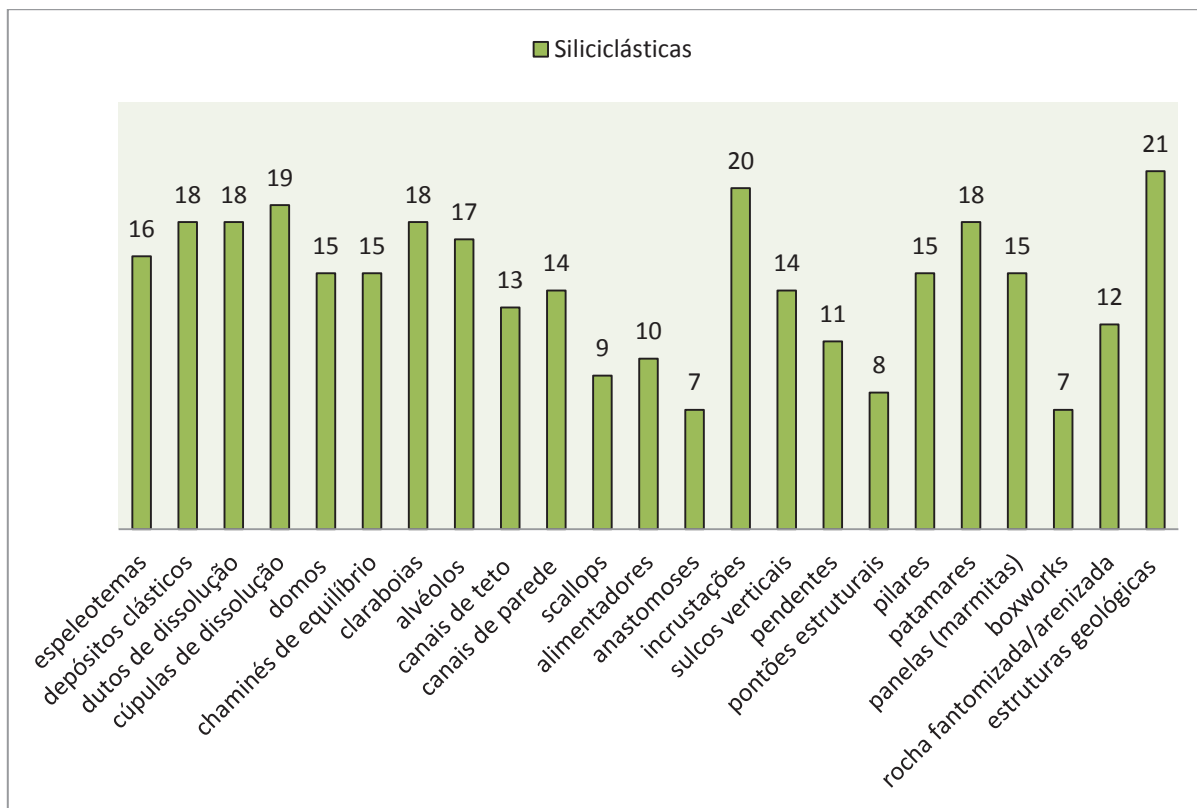


FIGURA 2.8 - INVENTÁRIO DAS FEIÇÕES GEOLÓGICAS EM CAVERNAS DE ROCHAS FERRÍFERAS.

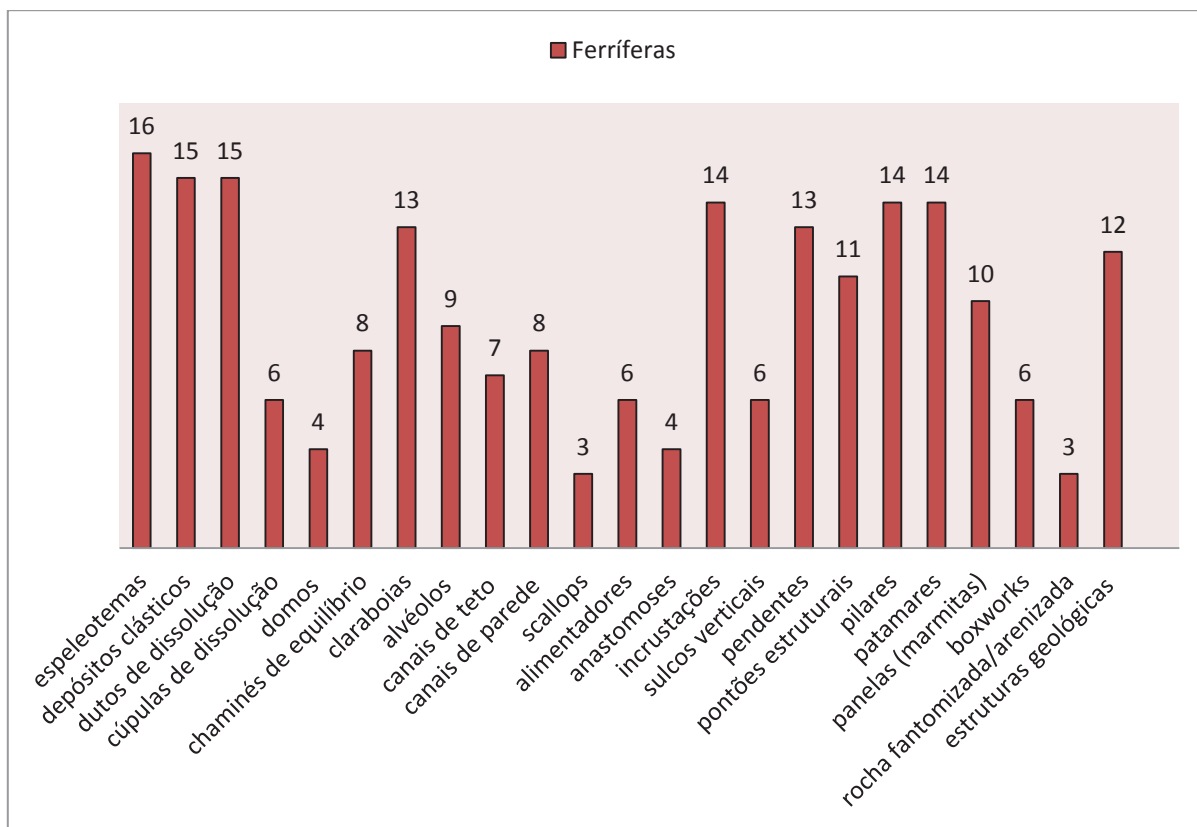
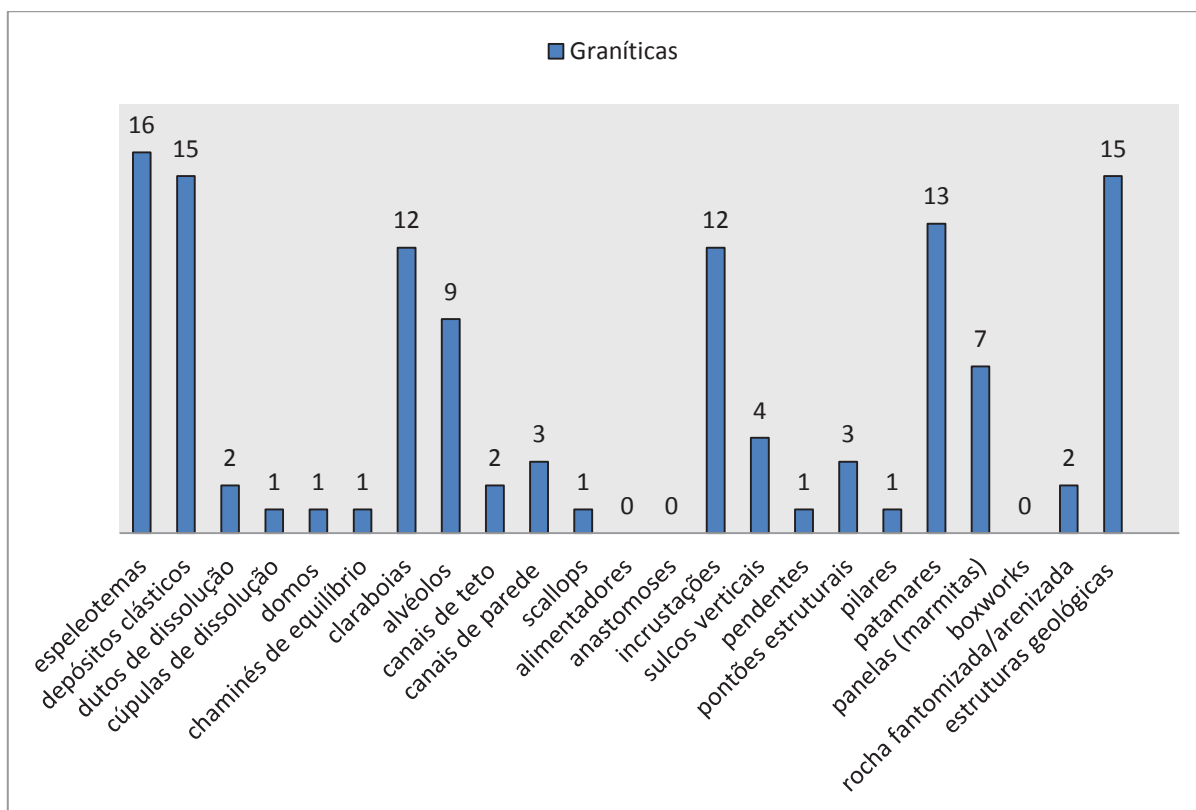


FIGURA 2.9 - INVENTÁRIO DAS FEIÇÕES GEOLÓGICAS EM CAVERNAS DE ROCHAS GRANÍTICAS.



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 2.1).

TABELA 2.1 - VALORES DE REFERÊNCIA PARA A CLASSIFICAÇÃO DA RARIDADE DAS FEIÇÕES GEOLÓGICAS DE CAVERNAS.

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

Conforme mostram as figuras 2.10, 2.11, 2.12 e 2.13, 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 ferríferas 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 geformas foram classificadas como comuns.

FIGURA 2.10 - CLASSIFICAÇÃO DA RARIDADE DAS FEIÇÕES GEOLÓGICAS DE CAVERNAS EM ROCHAS CARBONÁTICAS.

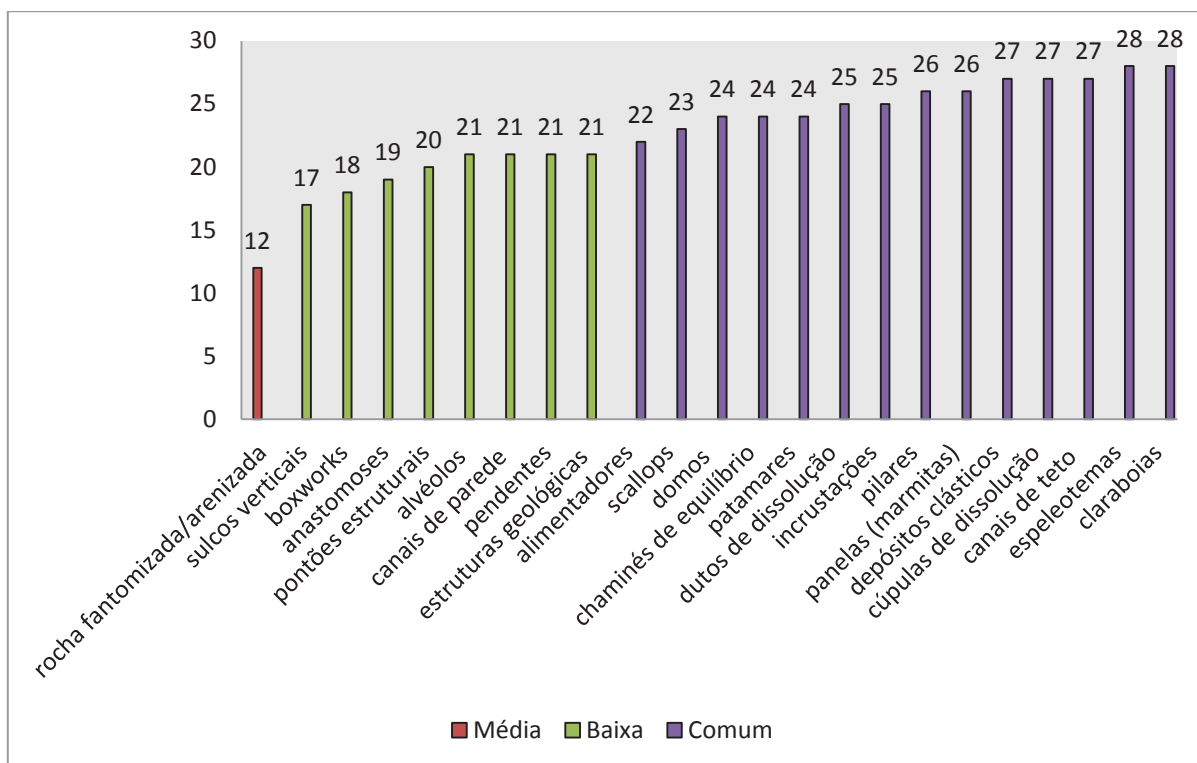


FIGURA 2.11 - CLASSIFICAÇÃO DA RARIDADE DAS FEIÇÕES GEOLÓGICAS DE CAVERNAS EM ROCHAS SEDIMENTARES SILICICLÁSTICAS.

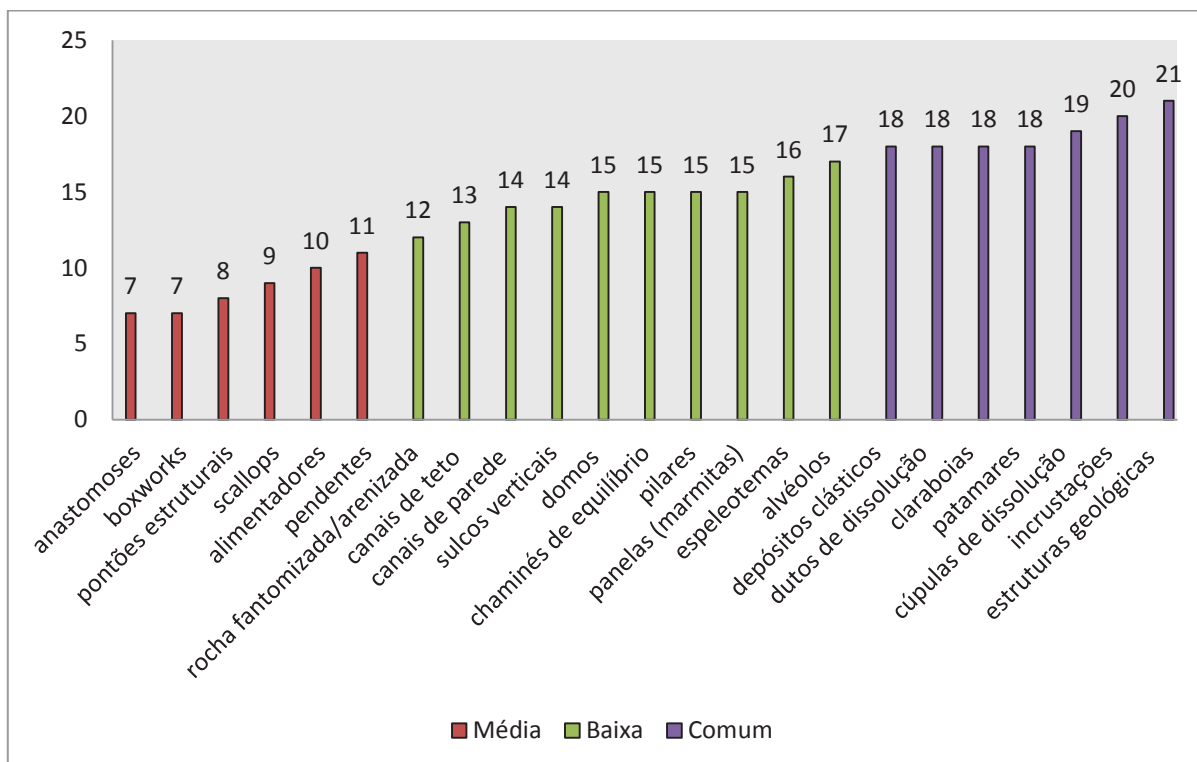


FIGURA 2.12 - CLASSIFICAÇÃO DA RARIDADE DAS FEIÇÕES GEOLÓGICAS DE CAVERNAS EM ROCHAS FERRÍFERAS.

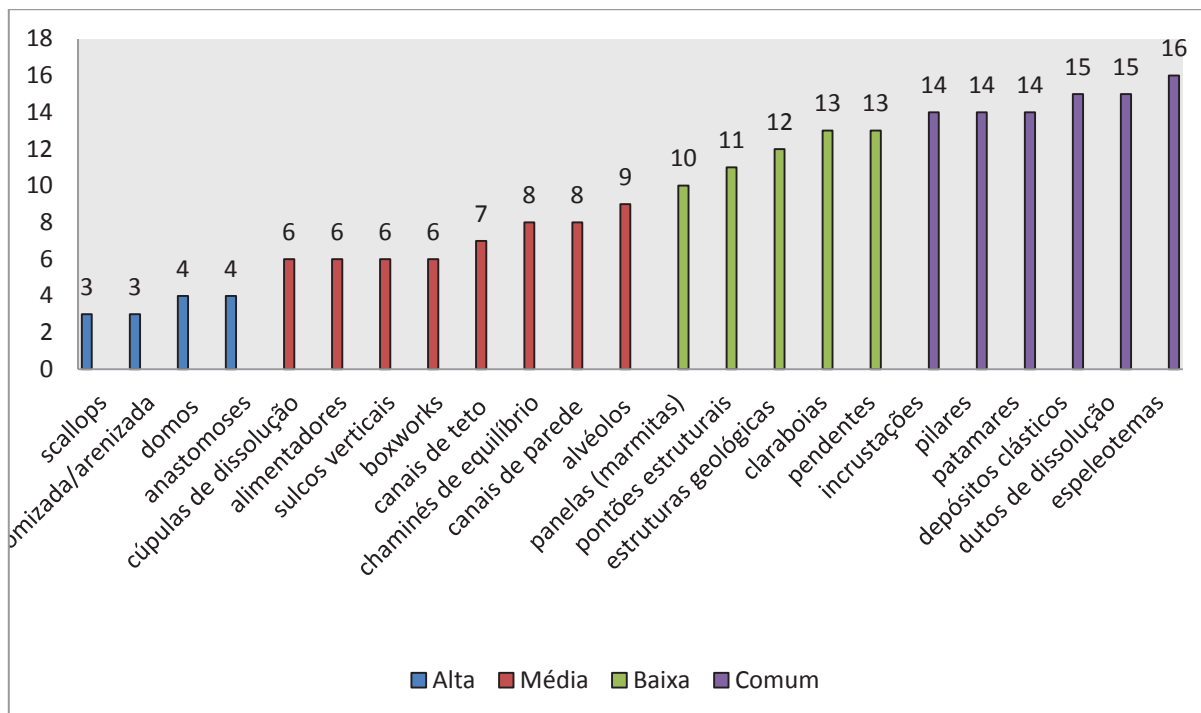
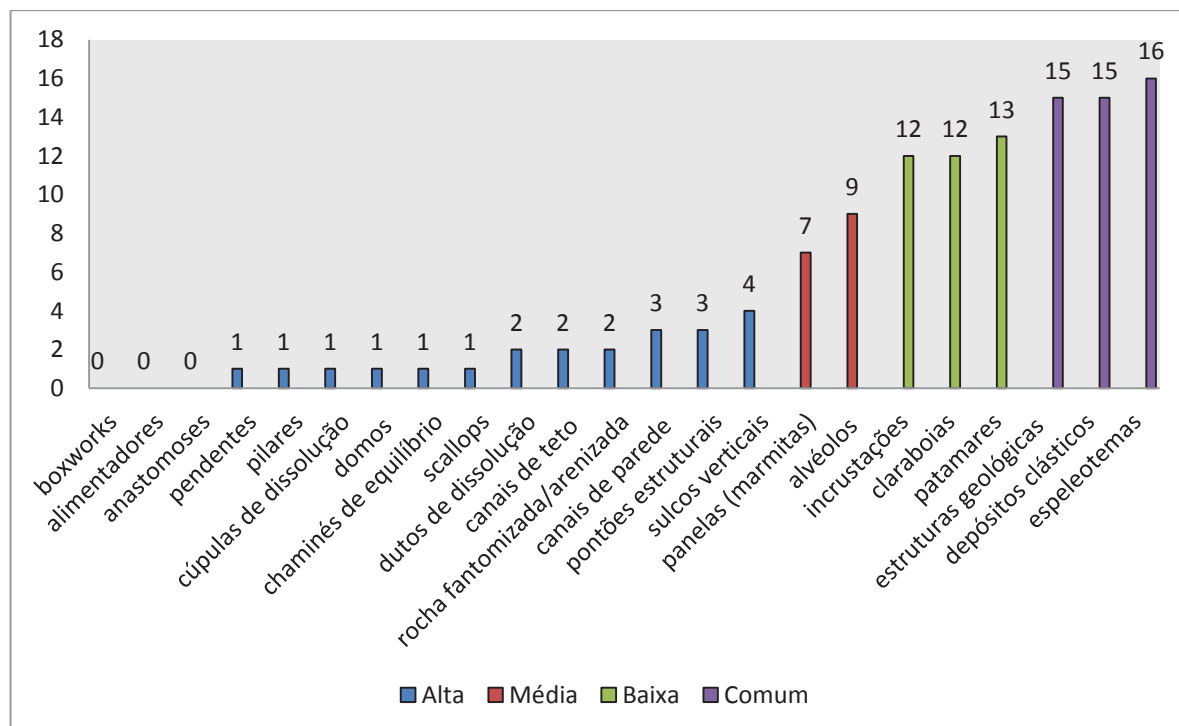


FIGURA 2.13 - CLASSIFICAÇÃO DA RARIDADE DAS FEIÇÕES GEOLÓGICAS DE CAVERNAS EM ROCHAS GRANÍTICAS.



A classificação do atributo raridade, de acordo com o método apresentado na tabela 2.1 e figuras 2.10, 2.11, 2.12 e 2.13, 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 geoformas 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.

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 geoformas 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.

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.

Referências

AHMADI, A.; MOGHIMI, E; ZAMANZADEH, S. M.; MOTAMED, R. 2015. **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*. Volume 2015. 1-10p.

AUBRECHT R.; BREWER-CARÍA, C.H.; ŠMÍDA B.; AUDY M.; KOVÁČIK L'. 2008. **Anatomy of biologically mediated opal speleothems in the World's largest sandstone cave: Cueva Charles Brewer, Chimantá Plateau, Venezuela.** *Sedimentary Geology*, 203: p.181-195. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2007.10.005>>. Acesso em: 22 de abril de 2020.

AULER, A. S.; ZOGBI, L. 2005. **Espeleologia: noções básicas.** São Paulo: Redespeleo Brasil. 104p.

AULER, A. S.. **Histórico, ocorrência e potencial de cavernas no Brasil.** In.: Rubbioli EL, Auler AS, Menin DS, Brandi R (organizadores). *Cavernas. Atlas do Brasil Subterrâneo.* Editora IABS, Brasília. 2019, p. 10-47.

AULER, A. S.; PILÓ, L.B. 2013. **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. Disponível em: <http://www.icmbio.gov.br/cecav/images/stories/downloads/IV_Curso_de_Espeleologia_e_Licenciamento_Ambiental.pdf>. Acesso em: 22 de abril de 2020.

BERBERT-BORN, M. 2010. **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.

BRANCO, P. M. 2014. **Espeleologia: o estudo das cavernas.** CPRM – Serviços Geológicos do Brasil. 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: 22 de abril de 2020.

BRASIL. 1990. **Decreto Federal Nº 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: 22 de abril de 2020.

CALUX, A.; CASSIMIRO, R. 2015. **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 Espeleológico em Rochas Ferruginosas. Propostas para sua conservação no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. Campinas/SP. Sociedade Brasileira de Espeleologia – SBE. 1ª ed. p.134-157.

CAÑEVERAS J.C.; SÁNCHEZ-MORAL S.; SOLER V.; SAIZ-JIMÉNEZ C. 2001. **Microorganisms and microbially induced fabrics in cave walls.** Geomicrobiology Journal, v.18: p.223-240. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1080/01490450152467769>>. Acesso em: 22 de abril de 2020.

CANIE - Cadastro Nacional de Informações Espeleológicas. 2020. **Relatório Estatístico do CANIE.** Disponível em: <http://www.icmbio.gov.br/cecav/index.php?option=com_icmbio_canie&controller=relatorioestatistico&itemPesq=true>. Acesso em: 26 de novembro de 2020.

CECAV – Centro Nacional de Pesquisas e Conservação de Cavernas. 2018. **Cavidades naturais subterrâneas.** Disponível em: <http://www.icmbio.gov.br/cecav/cavidades-naturais-subterraneas.html>. Acesso em: 22 de abril de 2020.

CNC - Cadastro Nacional de Cavernas. **Sociedade Brasileira de Espeleologia – SBE.** Disponível em: <<http://www.cavernas.org.br/cnc/>>. Acesso em: 22 de abril de 2020.

COLLET, G.C. 1981. **Contribuição para elaboração de um glossário espeleológico.** Grupo Espeleológico Bagrus. São Paulo.

CURL, R. A. 1974. **Deducing Flow Velocity in Cave Conduits from Scallops.** The NSS Bulletin. 36 (2). p.1-5.

FEINBERG, J.; GAO, Y.; ALEXANDER, E. C. JR. 2016. **Caves and Karst Across Time.** Boulder, Colorado: Geological Society of America. 300p.

FIELD, M. S. 1999. **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, EPA/600/R-99/006. 194p.

GOODCHILD, M. F.; FORD, D. C. 1970. **Analysis of Scallop Patterns by Simulation Under Controlled Conditions**. The Journal of Geology 79(1). 52-62p.

GRAY, M. 2004. **Geodiversity: valuing and conserving abiotic nature**. John Wiley and Sons, Chichester, England. 434p.

GUPE - GRUPO UNIVERSITÁRIO DE PESQUISAS ESPELEOLÓGICAS. 2017. **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). 22p.: il. + anexos.

HARDT, R.; RODET, J.; PINTO, S.A.F.; WILLEMS, L. 2009. **Exemplos brasileiros de carste em arenito: Chapada dos Guimarães (MT) e Serra de Itaqueri (SP)**. SBE – Campinas, SP. Espeleo-Tema. v. 20, n.1/2. p.7-23.

HILL, C.A.; FORTI, P. 1997. **Cave Minerals of the World**. Second edition: Huntsville, Ala., National Speleological Society, 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., 2011. p. 04-06. Disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.gpme.org.br/bd/teto-baixo-ano-ii-numero-ii-06052011/>>. Acessado em: 02/05/2020.

JENNINGS, J.N. 1997. **Cave and karst terminology**. Australian Speleological Federation Incorporated Administrative Handbook, 1997 Edition. Disponível em: <<http://speleologija.eu/znanost/terminologija/CaveKarstTerminologyJennings.html>>. Acesso em: 22 de abril de 2020.

JANSEN, D.C.; CAVALCANTI, L.F.; LABLÉM, H.A. 2012. **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.

KAUFMANN O.; BINI A.; TOGNINI P.; QUINIF Y. 1999. **Étude microscopique d'une altérite de type fantôme de roche. Études de géographie physique**. Travaux 1999 – Suppl. XXVIII, Cagep, Université de Provence p.129-134.

KARMANN, I. 2001. **Ciclo da água: água subterrânea e sua ação geológica**. In: TEIXEIRA, W.; TOLEDO, M.C.M.; FAIRCHILD, T.R.; TAILOLO, F. (org). Decifrando a Terra. São Paulo: Oficina de Textos. p.113-138.

KARMANN, I. 2016. **Carste e cavernas no Brasil: distribuição, dinâmica atual e registros sedimentares, breve histórico e análise crítica das pesquisas realizadas no âmbito do IGc USP**. Tese livre docência. São Paulo. 62p.: il. + anexos.

KLIMCHOUK A. B., 2007. **Hypogene Speleogenesis: Hydrogeological and Morphogenetic Perspective**. National Cave and Karst Research Institute, Special Paper No. 1, Carlsbad, New Mexico. 106p.

KLIMCHOUK, A. B. 2009. **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.

KLIMCHOUK, A. B. 2017. **Tafoni and honeycomb structures as indicators of ascending fluid flow and hypogene karstification**. Geological Society, London, Special Publications, 466. Disponível em: <<https://doi.org/10.1144/SP466.11>>. Acesso em: 22 de abril de 2020.

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

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

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

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

MELO, M.S.; GUIMARÃES, G.B.; CHINELATTO, A.L.; GIANNINI, P.C.; PONTES, H.S.; CHINELATTO, A.C.A.; ATENCIO, D. 2015. **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 63. p.20-35.

MOCHIUTTI, N.F.B.; TOMAZZOLI, E.R. 2019. **Cavernas em granito. Precisamos falar sobre elas.** In: ZAMPAULO, R. A. (org.) Congresso Brasileiro de Espeleologia, 35, 2019. Bonito. Anais... Campinas: SBE, 2019. p.18-29. Disponível em: <http://www.cavernas.org.br/anaiscbe/35cbe_018-029.pdf>. Acesso em: 05 de maio de 2020.

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

PILÓ, L. B.; AULER, A. S. 2011. **Introdução à Espeleologia.** In: III Curso de Espeleologia e Licenciamento Ambiental. Belo Horizonte: Instituto Terra Brasilis. p.7-23. Disponível em: <<https://www.icmbio.gov.br/cecav/images/download/Apostila%20Curso%20de%20Espeleologia%20e%20Licenciamento%20Ambiental.pdf>>. Acesso em: 28 de abril de 2020.

PILÓ, L. B.; AULER, A. S. 2013. **Geoespeleologia.** In: IV Curso de Espeleologia e Licenciamento Ambiental. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio) e Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas (CECAV). 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: 22 de abril de 2020.

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

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

RIBAS, L. M. L. R.; CARVALHO, L. C. 2009. **Cavidade natural subterrânea: natureza jurídica.** Interações: Campo Grande, *online*, v.10, n.1, p.83-93. ISSN 1518-7012. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/inter/v10n1/09.pdf>>. Acesso em: 20 de agosto de 2018.

RODET, J. 1996. **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. III 322. p.1039-1045.

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

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

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

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

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

VERGÈS-BELMIN, V. 2008. **Illustrated glossary on stone deterioration patterns.** English-French ed., Monuments & Sites n°. 15. Paris: ICOMOS and (ISCS) International Scientific Committee for Stone. 86p.

WINGE, M. 2001. **Glossário Geológico Ilustrado.** Disponível em <<http://sigep.cprm.gov.br/glossario/>>. Acesso em: 24 de setembro de 2018.

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

YOUNG, R. W.; WRAY, R. A. M.; YOUNG, A. R. M. 2009. **Sandstone Landforms.** Cambridge University Press, Cambridge, UK.

2.2 Relevância de cavidades naturais subterrâneas desenvolvidas em diferentes litotipos: aplicação do Decreto 6.640/2008 e IN MMA nº2/2017 com base nas feições geológicas

Laís Luana Massuqueto^{1,2,3} (lais.massuqueto@gmail.com), Luiz Alberto Fernandes^{1,3}, Henrique Simão Pontes^{2,3,4}

¹ Programa de pós-graduação em Geologia da Universidade Federal do Paraná – UFPR

² Grupo Universitário de Pesquisas Espeleológicas – GUPE

³ Grupo de Pesquisa CNPq: Geoconservação e patrimônio geológico

⁴ Departamento de Geociências da Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG)

Resumo: Este artigo apresenta a classificação de relevância de cavidades naturais subterrâneas desenvolvidas em contextos litológicos distintos (carbonático, siliciclástico, ferrífero e granítico) a partir do Decreto 6.640/2008 e IN MMA nº2/2017, considerando apenas as feições geológicas. O método foi aplicado em oito cavernas, duas para cada litotipo. Tal ato permitiu definir se os critérios adotados para a avaliação do grau de relevância são eficientes quando apenas as feições geológicas são consideradas e como conclusão, se admite que analisando somente as geoformas, as oito cavidades estudadas foram classificadas como de baixa relevância, pois nenhuma atingiu o resultado minimamente significativo. No entanto, a partir de um inventário da geodiversidade foi possível averiguar que estas cavernas apresentam importantes elementos geológicos e não poderiam ser classificadas como de baixa relevância, quando na análise destes atributos isoladamente. Isso mostrou que há inconsistências na IN MMA nº2/2017 para a avaliação dos aspectos da geodiversidade de cavernas, sendo necessário rever os grupos de atributos e parâmetros de avaliação da normativa, objetivando métodos mais precisos, sobretudo os relacionados aos aspectos da geodiversidade subterrânea.

Palavras-chave: relevância espeleológica; avaliação da geodiversidade; instrução normativa espeleológica.

Abstract: *This paper presents the classification of caves relevance developed in different lithological contexts (carbonate, siliciclastic, ferriferous and granitic) based on Decree 6.640/2008 and IN MMA No. 2/2017, considering only the geological features. The method was applied in eight caves, two for each lithotype. This allowed to define if the criteria adopted for the evaluation of caves relevance are efficient when only the geological features are considered and as a conclusion, it is admitted that analyzing only the geoforms, the eight cavities were classified as of low relevance, as none reached the minimally significant result. However, based on geodiversity inventory it was possible to ascertain that these caves have important geological elements and could not be classified as of low relevance, when analyzing these attributes in isolation. Therefore, there are inconsistencies in IN MMA No. 2/2017 for the evaluation of aspects of cave geodiversity, and it is necessary to review the attributes and parameters of the normative evaluation, aiming at more precise methods, especially those related to the aspects of underground geodiversity.*

Keywords: *speleological relevance; geodiversity assessment; speleological normative instruction.*

Introdução

As cavidades naturais subterrâneas, conceito amplo que inclui as cavernas, grutas, lapas, tocas, abismos, furnas e demais nomenclaturas, são ambientes naturais que agregam alta diversidade de componentes, incluindo elementos biológicos, geológicos, hidrológicos, históricos, arqueológicos e paleontológicos. Levando em consideração esse rico conjunto natural, o inciso III do Art. 2º da Resolução Conama nº 347, de 10 de setembro de 2004, traz que o patrimônio espeleológico é definido como “o conjunto de elementos bióticos e abióticos, socioeconômicos e histórico-culturais, subterrâneos ou superficiais, representados pelas cavidades naturais subterrâneas ou a estas associadas” (CONAMA, 2004).

O Decreto nº 99.556, de 1º de outubro de 1990, classifica as cavidades naturais subterrâneas como todo e qualquer espaço subterrâneo, que possa ser acessado por humanos, com abertura identificada ou não, incluindo o seu ambiente, conteúdo mineral e hídrico, a fauna e a flora associadas e o corpo rochoso onde os mesmos estão inseridos, independentemente de suas dimensões ou tipo de rocha encaixante, desde que tenham sido formados por processos naturais (BRASIL, 1990).

Por serem ambientes de relevante importância, considerados patrimônio natural e cultural, as cavernas são declaradas como bens da União pela Constituição Federal em seu Art. 20 (BRASIL, 1988). Para Ganem (2009) é dever da União zelar pelos seus bens, a partir de medidas concretas para a sua conservação, ao mesmo tempo em que garanta condições para o desenvolvimento econômico das áreas onde as cavernas estão inseridas, buscando critérios de sustentabilidade ambiental.

Ferraz (2013) coloca que as cavidades têm natureza jurídica de recursos ambientais do subsolo, tratadas como microbens, de uso comum do povo, cuja utilização é disciplinada em regulamento próprio, de acordo com o grau de relevância das mesmas. O autor também diz que além das cavidades, o patrimônio espeleológico compreende os elementos a elas associados, tais como os físicos, bióticos e culturais, os quais possuem natureza jurídica distinta. Dessa forma, sua titularidade e seu tratamento serão considerados de acordo com a função que esse elemento representa (FERRAZ, 2013).

O Decreto 6.640/2008, que modificou significativamente o Decreto nº 99.556/1990 (o principal dispositivo da legislação espeleológica brasileira), normatizou o uso, supressão e conservação das cavidades naturais subterrâneas a partir da definição do grau da relevância espeleológica. Esta avaliação para determinar a importância de uma cavidade subterrânea ocorre com base na Instrução Normativa MMA nº 2/2017, que estabelece método para determinar a relevância destes ambientes em máxima, alta, média ou baixa (BRASIL, 2008).

Para definir o grau de relevância deve ser realizada uma análise em dois enfoques, o local (delimitado pela unidade geomorfológica que apresente continuidade espacial) e o regional (delimitado pela unidade espeleológica, uma área de homogeneidade fisiográfica), considerando os atributos, grupos de atributos, pesos e contribuição (BRASIL, 2008).

Dentre os diversos atributos a serem considerados para o grau de relevância espeleológica, estão as feições geológicas, que integram os aspectos da geodiversidade de cavidades naturais subterrâneas. Tais atributos são: espeleotemas únicos e morfologia única (especificamente as feições morfológicas internas raras, que conferem grau máximo de relevância), estruturas geológicas de interesse científico, diversidade de depósitos químicos, configuração dos espeleotemas, sedimentação clástica ou química e registros paleontológicos.

O Brasil possui atualmente 21.397 cavernas, sendo que desse total, 68,5% das cavidades se desenvolvem em rochas carbonáticas; 19,5% em ferríferas; 9,9% em siliciclásticas; e 1% em rochas graníticas, desta maneira, 98,9% das cavernas brasileiras são desenvolvidas nesses quatro litotipos (CANIE, 2020). Assim como os ambientes subterrâneos são diversificados em seus atributos, as rochas capazes de hospedar cavidades subterrâneas também são. E, conseqüentemente, a diversidade de rochas formadoras de cavernas proporciona variedade de feições geológicas, que podem ser mais comuns ou mais raras, maiores ou menores, podendo envolver processos genéticos distintos, dependendo do litotipo associado.

Visto isso, o objetivo desse artigo é aplicar e avaliar o método de identificação da relevância espeleológica, com foco exclusivo nas feições geológicas, a partir dos critérios de quantificação considerados na Instrução Normativa MMA nº 2/2017. Essa avaliação permitirá definir se os critérios adotados para a classificação do grau de relevância, a partir da valoração proposta no Anexo II da Instrução Normativa

MMA nº2/2017, são eficientes quando levados em consideração apenas as feições geológicas de cavernas em diferentes contextos litológicos.

Área de estudo

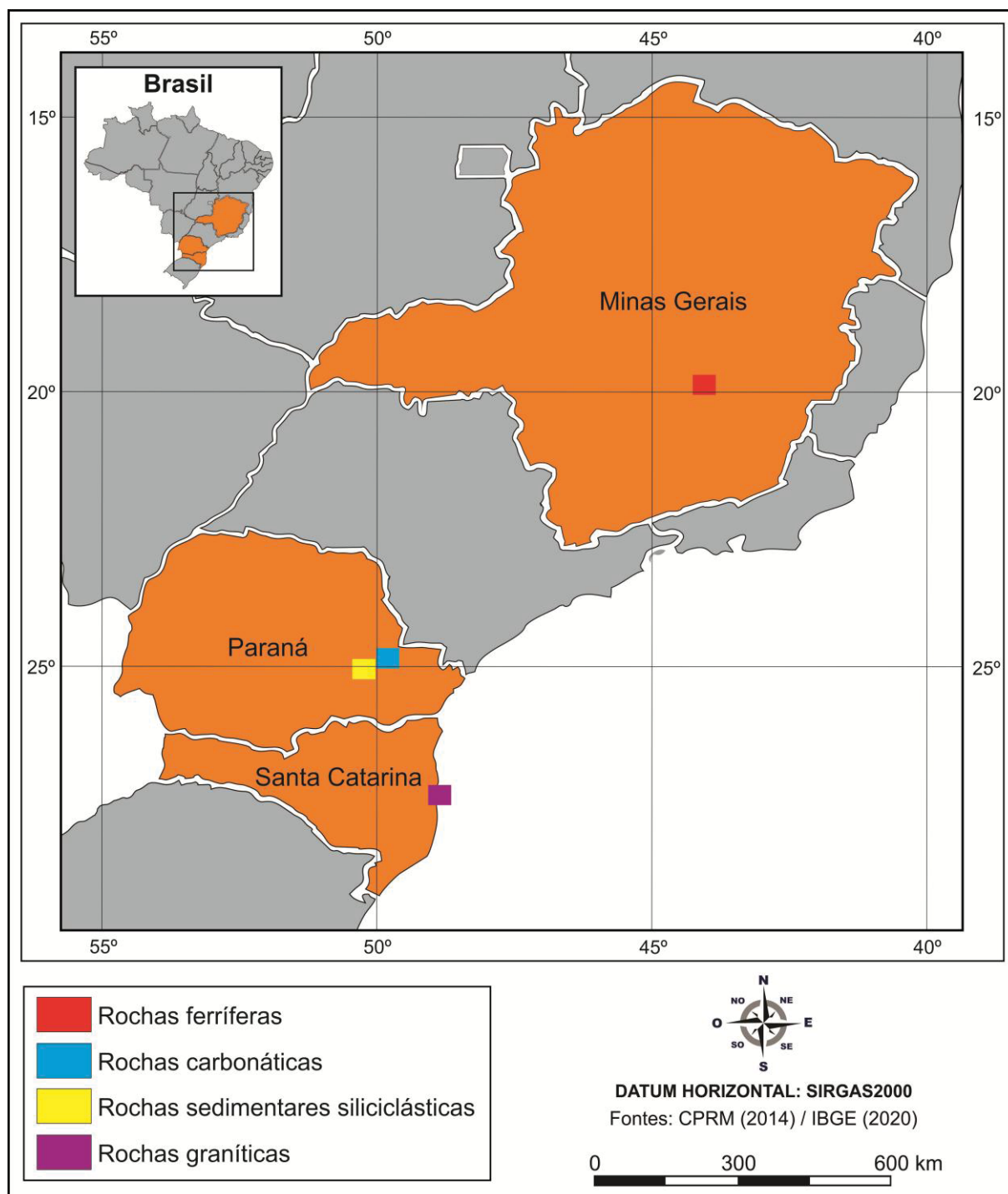
O presente estudo buscou incluir as características geológicas de cavernas desenvolvidas em contextos litológicos distintos. Neste sentido, para a aplicação do método proposto pela lei em vigor, foram escolhidas oito cavidades, desenvolvidas em relevos carbonáticos, siliciclásticos, ferríferos e graníticos (figura 3.1). Essa escolha reflete a geodiversidade dos ambientes subterrâneos, por conter feições espeleogenéticas diversas, constituindo relevante amostragem de parte do contexto espeleológico nacional.

Aspectos geológicos

Para representar as cavernas carbonáticas, foram escolhidas duas cavidades da Província Espeleológica do Vale do Ribeira, ambas no município de Castro, Paraná. A gruta Olhos d'Água localiza-se no distrito de Abapã, e a gruta de Pinheiro Seco, situa-se no distrito de Socavão, próximo à divisa municipal com Doutor Ulysses e Cerro Azul.

Estas cavidades se desenvolvem em rocha carbonática metamórfica pertencente à Formação Bairro dos Campos, do Grupo Itaiacoca, com idade de aproximadamente 1030-908 Ma (Mesoproterozoico e início do Neoproterozoico) (SZABÓ et al., 2006). É constituída predominantemente por mármore dolomíticos com intercalações de metamargas, como filitos carbonáticos e calcifilitos (CALTABELOTI, 2011). Esta formação é definida por Souza (1990) e Szabó et al. (2004) como uma sequência metadolomítica de plataforma carbonática.

FIGURA 3.1 - MAPA DE LOCALIZAÇÃO DAS CAVIDADES NATURAIS SUBTERRÂNEAS.



A idade de preenchimento da antiga bacia de sedimentação (marinha), acompanhada de vulcanismo, tal como sugerido por determinações U-Pb em zircões (SIGA JR. et al., 2003) é Neoproterozoica (aproximadamente 635-630 Ma). O metamorfismo regional, contemporâneo à fase principal de deformação destas rochas, ocorreu entre 628 e 590 Ma (SIGA JR. et al., 2003).

Para representar as cavernas sedimentares siliciclásticas, foram selecionadas duas cavernas no município de Ponta Grossa, Paraná. As cavernas das Andorinhas e da Chaminé desenvolvem-se em arenitos da Formação Furnas, unidade que aflora na borda leste da Bacia do Paraná, com idade de 395-421 Ma, entre o Siluriano e o Devoniano (BORGHI, 1993; ASSINE, 1999). Segundo Assine (1996) e Melo e Giannini (2007) esta formação é predominantemente composta por arenitos quartzosos de granulação variada, cimentados principalmente por caulinita e illita, apresentando também camadas siltico-argilosas esparsas de espessura geralmente decimétrica. Os arenitos estão dispostos em estratos de espessura de 0,5 a 5 metros, com formas tabular, lenticular e cuneiforme, exibindo marcante estratificação cruzada planar, tangencial na base ou acanalada (ASSINE, 1996).

Em relação às cavernas em rochas ferríferas foram escolhidas a gruta da Piedade e a caverna do Triângulo, ambas localizadas na Serra da Piedade, município de Caeté, Minas Gerais. Para Calux (2013) estas cavernas se desenvolvem no contexto de contato entre canga detrítica composta por clastos de itabirito e hematita compacta e itabiritos, pertencentes à Formação Cauê, Grupo Itabira. A idade remete ao Paleoproterozoico, de aproximadamente 2300 Ma (CPRM, 2014).

Por fim, como cavidades amostrais das rochas graníticas foram escolhidas o Sistema de Cavernas da Água Corrente e a gruta do Saco Grande, situadas em Florianópolis, Santa Catarina. Estas cavidades se desenvolvem no Granito Ilha, Suíte Pedras Grandes, com idade de aproximadamente 524 ± 68 Ma (Neoproterozoico) (CPRM, 2014). A rocha possui cor rosada ou cinza-clara, textura equigranular grossa ou média, raramente pórfira, e é constituída por quartzo, feldspato potássico, biotita, anfibólio, como minerais essenciais.

Descrição geral das cavidades naturais subterrâneas

Gruta Olhos d'Água (Castro/PR)

A gruta Olhos d'Água está inserida no primeiro Planalto Paranaense, em um relevo composto por morros e vales bem encaixados, drenagem subterrânea, depressões no terreno (dolinas), pequenos abrigos e presença de cavernas, feições típicas de relevo cárstico (PONTES e BAGATIM, 2012).

Formada em metadolomitos, a cavidade possui 500 metros de desenvolvimento linear e 12 metros de desnível (figura 3.2a). Apresenta curso hídrico perene, variando em sua forma entre amplos salões e galerias com tetos baixos e quebra-corpos. Pontes e Bagatim (2012) colocam que é possível observar o controle estrutural das galerias, encaixadas principalmente em estruturas de direções N10-30E, N50-60E e N60-80W. Os autores citam que entre os ornamentos encontrados na caverna se destacam os espeleotemas (estalactites, estalagmites, colunas, cortinas, cascata de rocha, represas de travertino, formações de ninhos de pérolas, canudos, pipocas e corais de calcita, helectites e pequenas formações de flores de calcita e aragonita). Também estão presentes espeleogens, cúpulas e dutos de dissolução, chaminés de equilíbrio, rocha fantomizada, panelas (marmitas) e canais de teto. Outras feições da geodiversidade presentes nesta cavidade são os depósitos clásticos, paleonível e veios de quartzo resultados de processos metamórficos na rocha.

Gruta de Pinheiro Seco (Castro/PR)

A gruta de Pinheiro Seco situa-se em um relevo metadolomítico com marcantes processos de carstificação que permitem classificar a área como um notável sistema cárstico, com presença de cavernas, dolinas, drenagens subterrâneas e *canyons*.

A cavidade possui 650 metros de desenvolvimento linear, sem presença de drenagem subterrânea e com três entradas distintas (figura 3.2b). É subdividida em duas galerias, sendo a principal, com cerca de 250 metros de desenvolvimento linear, pouco ornamentada e bastante degradada e a galeria secundária, com 400 metros, apresentando feições mais preservadas, como helictites, canudos, pérolas e flores de calcita (MASSUQUETO, 2013).

Feições da geodiversidade são encontradas em toda a extensão da caverna, tendo destaque os diversos tipos de espeleotemas, depósitos clásticos, paleonível e espeleogens, tais como cúpulas de dissolução, *scallops*, pilares, pendentes, dutos de dissolução, entre outras.

Caverna das Andorinhas (Ponta Grossa/PR)

A caverna das Andorinhas está localizada na região cárstica/espeleológica dos Campos Gerais do Paraná. É formada em arenitos quartzosos da Formação Furnas, se desenvolvendo na unidade média da formação, porém nas porções mais profundas exhibe conglomerados da unidade inferior.

Tem extensão total de 140 metros e desnível de 65 metros. Sua gênese gera discussões, pois a caverna assemelha-se a uma fuma (feição semelhante à dolinas de abatimento) inclinada, com perfil da galeria em forma de arco, estando condicionada por uma falha inclinada de direção NW-SE. A caverna possui dois cursos hídricos perenes formados por nascentes situadas em seu entorno imediato. Na sua porção mais profunda há um pequeno lago correspondente ao nível freático exposto, sendo considerado um local de recarga do Aquífero Furnas (figura 3.2c).

Em relação aos elementos da geodiversidade, a caverna das Andorinhas possui diversas feições relevantes para a compreensão de processos de carste em rochas siliciclásticas, tais como pontos com presença de fantomização/arenização da rocha, dutos de dissolução, cúpulas de dissolução, painéis, depósitos clásticos, anastomoses, além de incrustações de óxido de ferro e brechas de falha associadas ao marcante processo de falhamento observado no local. Possui expressivo conjunto de espeleotemas de dimensões centimétricas, compostos por opala amorfa, caulinita e óxidos de ferro (PONTES, 2018). Os espeleotemas são feições da geodiversidade de destaque na Formação Furnas, uma vez que podem ajudar a compreender os mecanismos que atuam na gênese e evolução dos ambientes subterrâneos (MASSUQUETO et al., 2017).

Caverna da Chaminé (Ponta Grossa/PR)

A Caverna da Chaminé também se desenvolve nos arenitos da Formação Furnas, próximo da transição entre a Unidade Inferior e a Unidade Média. De acordo com Pontes e Melo (2011) essa transição é observada no interior da caverna pela presença de níveis de arenito conglomerático, característicos da Unidade Inferior e níveis silto-argilosos e icnofósseis, típicos da Unidade Média. A cavidade situa-se na margem direita do *canyon* do Rio São Jorge, classificado como um Sítio Geológico e Paleontológico do Brasil (SIGEP) conforme trabalho de Massuqueto et al. (2009).

A caverna possui 307 metros de desenvolvimento linear e 35 metros de desnível, com trechos predominantemente horizontais, semi-verticais e verticais (figura 3.2d). Há dois pequenos filetes de água em apenas um dos compartimentos da caverna, formados pela infiltração de águas superficiais, e mesmo sem curso hídrico em seu interior, a cavidade apresenta alta umidade. Trata-se de uma caverna que apresenta feições geológicas bem preservadas, tais como características estratigráficas e estruturas sedimentares, sendo um bom local para observar a ocorrência de significativo processo de dissolução do arenito (PONTES e MELO, 2011).

Há um número marcante de espeleotemas ao longo de toda a cavidade, sendo um dos primeiros locais a serem descritos esse tipo de feição na região dos Campos Gerais. Outras feições da geodiversidade também encontradas no local são as panelas (marmitas) formadas a partir de processo de gotejamento, rocha fantomizada/arenizada, anastomose, duto de dissolução e incrustação (GUPE, 2017).

Gruta da Piedade (Caeté/MG)

Localizada na Serra da Piedade, a gruta de nome homônimo apresenta projeção horizontal de 365 metros e desnível de 39 metros (figura 3.2e). Considerando o litotipo ao qual está inserida (rochas ferríferas) é uma caverna de grandes dimensões, considerada como a segunda maior caverna do Brasil em minério de Ferro. Calux (2013) salienta que a Gruta da Piedade se desenvolveu em alta vertente, na porção norte da Serra da Piedade, em rampa formada por depósito de tálus com blocos de grandes proporções basculados e parcialmente recobertos por couraça ferruginosa.

Em relação às feições hidrológicas, há um canal de drenagem intermitente e processos de infiltração, percolação e gotejamento, especialmente em períodos de elevado índice pluviométrico. Os aspectos de interesse geológico são marcados pela presença de espeleotemas variados, alvéolos, dutos, incrustação e depósitos clásticos (CALUX, 2013). Além disso, os pontões estruturais, patamares e estruturas geológicas (a exemplo das dobras) também são registrados na caverna, sendo que Pereira (2012) também destaca a existência de pendentes, cúpulas e panelas.

Caverna do Triângulo (Caeté/MG)

Também situada na porção norte da Serra da Piedade, a caverna do Triângulo possui projeção horizontal de 103 metros e desnível de 10 metros (figura 3.2f). A caverna se desenvolveu em uma quebra no relevo, uma ruptura escarpada de 1,5 a 3 metros de altura em forma de anfiteatro, relacionada à cobertura de canga irregular e contínua (CALUX, 2013). O referido autor também acrescenta que esta cavidade apresenta inúmeras fraturas atectônicas, descontínuas e irregulares.

Em relação à presença de água, há canais intermitentes, responsáveis pela erosão da crosta ferruginosa que recobre sedimentos do piso da caverna e gotejamentos do teto, formados em períodos de chuvas.

Cúpulas de dissolução, sulcos verticais, canalículos, pilares, pendentes e espeleotemas estão entre algumas das feições de destaque encontradas nessa cavidade subterrânea (CALUX, 2013). Pereira (2012) destaca a presença de uma feição geológica específica nesta caverna, denominada de paleopiso. Estas feições indicam antigos níveis do piso da caverna que foram erodidos com o tempo, podem se tratar também de antigos leitos de rios, recebendo a denominação específica de paleoleitos. Contudo, o conceito amplo para referenciar estas duas situações é paleonível, sendo mais indicado o uso deste termo.

Sistema de Cavernas da Água Corrente (Florianópolis/SC)

Situada na localidade de Saco Grande, o Sistema de Cavernas da Água Corrente é um complexo de condutos labirínticos e com sobreposição de níveis, formados a partir de blocos de granito (MOCHIUTTI, 2017). Essa cavidade se destaca por suas dimensões, com projeção horizontal de 1.026 metros e 26 metros de desnível, sendo a segunda maior caverna do país nesta litologia (figura 3.2g). Destaca-se que o mapeamento dessa cavidade ainda está em fase de execução, podendo aumentar consideravelmente sua extensão total.

Mochiutti (2017) coloca que a organização dos blocos graníticos permite que haja diversas entradas na caverna. Porém, em níveis mais profundos ocorrem zonas totalmente afólicas. A morfologia da caverna é caracterizada como uma complexa rede de galerias, formada entre blocos de tamanho métrico a decamétrico, exibindo trechos labirínticos e com várias passagens em diferentes níveis sobrepostos. A

cavidade é drenada pelo córrego da Água Corrente e apresenta passagens com tetos baixos e quebra-corpos, como também salões amplos e desníveis pontuais que ultrapassam 10 metros.

Entre as feições da geodiversidade desta cavidade destacam-se os espeleotemas milimétricos a centimétricos, depósitos clásticos, caneluras de formação superficial em tetos e paredes da caverna, alvéolos (*tafoni*) e estruturas geológicas (contato geológico Granito Ilha/dique de aplito, bolsão pegmatítico, enclaves e juntas/fraturas).

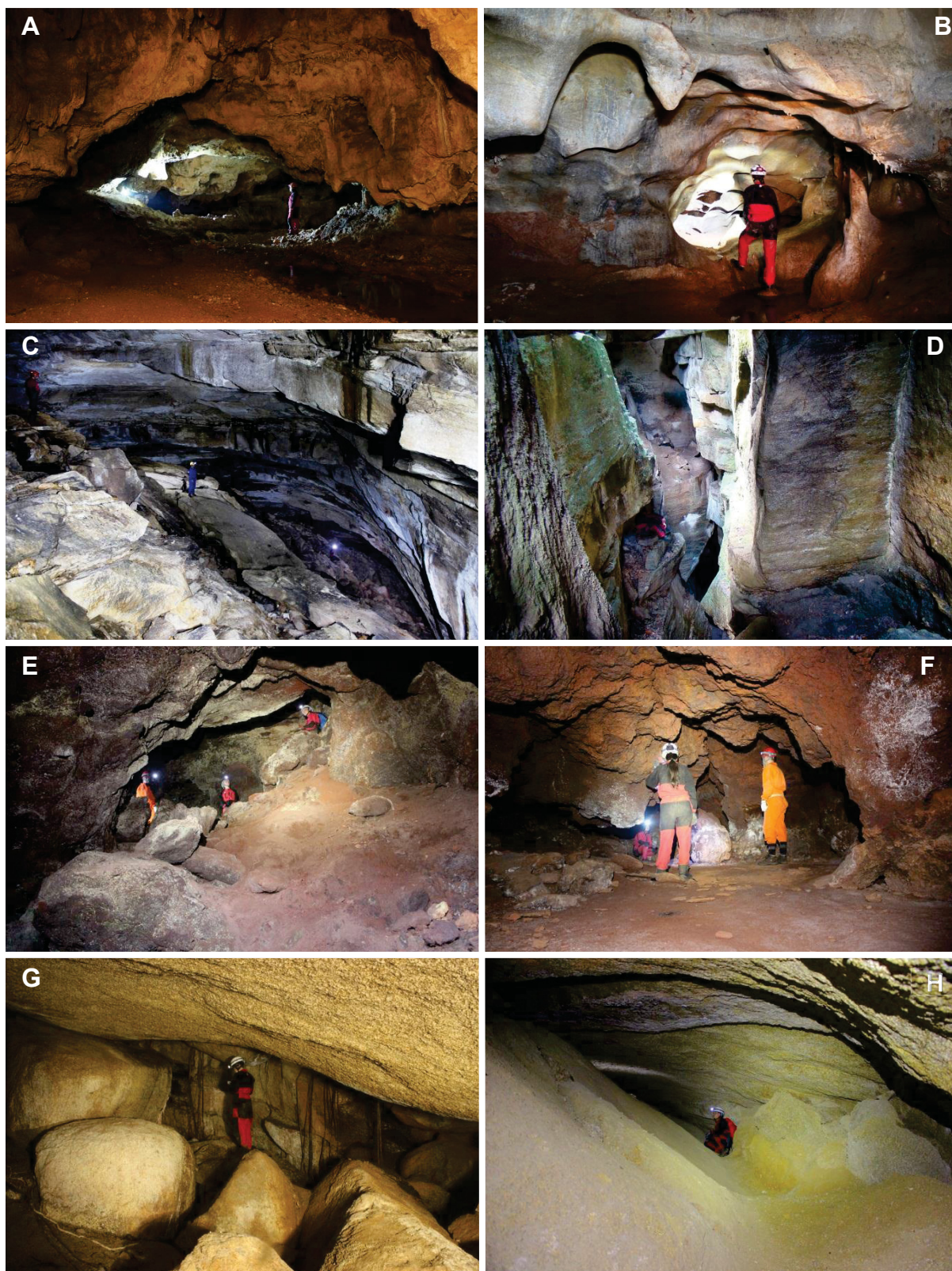
Gruta do Saco Grande (Florianópolis/SC)

Esta cavidade situa-se a poucos metros do Sistema de Cavernas da Água Corrente, e possui 530 metros de projeção horizontal, segundo dados do Cadastro Nacional de Cavernas – CNC, da Sociedade Brasileira de Espeleologia – SBE (figura 3.2h).

A gruta do Saco Grande tem sua espeleogênese como típica caverna formada entre blocos rolados, com trechos desenvolvidos em rocha em *in situ*. Uma antiga estrada separa esta gruta do Sistema de Cavernas da Água Corrente, considerando que no passado estas cavernas eram conectadas, formando um grande sistema subterrâneo.

No interior da cavidade nota-se a presença de pequeno curso hídrico, que ocupa porções superiores da caverna em períodos de alto índice pluviométrico. Entre as feições geológicas de destaque estão os espeleotemas, principalmente do tipo corais e estalactíticos, depósitos clásticos e estruturas geológicas como fraturas, intemperismo por deslocamento, enclaves e contato geológico entre o Granito Ilha/dique de aplito.

FIGURAS 3.2 - A) GRUTA OLHOS D'ÁGUA; B) GRUTA DE PINHEIRO SECO; C) CAVERNA DAS ANDORINHAS; D) CAVERNA DA CHAMINÉ; E) GRUTA DA PIEDADE; F) CAVERNA DO TRIÂNGULO; G) SISTEMA DE CAVERNAS DA ÁGUA CORRENTE E; H) GRUTA DO SACO GRANDE (FOTOS: HENRIQUE SIMÃO PONTES).



Métodos

Sendo a geodiversidade um entre os vários atributos a serem avaliados para determinar o grau de relevância espeleológica, esta pesquisa visa aplicar e avaliar este método de identificação, conforme o Decreto 6.640/2008 e sua Instrução Normativa MMA nº 2/2017, a partir das feições geológicas. Assim, a quantificação foi realizada seguindo os parâmetros previstos na lei.

Para isso, foram realizados levantamentos bibliográficos sobre os temas legislação espeleológica brasileira, patrimônio espeleológico, geodiversidade, inventário e quantificação do patrimônio geológico. Trabalhos de campo foram realizados nas oito cavidades, com a finalidade de identificar e inventariar as feições geológicas que ocorrem nos quatro litotipos e comparar os aspectos físicos de cada ambiente.

A análise dos anexos I, II, III e IV da Instrução Normativa MMA nº 2/2017 foi realizada para a aplicação do método de identificação da relevância, com foco restrito sobre as feições geológicas dos quatro contextos litológicos escolhidos, a fim de identificar as alíneas que abordam especificamente estas geoformas.

Os atributos e respectivos conceitos a serem considerados para fim de classificação do grau de relevância máximo das cavidades naturais subterrâneas, com base no Anexo I na instrução normativa, são apresentados no quadro 3.1.

Já os atributos da geodiversidade (estruturas geológicas de interesse científico, diversidade de depósitos químicos, configuração dos espeleotemas, sedimentação clástica ou química e registros paleontológicos) considerados para dar o grau de relevância alta, média e baixa, são quantificados a partir da proposta presente no Anexo II da Instrução Normativa MMA Nº 2/2017, conforme mostra a tabela 3.1. A quantificação seguiu os parâmetros de avaliação, peso e contribuição (em porcentagem), realizando cálculos específicos para chegar ao resultado do grau de relevância.

Ressalta-se que para a análise dos atributos a serem considerados na classificação do grau de relevância sob enfoque local, em relação ao de interesse científico, o atributo “localidade tipo”, presente na tabela original da instrução normativa, foi retirado, uma vez que representa “uma caverna citada como local geográfico de onde foram coletados os exemplares tipo utilizados na descrição de determinada espécie ou táxon superior”. Ou seja, esse é um atributo de ordem biológica, o qual não foi considerado nessa pesquisa.

QUADRO 3.1 - ATRIBUTOS E RESPECTIVOS CONCEITOS A SEREM CONSIDERADOS PARA FIM DE CLASSIFICAÇÃO DO GRAU DE RELEVÂNCIA MÁXIMO, COM BASE NAS FEIÇÕES GEOLÓGICAS.

Atributo	Conceito	Variável
Gênese única ou rara	Cavidade que, no universo de seu entorno (escala local ou regional) e litologia apresente algum diferencial, com relação ao seu processo de formação e dinâmica evolutiva.	Presença () Ausência ()
Morfologia única	Cavidade que, no universo de seu entorno (escala local ou regional) e sua litologia apresente algum diferencial em relação à forma, organização espacial das galerias e/ou feições morfológicas internas (espeleogens), considerando o todo ou parte da cavidade.	Presença () Ausência ()
Espeleotemas únicos	Cavidade que apresente espeleotemas, individualmente ou em conjunto, pouco comuns ou excepcionais, em tamanho, mineralogia, tipologia, beleza ou profusão, especialmente se considerados frente à litologia dominante da cavidade ou sob os enfoques territoriais considerados (local ou regional).	Presença () Ausência ()

FONTE: Adaptado de MMA (2017).

TABELA 3.1 - ATRIBUTOS DA GEODIVERSIDADE A SEREM CONSIDERADOS NA CLASSIFICAÇÃO DO GRAU DE RELEVÂNCIA SOB O ENFOQUE LOCAL.

Atributos relacionados à sedimentação química e clástica	Parâmetros para avaliação	Peso	Contribuição (%)	Resultado parcial (peso x contribuição)	Resultado final (Σ dos resultados parciais)	Resultado minimamente significativo para ser considerado na classificação do grau de relevância
Diversidade de depósitos químicos	Muitos tipos de espeleotemas e processos de deposição	3	35	0		90
	Muitos tipos de espeleotemas ou processos de deposição	2				
	Poucos tipos ou processos	1				
	Ausência de tipos e processos	0				
Configuração dos espeleotemas	Notável	3	35	0		90
	Pouco significativo	0				
Sedimentação clástica ou química com valor científico	Presença de valor científico	3	30	0		90
	Presença sem valor científico ou ausência	0				
Atributos relacionados a interesse científico	Parâmetros para avaliação	Peso	Contribuição (%)	Resultado parcial (peso x contribuição)	Resultado final (Σ dos resultados parciais)	Resultado minimamente significativo para ser considerado na classificação do grau de relevância
Presença de registros paleontológicos	Presença	3	30	0		90
	Ausência	0				
Presença de estruturas geológicas de interesse científico	Presença	3	30	0		90
	Ausência	0				

FONTE: Adaptado de MMA (2017).

Aplicação do método de quantificação em cavernas desenvolvidas em diferentes litotipos

Dentre os atributos das feições geológicas avaliados, os únicos que concedem o grau de relevância são a presença de espeleotemas únicos e feições morfológicas internas raras (item presente dentro do atributo morfologia única). Os espeleotemas devem ser considerados em casos onde, individualmente ou em conjunto, sejam pouco comuns ou excepcionais, em tamanho, mineralogia, tipologia, beleza ou profusão, especialmente se considerados frente à litologia dominante da cavidade ou sob os enfoques territoriais considerados. As feições morfológicas internas raras incluem os espeleogens, considerando o todo ou parte da cavidade, ou seja, formas erosivas singulares. Gênese única ou rara é um atributo que pode ser incluído na situação acima mencionada, pois certas feições geológicas indicam determinados processos genéticos, porém o que está em análise é a raridade da espeleogênese e não a feição da geodiversidade propriamente dita.

O Art. 4º da INMMA nº2/2017 traz que a definição da relevância deve considerar os atributos, grupos de atributos, peso e contribuição do elemento avaliado, segundo os enfoques local e regional, destacando ainda, em seus parágrafos segundo e primeiro:

§ 1º O resultado final para cada grupo de atributos será obtido pela somatória do resultado parcial de cada atributo avaliado, que por sua vez será resultado da multiplicação dos valores do peso e da contribuição de cada atributo.

§ 2º Somente os resultados finais que sejam iguais ou superiores a 30% do valor potencial máximo para cada grupo de atributos serão considerados minimamente significativos para fins de avaliação do grau de relevância da cavidade natural subterrânea (BRASIL, 2008 p.2).

Nesse sentido, as tabelas 3.2, 3.3, 3.4, 3.5, 3.6, 3.7, 3.8, e 3.9 apresentam a quantificação das feições geológicas de cada uma das cavidades, que seguiu os métodos propostos na Instrução Normativa MMA nº2/2017.

O resultado referente à diversidade de depósitos químicos é representado pela cor azul escuro; configuração dos espeleotemas está destacada na cor azul; sedimentação clástica ou química com valor científico aparece na cor azul claro;

verde representa a presença de registos paleontológicos e verde-claro retrata a presença de estruturas geológicas de interesse científico.

TABELA 3.2 - QUANTIFICAÇÃO DOS ATRIBUTOS DE FEIÇÕES GEOLÓGICAS DA GRUTA OLHOS D'ÁGUA.

Gruta Olhos d'Água	Atributos relacionados à sedimentação química e clástica			
	Peso	Contribuição (%)	Resultado parcial (peso x contribuição)	Resultado final (Σ dos resultados parciais)
	2	35	70	160
	0	35	0	
3	30	90		
Atributos relacionados a interesse científico				
0	30	0	90	
3	30	90		

TABELA 3.3 - QUANTIFICAÇÃO DOS ATRIBUTOS DE FEIÇÕES GEOLÓGICAS DA GRUTA DE PINHEIRO SECO.

Gruta de Pinheiro Seco	Atributos relacionados à sedimentação química e clástica			
	Peso	Contribuição (%)	Resultado parcial (peso x contribuição)	Resultado final (Σ dos resultados parciais)
	2	35	70	160
	0	35	0	
3	30	90		
Atributos relacionados a interesse científico				
0	30	0	90	
3	30	90		

TABELA 3.4 - QUANTIFICAÇÃO DOS ATRIBUTOS DE FEIÇÕES GEOLÓGICAS DA CAVERNA DAS ANDORINHAS.

Caverna das Andorinhas	Atributos relacionados à sedimentação química e clástica			
	Peso	Contribuição (%)	Resultado parcial (peso x contribuição)	Resultado final (Σ dos resultados parciais)
	1	35	35	140
	3	35	105	
0	30	0		
Atributos relacionados a interesse científico				
3	30	90	180	
3	30	90		

TABELA 3.5 - QUANTIFICAÇÃO DOS ATRIBUTOS DE FEIÇÕES GEOLÓGICAS DA CAVERNA DA CHAMINÉ.

Caverna da Chaminé	Atributos relacionados à sedimentação química e clástica			
	Peso	Contribuição (%)	Resultado parcial (peso x contribuição)	Resultado final (Σ dos resultados parciais)
	1	35	35	140
	3	35	105	
0	30	0		
Atributos relacionados a interesse científico				
3	30	90	90	
0	30	0		

TABELA 3.6 - QUANTIFICAÇÃO DOS ATRIBUTOS DE FEIÇÕES GEOLÓGICAS DA GRUTA DA PIEDADE.

Gruta da Piedade	Atributos relacionados à sedimentação química e clástica			
	Peso	Contribuição (%)	Resultado parcial (peso x contribuição)	Resultado final (Σ dos resultados parciais)
	1	35	35	230
	3	35	105	
3	30	90		
Atributos relacionados a interesse científico				
0	30	0	90	
3	30	90		

TABELA 3.7 - QUANTIFICAÇÃO DOS ATRIBUTOS DE FEIÇÕES GEOLÓGICAS DA CAVERNA DO TRIÂNGULO.

Caverna do Triângulo	Atributos relacionados à sedimentação química e clástica			
	Peso	Contribuição (%)	Resultado parcial (peso x contribuição)	Resultado final (Σ dos resultados parciais)
	1	35	35	35
	0	35	0	
0	30	0		
Atributos relacionados a interesse científico				
0	30	0	90	
3	30	90		

TABELA 3.8 - QUANTIFICAÇÃO DOS ATRIBUTOS DE FEIÇÕES GEOLÓGICAS DO SISTEMA DE CAVERNAS DA ÁGUA CORRENTE.

Sistema de Cavernas da Água Corrente	Atributos relacionados à sedimentação química e clástica			
	Peso	Contribuição (%)	Resultado parcial (peso x contribuição)	Resultado final (Σ dos resultados parciais)
	1	35	35	230
	3	35	105	
3	30	90		
Atributos relacionados a interesse científico				
0	30	0	90	
3	30	90		

TABELA 3.9 - QUANTIFICAÇÃO DOS ATRIBUTOS DE FEIÇÕES GEOLÓGICAS DA GRUTA DO SACO GRANDE.

Gruta do Saco Grande	Atributos relacionados à sedimentação química e clástica			
	Peso	Contribuição (%)	Resultado parcial (peso x contribuição)	Resultado final (Σ dos resultados parciais)
	1	35	35	125
	0	35	0	
3	30	90		
Atributos relacionados a interesse científico				
0	30	0	90	
3	30	90		

Considerações sobre o método de quantificação

Das oito cavidades subterrâneas avaliadas, apenas duas foram classificadas como de máxima relevância de acordo com a INMMA nº2/2017, sendo a Caverna das Andorinhas e a Gruta da Piedade. Ambas as cavernas possuem o atributo morfologia única, porém apenas com relação direta a forma e organização espacial das galerias e não com as feições geológicas e demais aspectos da geodiversidade.

A Caverna das Andorinhas também é classificada como de máxima relevância pela gênese única ou rara, por apresentar um diferencial com relação ao seu processo de formação e dinâmica evolutiva, em escala regional. Porém, estas duas cavidades também foram quantificadas sobre os enfoques locais e regionais, para identificar a relevância entre alta, média ou baixa a partir das feições.

O resultado minimamente significativo para cada grupo de atributo a ser considerado na classificação do grau de relevância deve ser igual ou superior ao valor 90 (30% do valor potencial máximo para cada grupo de atributos). Na quantificação das feições geológicas das oito cavidades, a Gruta do Triângulo atingiu o valor mínimo apenas no grupo de atributos relacionados a interesse científico, as demais cavernas atingiram pontuação suficiente nos dois grupos de atributos.

A subjetividade encontrada em alguns parâmetros de avaliação e até mesmo inconsistências no agrupamento de atributos, faz com que não seja possível chegar ao valor minimamente considerado. Em relação ao interesse científico, três atributos devem ser avaliados de acordo com a INMMA nº2/2017. Entretanto, o atributo localidade tipo se refere a aspectos biológicos e possui a maior contribuição em porcentagem (40%). Mesmo não interferindo no resultado final e no valor mínimo de 30% do potencial máximo para cada grupo de atributos, atributos geológicos e biológicos não deveriam constar num mesmo grupo de avaliação, principalmente pelo fato dos valores e parâmetros adotados serem diferentes.

Em relação ao parâmetro “muitos processos de deposição”, no que se refere ao atributo “diversidade de depósitos químicos”, também há dúvidas e subjetividades. Definir e quantificar os processos de deposição química de cavernas nem sempre é fácil, demandando estudos aprofundados e em escala de detalhe elevada.

Outra subjetividade identificada é o parâmetro “maturidade” para o atributo “configuração do espeleotemas”. A dúvida é como saber qual é a maturidade de um espeleotema. Pela forma ou tamanho? E em relação ao litotipo associado, como chegar a esse resultado? Se a maturidade for relacionada com o tamanho das geoformas, deve haver um parâmetro, que pode variar quando se trata de diferentes contextos geológicos. Essas são questões que por não estarem especificadas, podem influenciar em um resultado negativo da classificação final da relevância.

Classificação do grau de relevância das cavernas

A classificação de importância relativa aos atributos de cada cavidade natural subterrânea, avaliados sob os enfoques local e regional, está presente na tabela 3.10.

Para quantificar as feições geológicas de cavernas que não são classificadas como grau máximo de relevância, baseou-se no Anexo IV da instrução normativa, o qual traz exclusivamente a chave para classificação de cavidades naturais subterrâneas (quadro 3.2).

TABELA 3.10 - CLASSIFICAÇÃO DA IMPORTÂNCIA RELATIVA AOS ATRIBUTOS DA CAVIDADE NATURAL SUBTERRÂNEA, AVALIADOS SOB OS ENFOQUES LOCAL E REGIONAL.

Importância	Número de grupos de atributos considerados minimamente significativos para a classificação do grau de relevância	
	Enfoque local	Enfoque regional
Acentuada	4 a 8	2 a 4
Significativa	1 a 3	1
Baixa	0	0

FONTE: Adaptado de MMA (2017).

QUADRO 3.2 - CHAVE DE CLASSIFICAÇÃO DO GRAU DE RELEVÂNCIA DE CAVIDADES NATURAIS SUBTERRÂNEAS.

ENFOQUE REGIONAL	Importância acentuada →	ENFOQUE LOCAL →	Importância acentuada →	ALTA RELEVÂNCIA
	Importância significativa →	ENFOQUE LOCAL →	Importância acentuada →	ALTA RELEVÂNCIA
			Importância significativa →	MÉDIA RELEVÂNCIA
	Importância baixa →	ENFOQUE LOCAL →	Importância acentuada →	MÉDIA RELEVÂNCIA
			Importância significativa →	BAIXA RELEVÂNCIA
			Importância baixa →	BAIXA RELEVÂNCIA

FONTE: Adaptado de MMA (2017).

De acordo com o quadro 3.2, a partir da quantificação dos atributos, conclui-se que não há grupos de atributos considerados minimamente significativos para a classificação do grau de relevância, uma vez que sob o enfoque local, as cavernas analisadas tiveram apenas dois grupos avaliados, tendo como resultado a importância significativa.

A exigência de grupos de atributos mínimos para classificar o grau de relevância de uma determinada caverna, através dos enfoques locais e regionais,

faz com que os aspectos da geodiversidade subterrânea sempre sejam minimizados na avaliação final (quadro 3.3). Isso ocorre devido aos aspectos naturais do meio abiótico serem reduzidos à apenas dois grupos de atributos na fase de avaliação sobre o enfoque local.

QUADRO 3.3 - CLASSIFICAÇÃO DA RELEVÂNCIA ESPELEOLÓGICA DAS CAVIDADES NATURAIS SUBTERRÂNEAS FOCO DESSA PESQUISA.

Cavidades subterrâneas analisadas	Grupos de atributos considerados minimamente significativos	Importância no enfoque regional	Importância no enfoque local	Relevância	Atributo de Máxima relevância identificado
Gruta Olhos d'Água	2	Baixa	Significativa	Baixa	Nenhum
Gruta de Pinheiro Seco	2	Baixa	Significativa	Baixa	Nenhum
Caverna das Andorinhas	2	Baixa	Significativa	Baixa	Feições morfológicas internas raras (um item presente dentro do atributo morfologia única) e gênese única ou rara
Caverna da Chaminé	2	Baixa	Significativa	Baixa	Nenhum
Gruta da Piedade	2	Baixa	Significativa	Baixa	Feições morfológicas internas raras (um item presente dentro do atributo morfologia única)
Caverna do Triângulo	1	Baixa	Significativa	Baixa	Nenhum
Sistema de Cavernas da Água Corrente	2	Baixa	Significativa	Baixa	Nenhum
Gruta do Saco Grande	2	Baixa	Significativa	Baixa	Nenhum

Como não há atributos diretamente associados às feições geológicas, para serem avaliados no enfoque regional, conforme a chave de classificação, a importância no enfoque local é classificada como significativa. Assim, considerando apenas as feições, uma cavidade natural subterrânea que não apresente espeleotemas únicos e/ou feições morfológicas internas raras, ou seja, não for enquadrada como de máxima relevância, mesmo quando desenvolvida em diferentes litotipos, automaticamente apresentará baixa ou média relevância.

Este dado será reafirmado principalmente nos casos onde a caverna não apresente dados significativos em relação à espeleometria e elementos hidrológicos, dados comuns de serem registrados em cavernas por todo o Brasil. No entanto, em relação aos aspectos espeleométricos, a normativa considera que a cavidade só é classificada como de máxima relevância quando a extensão (horizontal ou vertical), área ou volume sejam superiores a oito vezes a mediana relativa ao enfoque local ou regional. Este parâmetro não possui razoabilidade, pois não explica o motivo do uso de tais valores para definir o que são dimensões notáveis. No que se refere aos elementos hidrológicos, dois atributos são avaliados de acordo com a legislação, drenagem subterrânea e lago. Mas baseia-se apenas no apontamento de presença ou ausência destes elementos, sem considerar casos de cavidades situadas em regiões de clima semiárido.

Estes dois tópicos da INMMA nº/2017 não fazem parte do escopo desta pesquisa, mas assim como outros pontos da referida legislação, merecem análises e reflexões críticas a respeito.

Considerações finais

Esse trabalho avaliou apenas os atributos relacionados às feições geológicas para determinar a relevância espeleológica com base na Instrução Normativa MMA nº/2017, comparando cavernas desenvolvidas em diferentes tipos de rochas. Desses atributos, apenas a presença de espeleotemas únicos, morfologia única (especificamente as feições morfológicas internas raras) e/ou gênese única ou rara configuram o grau de relevância máxima, classificação que não permite a supressão da cavidade subterrânea. Os demais atributos avaliados podem resultar na relevância alta, média ou baixa para a caverna.

Porém, o presente estudo identificou que, analisando apenas as feições geológicas, se a caverna não apresentar máxima relevância automaticamente, ela será classificada como de baixa relevância. São apenas dois grupos de atributos de geoformas considerados na lei pela análise sob o enfoque local e nenhum sob o enfoque regional. Devido a estes fatores, ao aplicar os resultados na chave de classificação, automaticamente a cavidade é considerada como de baixa relevância no enfoque regional e de importância significativa no enfoque local, impossibilitando que a caverna possa ser classificada como de média ou alta relevância.

O grupo de atributo sobre interesse científico inclui um atributo que não está relacionado com aspectos da geodiversidade e que apresenta a maior contribuição. O erro neste caso é considerar parâmetros biológicos e geológicos em conjunto e inferir uma contribuição maior justamente ao aspecto biológico. Situações como essa corroboram para um cenário de desfavorecimento da geodiversidade em relação à biodiversidade, comum de ser observada nas mais diversas áreas das ciências naturais, como também nas políticas públicas e ações de gestão e conservação da natureza.

Quando na avaliação restrita apenas das geoformas, as oito cavidades escolhidas nesse trabalho foram classificadas como de baixa relevância, pois nenhuma atingiu o resultado minimamente significativo. No entanto, estas cavernas apresentam importantes elementos geológicos e não poderiam ser classificadas como de baixa relevância, quando na análise destes atributos isoladamente.

Se uma caverna não for classificada como de alta ou máxima relevância a partir dos outros atributos (biológicos, culturais, espeleométricos), que não os relacionados às feições geológicas, ela terá uma categorização baixa. Esta situação mostra um grave problema, pois o método de quantificação não pode atribuir relevância de valor elevado apenas de forma dependente de outros grupos. Neste caso, as feições geológicas só serão contabilizadas para a proteção de uma cavidade se somadas a outros grupos de atributos de outras áreas temáticas.

O resultado da presente pesquisa revelou inconsistências na IN MMA nº 2/2017 para a avaliação dos aspectos da geodiversidade de cavernas. Mesmo após a recente revisão desta legislação, ainda há erros e subjetividades que necessitam ser resolvidas. Dessa forma, considera-se importante rever os grupos de atributos e parâmetros de avaliação da normativa, a fim de buscar métodos menos subjetivos e mais precisos, em busca de equidade dos atributos a serem avaliados, sobretudo os relacionados aos aspectos da geodiversidade subterrânea.

Referências

ASSINE, M. L. 1996. **Aspectos da estratigrafia das sequências pré-carboníferas da Bacia do Paraná no Brasil**. Tese de doutorado. Programa de Pós- Graduação em Geologia Sedimentar, São Paulo. 207p.

ASSINE, M. L. 1999. **Fácies, icnofósseis, paleocorrentes e sistemas deposicionais da Formação Furnas, no flanco sudeste da bacia do Paraná**. Revista Brasileira de Geociências, São Paulo, v. 29. p.357-370.

BORGHI L. 1993. **Caracterização e análise faciológicas da Formação Furnas (Prídoli Devoniano inferior) em afloramentos do bordo leste da bacia sedimentar do Paraná, Estado do Paraná, Brasil**. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 227p.

BRASIL. 1988. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/ConstituicaoCompilado.htm. Acesso em: 11 de outubro de 2018.

BRASIL. 1990. **Decreto Federal Nº 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: 22 de outubro de 2018.

BRASIL. 2008. **Decreto nº 6640 de 7 de novembro de 2008**. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ Ato2007-010/2008/Decreto/D6640.htm. Acesso em: 19 de outubro de 2018.

CALTABELOTI, F.P. 2011. **Alojamento e deformação de plútons graníticos da extremidade nordeste da suíte intrusiva Cunhaporanga (Domínio Apiaí – Faixa Ribeira, PR)**. Dissertação (mestrado). Programa de Pós-Graduação em Geoquímica de Geotectônica. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. São Paulo. 98p.

CALUX, A.S. 2013. **Gênese e desenvolvimento de cavidades naturais subterrâneas em formação ferrífera no quadrilátero ferrífero, Minas Gerais**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Minas Gerais. 218p.

CANIE - Cadastro Nacional de Informações Espeleológicas. 2018. **Relatório Estatístico do CANIE.** Disponível em: <http://www.icmbio.gov.br/cecav/index.php?option=com_icmbio_canie&controller=relatorioestatistico&itemPesq=true>. Acesso em: 26 de novembro de 2020.

CONAMA - Conselho Nacional de Meio Ambiente. 2004. **Resolução CONAMA Nº 347, de 10 de setembro de 2004.** Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=452>>. Acesso em: 22 de outubro de 2018.

CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. 2014. Download de mapas em PDF. **Mapa geológico do estado de Minas Gerais - 1:1.00.000.** Disponível em: <geobank.cprm.gov.br>.

CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. 2014. Download de mapas em PDF. **Mapa geológico do estado de Santa Catarina - 1:500.000.** Disponível em: <geobank.cprm.gov.br>.

FERRAZ, P.C. 2013. **Cavidades: conservação ou preservação?** Revista Direito Ambiental e sociedade, v. 3, n. 1, 2013. p.173-196.

GANEM, R. S. 2009. **As cavidades naturais subterrâneas e o decreto nº 6.640/2008.** Consultoria Legislativa. Câmara dos Deputados. Brasília/DF. 33p.

GUPE - GRUPO UNIVERSITÁRIO DE PESQUISAS ESPELEOLÓGICAS. 2017. **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). 22p.: il. + anexos.

MASSUQUETO, L. P.; MELO, M. S.; GUIMARÃES, G. B.; LOPES, M. C. 2009. **Cachoeira de Santa Bárbara no Rio São Jorge, PR - Bela paisagem realça importante contato do embasamento com rochas glaciogênicas siluro-ordovicianas.** In: WINGE, M.; SCHOBENHAUS, C.; SOUZA, C.R.G.; FERNANDES, A.C.S.; BERBERT-BORN M.; QUEIROZ, E.T.; (Edit.) Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil. Disponível em: <<http://sigep.cprm.gov.br/sitio047/sitio047.pdf>>. Acesso em: 22 de abril de 2020.

MASSUQUETO, L.L. 2013. **Estudo do manejo turístico na gruta de Pinheiro Seco (PR): estratégias para a geoconservação do patrimônio espeleológico.** Dissertação (mestrado). Programa de Pós-Graduação em Geografia – Mestrado em Gestão do Território. Universidade Estadual de Ponta Grossa. 118p.

MASSUQUETO, L.L.; FERNANDES, L.A.; PONTES, H.S. 2017. **Inventário da geodiversidade da caverna das Andorinhas, município de Ponta Grossa, Campos Gerais do Paraná.** Anais do X Simpósio Sul -Brasileiro de Geologia, Curitiba, Paraná. Disponível em: <<http://ssbg2017anais.siteoficial.ws/ST2/ST201.pdf>>. Acesso em: 22 de abril de 2020.

MELO, M. S.; GIANNINI, P. C. F. 2007. **Sandstone dissolution landforms in the Furnas Formation, Southern Brazil.** Earth Surface Processes and Landforms, v. 32. p.2149- 2164.

MOCHIUTTI, N. F. B.; TOMAZZOLI, E. R. 2017. **Espeleotemas de uma caverna granítica na Ilha de Santa Catarina: uma análise preliminar.** In: RASTEIRO, M.A.; TEIXEIRA-SILVA, C.M.; LACERDA, S.G. (orgs.) 34º Congresso Brasileiro de Espeleologia. Ouro Preto. Anais... Campinas: SBE, 2017. p.327-333. Disponível em: http://www.cavernas.org.br/anais34cbe/34cbe_327-333.pdf. Acesso em: 22 de abril de 2020.

PEREIRA, M. C. 2012. **Aspectos genéticos e morfológicos das cavidades naturais da Serra da Piedade, Quadrilátero Ferrífero/MG.** Dissertação de mestrado Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Minas Gerais. 149p.

PONTES, H.S.; MELO, M.S. 2011. **Caverna da Chaminé, Ponta Grossa, PR, Brasil: potencial espeleológico, recursos hídricos subterrâneos e riscos geoambientais.** Sociedade Brasileira de Espeleologia – SBE. Campinas, SP. Espeleo-Tema. v.22, n.1. p.111-126.

PONTES, H. S.; BAGATIM, H. Q. 2012. **Estudo Espeleológico no Distrito de Abapã, município de Castro (PR).** Trabalho de exploração, prospecção e estudo espeleológico para licenciamento ambiental. 53p.

PONTES, H. S. 2018. **Patrimônio geológico cárstico em rochas areníticas e políticas públicas de geoconservação, com base em estudo de caso do município de Ponta Grossa (PR).** Relatório de qualificação de doutorado. Programa de Pós-graduação em Geologia da Universidade Federal do Paraná (UFPR).

SIGA JR., O; BASEI, M. A. S.; SATO, K.; PRAZERES FILHO, H. J.; CURY, L. F.; WEBER, W.; PASSARELLI, C. R.; HARARA, O. M.; REIS NETO, J. M. 2003. **U-Pb (zircon) ages of metavolcanic rocks from the Itaiacoca Group: tectonic implications.** Geologia-USP. Série Científica, v. 3, p.39-49.

SOUZA, A.P. 1990. **Mapa geológico na escala 1: 50.000 e esboço da evolução tectônica e sedimentar do Grupo Itaiacoca, nas folhas Barra do Chapéu e Ouro Verde - SP/PR.** Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. São Paulo. 200p.

SZABÓ, G. A. J.; ANDRADE, F. R. D.; GUIMARÃES, G. B.; MOYA, F. A.; CARVALHO, F. M. S. 2004. **Genesis of talc deposits and the metamorphic history of the Itaiacoca Group metadolomites, southern Brazil.** In: International 46 Congress On Applied Mineralogy, 8. Águas de Lindóia. Proceedings... Águas de Lindóia: IMA, 2004. v. 1. p.759-761.

2.3. A speleological relevance assessment protocol based on the geodiversity of natural underground cavities in different lithotypes in Brazil

Laís Luana Massuqueto^{1,2,3}, Luiz Alberto Fernandes^{1,3}, Henrique Simão Pontes^{2,3,4}

¹ Programa de pós-graduação em Geologia da Universidade Federal do Paraná – UFPR

² Grupo Universitário de Pesquisas Espeleológicas – GUPE

³ Grupo de Pesquisa CNPq: Geoconservação e patrimônio geológico

⁴ Departamento de Geociências da Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG)

Abstract: An assessment protocol of speleological relevance for natural underground cavities in different Brazilian lithotypes is presented here based on geodiversity elements. The protocol, whose development is based on geoconservation guidelines, aims to contribute to better national speleological legislation regarding determination of speleological relevance. For this purpose, four elements of geodiversity present in natural cavities are considered: their set of geological features (geoforms), their development patterns (shape), dimensions and hydrological elements. In order that the protocol can be applied in a judicious way, nine analytical parameters are conceptualized here with their weights and contributions numerically defined. The protocol should not, however, be seen as definitive, but a proposal subject to review and update.

Keywords: caves; inventory; quantitative assessment; geoconservation; speleological law.

Introduction

In the definition adopted by the International Union of Speleology (IUS) and most used internationally one (PILÓ and AULER, 2013), a cave consists of a natural opening in the rock below the surface of the terrain, large enough for human visitation. In Brazilian law, a cave corresponds to "any and all underground space accessible by humans, with or without an identified opening, popularly known as cave, grotto, hanging wall, burrow, abyss, pit or hole including the environment, mineral and water content, fauna, flora and rocky body where they are inserted, as long as formed by natural processes, regardless of their dimensions or type of embedding rock" (BRASIL, 2008).

According to Auler and Piló (2019), caves result from different processes acting on different lithotypes, with large morphological variability. The same authors point out that the cavities can be *primary*, when developed concurrently with the rocks in which they occur, or *secondary*, when subsequently generated, being classified according to their exogenous or endogenous forming agents.

In Brazil, 21,194 underground cavities are inventoried according to statistical

reports from the National Register of Speleological Information (*Cadastro Nacional de Informações Espeleológicas*) (CANIE, 2020) compiled by the National Cave Research and Conservation Center of the Chico Mendes Institute for Biodiversity Conservation (ICMBio). Of these, 98.9% were developed in carbonate (68.5%), ferriferous (19.5%), siliciclastic (9.9%) and granitic (1%) rocks.

In order to protect such speleological heritage, Decree 99.556/1990, the main Brazilian speleological legal framework, states that caves in Brazilian territory must be protected for purposes of technical-scientific studies and speleological, ethnic-cultural, touristic, recreational and educational activities (BRASIL, 1990).

Still regarding legislation, Decree 6.640 and its Normative Instruction 2/2017 (the latter into force after revocation of Normative Instruction 2/2009) substantially modified Decree 99.556/1990 by standardizing the use, suppression and conservation of Brazilian natural underground cavities according to their degree of speleological relevance (maximum, high, medium and low). Only caves of maximum relevance have their integrity protected by law. However, such a standardization is a main target of criticism by researchers and members of the speleological community as no underground cavity could be suppressed before its establishment.

In Brazil the federal government is responsible for the national assets based on concrete conservation measures while ensuring economic development conditions for cave-bearing regions, always with a view to environmental sustainability (GANEM, 2009). Thus, according to that author, establishing the legal status of an underground cavity as national property implies restrictions on property rights, the use of such environments requiring previous environmental licensing studies.

That said, if in theory Decree 6.640/2008 lists a series of characteristics and attributes to be taken into account for purposes of environmental licensing, in practice flaws and gaps are present in its normative regulations. As they address suppression of natural underground cavities of high, medium and low relevance, these legal devices should not present gaps or margins for subjectivity that would turn such sites irreversibly susceptible to negative impacts.

The speleological relevance of a site must be categorized based on several biological, ecological, geological, paleontological, hydrological, scenic, historical-cultural and socioeconomic aspects representative of their notoriety, uniqueness, expressiveness, representativeness and significance, which conveys ecological,

scientific and cultural values to be preserved or compensated elements (BERBERT-BORN, 2010).

However, the assessment protocol enshrined in the Brazilian legislation underestimates geodiversity regarding the relevance of caves in speleological environmental licensing. Lithological variety is responsible for a large underground geodiversity, which includes common or rare, larger or smaller features formed by distinct and specific genetic processes in response to rock differentiation.

Since the Brazilian speleological legislation itself provides for constant updates of the assessment methods that are applied to speleological relevance, an assessment protocol is presented here including geoconservation guidelines for natural underground cavities in different lithotypes. The protocol, which is based on the assessment of geodiversity, aims to improving the national speleological legislation. Four aspects of underground geodiversity are considered in determining their relevance, namely development pattern (shape) and dimensions of the cavities, their geological features (geoforms) and hydrogeological factors.

Protocol

Based on geodiversity inventory and assessment methods proposed for natural cavities and surface environments, the present study starts with a critical analysis and possible adaptations of models such as those presented by García-Cortés *et al.* (2000), Dias (2003), Gray (2004; 2005), Brilha (2005), Pereira (2006), White and Mitchell (2006), Harley *et al.* (2011), García-Cortés *et al.* (2012; 2014), Lobo and Boggiani, (2013), Oliveira-Galvão and Costa Neto (2013), Hjort *et al.* (2015), Brilha (2016), GUPE (2017) and Pontes *et al.* (2018). The protocol also employs, in a critical and reconstructive manner, the standard for assessing the speleological relevance of caves in Appendix II of Normative Instruction 02, of 08/30/2017 from the Brazilian Ministry of the Environment (*Ministério do Meio Ambiente*) (MMA, 2017).

According to the nomenclature used in the speleological relevance assessment protocol presented here, *aspects* are the components of the underground geodiversity, which include development pattern (shape) and dimensions, geological features and hydrological elements of cavities. *Components* are aspect elements such as the geological features (ducts, alveoli, speleothems and already mentioned ones) and hydrological elements (water courses, drips,

accumulations); *attributes* correspond to the particularities of each component (scientific value, dimensions, rarity, etc.) chosen for assessment; *parameters* are standards and criteria by which attributes are assessed (high, medium, low, common, unusual, etc.); *weights* are numerical values ranging from 0 to 4 points assigned to the parameters. Finally, *contribution* refers to the percent contribution of each weight to the final relevance value, which only applies to geodiversity aspects in the final relevance score of the cavity.

The protocol presented here was developed based on the study of caves in carbonate, siliciclastic, granitic, and ferriferous rocks. Of the Brazilian underground cavities, 98.9% are in rocks of these four types. The studied caves correspond, therefore, to a relevant geodiversity sampling of the national speleological context.

Characterization forms for the geological features in the studied caves were submitted to assessment and contribution by speleologists from all over Brazil, including 36 researchers, 27 speleology groups and 22 speleological licensing companies. The knowledge contributed by the national speleological community supports the selection of the aspects and components of underground geodiversity that are relevant to the assessment of speleological relevance of Brazilian natural cavities.

Results and discussion

Aspects of underground geodiversity and the attributes by which their speleological relevance is assessed

Natural underground cavities show peculiarities that are typical of the different lithotypes in which they develop. For this reason, four aspects are considered for determining the degree of speleological relevance: the geological features (geoforms) and shape (development pattern) of the cavity, their dimensions and hydrological elements. These aspects are described below, together with their assessment attributes and procedures.

Geological features

Identification and detailed characterization of underground geological features found in caves makes permits to derive important information about these environments, mainly speleogenesis, hydrogeological dynamics, evolution of the

landscapes in which cavities develop, and stratigraphic aspects of the surrounding rocks.

In order to determine the speleological relevance of an underground cavity, it is essential that a previous inventory of its geological features be carried out. This includes detailed surveying not only of galleries, halls and passages, but also of small corners and recesses as these protected areas may host unique features.

From previous information, bibliographic research and responses to semi-open qualification forms sent to speleologists, 23 types of geological features were identified in Brazilian caves. However, after further field research in four study areas, the total list of feature types has been expanded.

The inventoried features correspond to 30 components distributed among four groups: speleothems, speleogens/weathering features, geological structures and clastic deposits. Features are classified as primary or secondary according to their temporal relations with the rock substrate. Geological structures are mostly primary i.e., generated concurrently with the host rock, including stratigraphy, contacts, ichnofossils and fossils (which may also be of secondary origin). Speleothems, different types of speleogens, tectonic structures and slickensides are examples of secondary features (Box 4.1).

Known the 30 different geodiversity components, identification and listing of the geological features present are the first steps toward assessing the speleological relevance of an underground cavity. With these initial elements, 9 attributes are assessed according to the parameters presented in Table 4.1. These parameters, which are mathematical and represent the scale of magnitude or presence/absence of each component, define the attributes by which the degree of importance of each feature is determined. A detailed characterizations of the attributes involved in the assessment protocol are presented below.

BOX 4.1: CLASSIFICATION OF THE GEOLOGICAL FEATURES FOUND IN BRAZILIAN CAVES.

Group	Component
Speleothems	Secondary mineral deposits
Speleogens/Weathering features	Dissolution conducts (<i>canaliculi</i>)
	Dissolution domes (bell-holes, out-lets)
	Domes (out-lets)
	Equilibrium chimneys (out-lets)
	Cave skylights
	Alveoli (<i>tafoni</i> /honeycomb)
	Ceiling vents (meanders, half-tubes)
	Wall vents (half-tube)
	Scallops
	Feeders
	Incrustations
	Anastomosis
	Vertical grooves (whale bristles)
	Pendants
	Pillars
	Landings
	Pots
	Boxworks
	Phantomized/arenized rock (phantomization, alterite)
	Exfoliation
Paleo-level	
Geological structures	Culverts
	Faults/fractures
	Slickensides
	Stratigraphical aspects
	Contacts
	Ichnofossils
	Fossils*
	Enclaves
Clastic deposits	Consolidated or unconsolidated detrital deposits
Primary features*	Secondary features*

Scientific value

Geological features of scientific value found in natural underground cavities are also of intrinsic educational value. Understanding these important paleoenvironmental records possibilitates to know, interpret and reconstruct the evolutionary history of underground or surface environments in which they developed. Features recognized as being of scientific value are those that best represent a particular material and/or characteristic (rock, mineral, sediment) or geological process and that are preferably in good preservation conditions.

In assessing the scientific value of an underground feature by using the protocol adapted from Brilha (2016), representativeness (the ability to better illustrate unique geological characteristics or processes), reference (stratigraphic,

mineralogical, paleoenvironmental, paleoclimatic), degree of scientific knowledge (studies published on the theme emphasizing the importance of the feature), diversity (presence of different geological components of scientific interest), didactic relevance and, finally, integrity (degree of preservation) are highlighted.

Rarity

Rare features are those of almost single occurrence. As geodiversity features can be uncommon in certain lithotypes, greater weight is attributed to the type of rock in which the geof orm developed. Another factor totally related to rarity, especially in the case of speleothems, is the mineral composition. There are situations in which secondary mineral deposits correspond to infrequent or even absent mineral forms in the surrounding rock.

It should be stressed that the rarity of a feature manifests itself in varying degrees. When the feature is unique, no other specimen exists in the same geological context or even in different lithotypes. Atypical features are those that are difficult to find in a given lithology. When features of the same type are present in relatively insufficient numbers, they are said to be scarce. The state of preservation of a feature can also influence the assessment of the rarity attribute, since the more preserved from natural or anthropic processes, the greater its importance.

Model features

A feature capable of serving as an example or reference in the interpretation of speleogenetic processes, underground dynamics or even general traits of the embedding rocks is known as a model feature. Such features generally constitute important paleoenvironmental records that also assist in the understanding, interpretation and reconstruction of the evolutionary history of surface environments.

Features such as those resulting from upward flow constitute morphological groups because they are formed over the same period of time by the action of the same genetic process (KLIMCHOUK, 2007; 2009). Such situations involve association of geological features and should be considered when evaluating this attribute.

The degree of preservation is an important valuation factor because a feature must be in good observation conditions to be considered as a model. Thus, features damaged by weathering or anthropic action may cease to be illustrative of their

formative processes. From the educational point of view, model features are didactic and necessarily of scientific value.

Association with other elements

In order to identify geosystemic, ecosystemic and other situations related to archaeological, historical and cultural contexts, direct association among a feature and biological, hydrographic or climatic elements that are internal or external to the cave environment is considered an assessment attribute in the protocol discussed here.

Some speleothems may show evidence of microbial metabolic mediation in their mineral precipitation. Association among speleothems and paleoclimatic indicators is another common situation that should be highlighted. Geological features in archaeological sites constituting lithic workshops and surfaces with rock inscriptions are examples of such associations.

Number

Number refers to the extent to which instances of a given geological feature occupy an underground cavity. In order for this attribute to be evaluated, the magnitude of accumulation and the spatial distribution of the geoform must be known.

Dimensions

Dimensions refer to the proportions of magnitude of a feature, which can be measured in terms of length, width, height, diameter, perimeter, area, horizontal projection, linear development, gaps, volume or mass. Dimensions is another attribute whose assessment must consider the type of embedding rock, even in unusual situations such as those of lithotypes less subject to the development of caves, or those with rare development of the analyzed feature. The extension of the studied area (including situations of geographic isolation) must also be taken into account.

Composition

Composition refers specifically to the type of rock in which the feature developed. In speleothems, not only the type of rock, but also the mineral constitution

of the feature must be evaluated. Composition should be categorized as common or unusual, infrequent situations being considered the more relevant ones.

As constitution is a determining factor to the feature's rarity and dimensions, the speleological relevance of compositional elements must be assessed considering these attributes.

Oddity

Oddity refers to features that differ from what is commonly expected. This attribute must be inferred based on the shape and visual aspect of the feature. In the assessment of oddity, situations commonly known in to be present in the lithotype (and area) under study must be considered, together with the element's composition and rarity.

Spatialization

Evaluated by its distribution relative to the total extension of the cave, a feature is categorized as being of *general* spatialization when it is distributed across all galleries and halls. The feature is *dispersed* when it occurs over specific areas of the cave, and it is *restricted*, when it occurs in a specific area.

It is important to emphasize that spatialization itself does not relate to the number of occurrences of a feature. Spatialization thus differentiates between geofoms of marked or reduced presence that occur concentrated or scattered across the cave environment. The more widely distributed a feature is, the greater the relevance assigned to it.

Assessment of the geological features aspect

After detailed cave recognition, nine attributes must be assessed for each geological feature found according to the parameters and weights that are shown in Table 4.1. The individual relevance of each feature corresponds to the general sum of values for each attribute. This being done, the relevance of the geofom can be categorized according to the reference values in Table 4.2.

TABLE 4.1 - ATTRIBUTES, PARAMETERS AND WEIGHTS IN THE ASSESSMENT OF GEOLOGICAL FEATURES IN NATURAL UNDERGROUND CAVITIES.

Attribute	Parameter	Weight	Results
Scientific value	High	3	
	Medium	2	
	Low	1	
Rarity	Present	3	
	Absent	0	
Model feature	High	3	
	Medium	2	
	Low	1	
Association with other elements	Present	3	
	Absent	0	
Number	High	3	
	Medium	2	
	Low	1	
Extension	Large	3	
	Medium	2	
	Small	1	
Composition	Distinct	3	
	Common	0	
Oddity	Yes	3	
	No	0	
Spatialization	Pervasive	3	
	Irregular	2	
	Restrict	1	
Individual relevance (Sum)			

TABLE 4.2 - REFERENCE VALUES FOR DETERMINING THE INDIVIDUAL RELEVANCE OF A GEOLOGICAL FEATURE.

Score	Relevance
>24 points	Maximum
16 to 23 points	High
8 to 15 points	Medium
0 to 7 points	Low

As mentioned above, a total of 30 geological features can be assessed individually, with a maximum value of 27 points being assigned to each of them according to the total sum of values in Table 1. In order to have the final set of reference values for relevance assessment (Table 4.3), the numerical range of each class of relevance has to be calculated based on the number of features identified in the cave according to Equation 1.

Equation (1)

$$VRi = \frac{NFi \times Vm}{Cr}$$

$$VRi = \frac{NFi \times 27}{4}$$

$$VRi = \frac{30 \times 27}{4}$$

$$VRi = \frac{810}{4}$$

$$VRi = 202,5$$

In which:

VRi is the reference value for the interval,

NFi is the number of identified features,

Vm is the maximum total sum of the individual relevance values for the geological feature (27 points) and

Cr is the number of relevance categories (4: maximum, high, medium and low).

Thus, in a hypothetical situation in which occurrences of the 30 different feature types listed were identified in the same cave, the total number of features would be multiplied by 27 (the maximum score of individual relevance). The final result would correspond to a maximum of 810 points. As relevance is categorized into four levels (maximum, high, medium and low), the reference interval between

each level would be obtained by dividing the maximum score (810) by 4, the result being rounded down (relevance < 0.5) or up (relevance \geq 0.5) to the nearest integer.

TABLE 4.3 - REFERENCE VALUES FOR DETERMINING THE RELEVANCE OF GEOLOGICAL FEATURES IN CAVES, APPLIED TO A HYPOTHETICAL CASE IN WHICH ALL 30 KNOWN GEOFORMS ARE TO BE CLASSIFIED.

Score	Relevance
> 612 points	Maximum
408 to 611 points	High
204 to 407 points	Medium
0 to 203 points	Low

Shape (development pattern) of a natural underground cavity

The pattern of development of a cave is directly related to the planimetric layout of its ducts, passages and halls. The longitudinal profile and the cross section of the galleries are also characteristics to be considered.

Regarding shape, six attributes must be evaluated according to the parameters presented in Table 4.4, which represent a scale of magnitude, presence or absence. The attributes of morphological assessment (development pattern) of underground cavities are described in detail below.

Scientific value

In order to assess the scientific value of a speleological shape (development pattern), the same principles applied to the scientific valuation of geological features must be taken into account. Elements such as representativeness, reference, scientific knowledge, diversity, didactic relevance and integrity must be considered when assessing this attribute (BRILHA 2016).

The development pattern is useful in interpreting speleogenetic processes and the evolution of landforms. The forms that best represent the geological processes are considered of scientific value.

Rarity

Rare development patterns are those uncommonly found in cave halls. According to Auler and Piló (2019), the different planimetric patterns of underground cavities (dendritic, reticular, anastomotic, ramiform or spongiform) and the different shapes revealed in cross sections and longitudinal profiles of cave halls must be analyzed. As with the rarity of a geological feature, this attribute must be evaluated considering mainly the type of rock into which the cave developed.

Development pattern model

Development patterns that are able to serve as illustrative examples or references in the interpretation of speleogenetic processes or evolutionary dynamics of underground cavities are referred to as *model development patterns*. Such elements are generally of educational, didactic or scientific value. Given that certain patterns of development can be rare in some lithotypes, the assessment of this attribute must consider the type of rock in which the cavity developed.

Association with other elements

Situations in which the shape of the cavity is directly related to biological, hydrographic, climatic or other internal or external aspects are assessed by the attribute *association with other elements*. Like in caves whose galleries have been opened or expanded for mining, historical and cultural components must be taken into account.

Composition

The composition of a feature refers specifically to the type of rock in which the cavity developed. Like geological features, composition is classified as common or unusual, with greater relevance being attributed to infrequent situations. Contrary to the case of iron formations, for example, spongiform morphometric patterns are uncommon in granite, quartzite, gneiss or sandstone.

Oddity

Oddity refers to cases in which the characteristics determined by the development pattern of the cave differ from what is normally expected. In evaluating the relevance of a cavity, its morphometric pattern peculiarities as distinguished from

what is observed cavities in the same type of rock in the study area must be taken into account. For example, ducts and groundwater galleries with rounded cross sections, which are uncommon in granitic rocks, may constitute an oddity situation in a given cavity.

Relevance of the shape aspect (development pattern) in natural underground cavities

Only after speleological mapping can a natural underground cavity have the relevance of its development patterns assessed based on the attributes, parameters and weights shown in Table 4.4.

TABLE 4.4 - ATTRIBUTES, PARAMETERS AND WEIGHTS IN THE ASSESSMENT OF SHAPE (DEVELOPMENT PATTERN) RELEVANCE IN NATURAL UNDERGROUND CAVITIES.

Attribute	Parameter	Weight	Results
Scientific value	High	3	
	Medium	2	
	Low	1	
Rarity	Present	3	
	Absent	0	
Model feature	High	3	
	Medium	2	
	Low	1	
Association with other elements	Present	3	
	Absent	0	
Composition	Distinct	3	
	Common	0	
Oddity	Yes	3	
	No	0	
Form (development pattern) relevance (Sum)			

Once the relevance value of each shape attribute has been determined and summed, the speleological relevance of the cave's development pattern is determined based on the elements presented in Table 4.5.

TABLE 4.5 - REFERENCE VALUES IN THE SHAPE (DEVELOPMENT PATTERN) RELEVANCE ASSESSMENT OF A CAVE.

Score	Relevance
>15 points	Maximum
10 to 14 points	High
5 to 9 points	Medium
0 to 4 points	Low

Dimensions of a natural underground cavity

This aspect is directly related to the extension of the cave (galleries, halls, entrance, chasms). It should be noted that small dimensions do not imply low relevance. For this reason, in addition to the dimensions attribute, composition and rarity are evaluated following the specifications presented below.

Composition

Composition refers to the type of rock in which the cavity developed. As in the case of geodiversity features, composition is distinguished between common and unusual, with low frequency situations being assigned higher relevance scores.

Extension

Extension refers to the magnitude proportions of a natural underground cavity, which are established in terms of length, width, height, diameter, perimeter, area, horizontal projection, linear development, topographic gaps, and volume. Extension is another attribute that must be evaluated together with the type of embedding rock, taking also into account unusual situations such as lithotypes that are less likely to occur natural cavities and the study area covered (including geographic isolation situations).

Rarity

Considering mainly the cavity's lithotype, rare situations are those in which the dimensions of the cavity (linear development, topographical gap, volume, etc.) are

uncommon and stand out from the surroundings in the same geological unit.

Relevance of the extension aspect of a natural underground cavity

As in the assessment of development patterns, establishing the relevance of an underground natural cavity extension based on the attributes, parameters and weights in Table 4.6 depends on previous speleological mapping.

TABLE 4.6 - REFERENCE VALUES FOR DETERMINING THE RELEVANCE OF EACH EXTENSION ATTRIBUTE IN NATURAL UNDERGROUND CAVITIES.

Attribute	Parameter	Weight	Results
Rarity	Present	3	
	Absent	0	
Extension	Large	3	
	Medium	2	
	Small	1	
Composition	Distinct	3	
	Common	0	
Relevance of cave dimensions (sum)			

Once determined and summed up the relevance scores for the different assessment attributes, the relevance of the extension of the cave is determined from the score ranges in Table 4.7.

TABLE 4.7 - REFERENCE VALUES FOR DETERMINING THE RELEVANCE OF THE EXTENSION OF A NATURAL UNDERGROUND CAVITY.

Score	Relevance
9 points	Maximum
6 to 8 points	High
3 to 5 points	Medium
0 to 2 points	Low

Hydrological elements

The hydrological elements of a natural underground cavity include its natural water courses, accumulations and/or barriers, infiltration processes, dripping, falls (perennial, intermittent or ephemeral). The three attributes to be assessed in determining the relevance of hydrological elements in natural cavities are detailed below.

Extension

Extension refers to the proportions of magnitude of the hydrological elements of a natural underground cavity, which can be measured in terms of length, width, height, diameter, perimeter, area, horizontal projection, linear development, topographic gap, volume, or flow. Regarding hydrological elements, analysis of the extension attribute must follow the principle of proportionality, considering also the extension of the cavity and the type of rock in which it developed.

Number

In determining the number of instances of hydrological elements present in a natural cavity, the magnitude of accumulation must be taken into account regardless of spatial distribution.

Spatialization

Hydrological elements have their spatial distribution assessed in relation to the total extension of the cavity as *general*, when they are present in all galleries and halls, *dispersed*, when they are spread over specific areas, or *restricted*, when they only occur in a specific area of the underground environment. It is important to stress that this attribute does not relate to the number of occurrences.

Relevance of the hydrological elements aspect

After thorough surveying of the underground cavity, three hydrological attributes are assessed in terms of relevance according to the parameters and weights presented in Table 4.8. The individual relevance of a hydrological element is given by the sum of values determined for each attribute. Subsequently, the individual relevance of the hydrological element is determined from the reference values presented in Table 4.9.

As there are three types of hydrological elements to be evaluated, the sum of individual relevance values is used for the final assessment of this aspect of geodiversity according to the reference values shown in Table 4.10.

TABLE 4.8 - REFERENCE VALUES FOR DETERMINING THE RELEVANCE ATTRIBUTES OF HYDROLOGICAL ELEMENTS IN UNDERGROUND CAVITIES.

Attribute	Parameter	Weight	Results
Extension	Large	3	
	Medium	2	
	Small	1	
Number	High	3	
	Medium	2	
	Low	1	
Spatialization	Pervasive	3	
	Irregular	2	
	Restrict	1	
Individual relevance of the eodiversity feature (sum)			

TABLE 4.9 - REFERENCE VALUES FOR DETERMINING THE INDIVIDUAL RELEVANCE OF HYDROLOGICAL ELEMENTS IN UNDERGROUND CAVITIES.

Score	Relevance
9 points	Maximum
6 to 8 points	High
3 to 5 points	Medium
0 to 2 points	Low

TABLE 4.10 - REFERENCE VALUES FOR DETERMINING THE FINAL RELEVANCE OF HYDROLOGICAL ELEMENTS IN UNDERGROUND CAVITIES.

Score	Relevance
>23 points	Maximum
16 to 22 points	High
8 to 15 points	Medium
0 to 7 points	Low

Final relevance assessment of underground geodiversity

Once individual relevance scores of the different geodiversity aspects are determined, the final relevance score is obtained by applying the reference values presented in Table 4.11. Partial results are obtained by multiplying the weight attributed to each aspect by the respective contribution value.

The final relevance score is obtained from the average of partial results. The final result is then categorized according to the intervals shown in Table 4.12 to establish the relevance of geodiversity aspects as maximum, high, medium or low. The contribution of geodiversity (60% for geological features, 10% for dimensions; 10% for shape/pattern of development and 20% for hydrological aspects) is mathematically determined from the proportions of occurrence among the different elements of each aspect.

Geological features involve 30 components. Hydrological elements involve three components. Shape (development pattern) and dimensions involve one component each. In total, 35 components are considered. Calculated the mathematical proportions among elements and their contributions, it turns out that geological features contributes 85.71% of the total score, while shape (development pattern) and dimensions contribute 2.86% each. Hydrological elements account for 8.57% of the total.

TABLE 4.11 - REFERENCE VALUES FOR THE RELEVANCE OF GEODIVERSITY ASPECTS IN UNDERGROUND CAVITIES.

Geodiversity aspect	Parameter	Weight	Contribution	Result
Features	Maximum	4	60%	
	High	3		
	Medium	2		
	Low	1		
Extension	Maximum	4	10%	
	High	3		
	Medium	2		
	Low	1		
Shape (development pattern)	Maximum	4	10%	
	High	3		
	Medium	2		
	Low	1		
Hydrogeological aspects	Maximum	4	20%	
	High	3		
	Medium	2		
	Low	1		
Relevance of geodiversity aspects (sum)				

TABLE 4.12 - REFERENCE VALUES FOR THE FINAL RELEVANCE OF GEODIVERSITY ASPECTS OF AN UNDERGROUND CAVITY.

Score	Relevance
76 to 100 points	Maximum
51 to 75 points	High
26 to 50 points	Medium
0 to 25 points	Low

However, due to the low final scores obtained from the occurrence proportions (number of components/contribution), a direct qualitative correction was applied to the contribution values in order to highlight the contributions of shape (development pattern), dimensions and hydrological elements. These aspects are important in the assessment of underground geodiversity, a correction of values being necessary to prevent disproportionate contributions from directly influencing final scores of speleological relevance.

Concluding remarks

Defining a geodiversity assessment protocol is inherently complex. Initially, the difficulty lies in establishing the level of importance of each geodiversity element based on numerical values. Also, many geoscientists do not consider relating numerical values to the relevance of natural heritage as the ideal option, mainly due to the subjectivity that is inherent to this type of analysis. However, qualitative assessments can lead to subjective results. A researcher can be influenced by the object of analysis itself and by various surrounding phenomena and processes, which degrades interpretative and evaluative impartiality.

However, since geodiversity also represents an economic value that is essential to human needs (such as energy, iron, steel, lime, cement, and sand, among others), natural underground cavities constitute assets involved in the exploitation of natural resources. This impacts such environments even to the point of complete suppression. Demands related to human development will not cease to exist, since the demand for natural resources is continuous. In this context, a protocol for the assessment of natural elements is necessary by which the most relevant areas to be protected can be selected.

As the Brazilian speleological legislation provides for constant updates of the speleological relevance assessment methods, this article presents a protocol based on a set of criteria and formal concepts to be observed in the assessment of relevance for natural underground cavities in terms of geodiversity. The main purposes of this protocol are to present geoconservation guidelines, to reduce subjectivity in the assessment of relevance and to be a protocol that comprehensively contemplates natural underground cavities geodiversity.

Subjectivity is inherent to any and all forms of natural heritage assessment. Four cave geodiversity aspects are assessed: geological features (30 currently known geofoms), shape (development pattern), dimensions and hydrological elements (water courses, lakes, waterfalls, infiltration/dripping). Inventory and geodiversity analysis must be carried out by a team of researchers. Critical discussion of results brings different readings and interpretations that consequently lead to lesser degrees of subjectivity in the final scores of relevance of the underground cavities.

The assessment protocol discussed here can serve several purposes: environmental licensing, selection of high conservation value areas, support for the

creation of protected areas, management of touristic value cavities, different types of land zoning and management. In addition, it also provides a type of underground geodiversity assessment that might be applied to caves in various regions of the world.

The results achieved could support proposals for updating the Brazilian speleological legislation in terms of how it categorizes speleological relevance. However, it is essential that the protocol discussed here undergo critical analysis by researchers, especially geoscientists. It is expected that the protocol will also undergo constant review and updating in order to follow the advances in knowledge on the topic, thus aiming to reduce as much as possible the errors and gaps that are common in this type of analysis.

References

AULER, A. S.; PILÓ, L. B. 2019. **Geologia de cavernas e sua interpretação à luz da legislação ambiental espeleológica**. In: CRUZ, J.B.; PILÓ, L.B. (ORGS.) Espeleologia e licenciamento ambiental. Ministério do Meio Ambiente. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade – ICMBio. Brasília. p.39-75.

BERBERT-BORN, M. 2010. **Instrução Normativa MMA 2/09 - método de classificação do grau relevância de cavernas aplicado ao licenciamento ambiental: uma prática possível?** Campinas, SP. Espeleo-Tema. v. 21, n. 1. p.67-103.

BRASIL. 1990. **Decreto Federal Nº 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: 22 de abril de 2020.

BRASIL. 2008. **Decreto nº 6640 de 7 de novembro de 2008**. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ Ato2007-2010/2008/Decreto/D6640.htm>. Acesso em: 22 de abril de 2020.

BRILHA, J. 2005. **Patrimônio Geológico e Geoconservação: a conservação da natureza na sua vertente geológica**. Lisboa: Palimage. 183p.

BRILHA, J. 2016. **Inventory and Quantitative Assessment of Geosites and Geodiversity Sites: a Review**. Geoheritage, 8(2). p.119-134.

CANIE - Cadastro Nacional de Informações Espeleológicas. 2020. **Relatório Estatístico do CANIE**. Disponível em: <http://www.icmbio.gov.br/cecav/index.php?option=com_icmbio_canie&controller=relatorioestatistico&itemPesq=true>. Acesso em: 26 de novembro de 2020.

DIAS, M. S. 2003. **Ficha de caracterização de cavidades**. Anais do XXVII Congresso Brasileiro de Espeleologia, Januária/MG. p.151-160.

GANEM, R. S. 2009. **As cavidades naturais subterrâneas e o decreto nº 6.640/2008**. Consultoria Legislativa. Câmara dos Deputados. Brasília/DF. 33p.

CORTÉS, A. G.; FRAILE, D. B.; VALCARCE, E. G. 2000. **Inventario y catalogación del patrimonio geológico español. Revisión histórica y propuestas de futuro**. In: BARETTINO, D.; WIMBLEDON, W. A. P.; GALLEGRO, Y E. (EDS.) Patrimonio Geológico: Conservación y Gestión. Madrid, Spain: ITGE. p.51-71.

GARCÍA-CORTÉS, A.; CARCAVILLA, L.; DÍAZ-MARTÍNEZ, E.; VEGAS, J. 2012. **Inventario de lugares de interés geológico de la Cordillera Ibérica**. Informe final. Instituto Geológico y Minero de España. Disponível em: <<http://www.igme.es/patrimonio/>>. Acesso em: 22 de abril de 2020.

GARCÍA-CORTÉS, A.; CARCAVILLA, L.; DÍAZ-MARTÍNEZ, E.; VEGAS, J. 2014. **Documento metodológico para la elaboración del inventario español de lugares de interés geológico (IELIG)**. Instituto Geológico y Minero de España. Disponível em: <<http://www.igme.es/patrimonio/>>. Acesso em: 22 de abril de 2020.

GRAY, M. 2004. **Geodiversity: Valuing and Conserving Abiotic Nature**. John Wiley & Sons. U.K. Chichester.

GRAY, M. 2005. **Geodiversity and Geoconservation: What, Why, and How?** The George Wright Forum, v. 22, n. 3. p.4-12.

GUPE - GRUPO UNIVERSITÁRIO DE PESQUISAS ESPELEOLÓGICAS. 2017. **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). 22p.: il. + anexos.

HARLEY, G. L.; POLK, J. S.; NORTH, L. A.; REEDER, P.P. 2011. **Application of a cave inventory system to stimulate development of management strategies: The case of west-central Florida, USA**. Journal of Environmental Management. v.92, n.10. p.2547-2557.

HJORT, J.; GORDON, J. E.; GRAY, M.; HUNTER JR., M. L. 2015. **Why geodiversity matters in valuing nature's stage**. Society for Conservation Biology. Conservation Biology, v.29, n.3. p.630-639.

KLIMCHOUK, A. B. 2007. **Hypogene Speleogenesis: Hydrogeological and Morphogenetic Perspective**. National Cave and Karst Research Institute, Special Paper No. 1, Carlsbad, New Mexico. 106p.

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

LOBO, H.A.S.; BOGGIANI, P.C. 2013. **Cavernas como patrimônio geológico**. Boletim Paranaense de Geociências. v. 70. p.190-199.

MMA - Ministério do Meio Ambiente. 2017. **Instrução Normativa nº 02, de 30 de agosto de 2017.** Disponível em: <https://www.icmbio.gov.br/cecav/images/stories/downloads/Legislacao/IN_02_2017_MMA_30Ago17.pdf>. Acesso em: 22 de abril de 2020.

OLIVEIRA-GALVÃO, A. L. C.; COSTA-NETO, J. F. 2013. **Proposta de Procedimento Metodológico para Avaliação do Nível de Relevância de Cavidades Naturais Subterrâneas.** Revista Brasileira de Espeleologia, v. 1. p.19-34.

PEREIRA P. 2006. **Património geomorfológico: conceptualização, avaliação e divulgação. Aplicação ao Parque Natural de Montesinho.** Tese de Doutoramento, Universidade do Minho. Braga. 370p.

PILÓ, L. B.; AULER, A. S. 2013. **Introdução a espeleologia.** 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.7-24. Disponível em: <<http://www.icmbio.gov.br/cecav/publicacoes/24-curso-de-espeleologia-e-licenciamento-ambiental.html>>. Acesso em: 22 de abril de 2020.

PONTES, H. S.; MASSUQUETO, L. L.; FERNANDES, L. A.; FOLTRAN, A. C.; MELO, M. S.; MOREIRA, J. C. 2018. **Caves Geodiversity Evaluation as an Instrument to the Management of the Campos Gerais National Park, Southern Brazil.** Geoheritage. p.1-11 Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s12371-018-0317-9>>. Acesso em: 26 de abril de 2020.

WHITE, S.; MITCHELL, M. 2006. **Geological heritage sites: a procedure and protocol for documentation and assessment.** AESC2006, Melbourne, Austrália, 2p.

3 CONCLUSÃO

A pesquisa apresentou um método de inventário dos aspectos da geodiversidade de cavidades naturais subterrâneas visando à classificação da relevância de cavernas desenvolvidas em diferentes litotipos no Brasil, a partir de diretrizes de geoconservação. O estudo realizou uma revisão das feições geológicas passíveis de serem encontradas em cavidades brasileiras, e ainda permitiu a avaliação da legislação espeleológica nacional vigente, indicando falhas, lacunas e pontos subjetivos. Buscou-se contribuir para o aprimoramento da legislação brasileira com os resultados obtidos, uma vez que os dispositivos legais que regem o tema estão em constante revisão. Sendo assim, um protocolo para a classificação de relevância de cavernas brasileiras foi também apresentado.

Segundo os dados oficiais do Cadastro Nacional de Informações Espeleológicas (CANIE), até a finalização desta pesquisa, o Brasil possuía 21.397 cavernas. Este dado, resultado da ação de pesquisadores e grupos da área de espeleologia de todo território nacional, está em constante atualização. É importante que esse cadastro seja frequentemente atualizado, por ser referência aos processos de licenciamento ambiental e gestão do patrimônio espeleológico nacional. Dessa forma é possível acompanhar o registro atual das cavidades subterrâneas brasileiras.

Esta pesquisa teve como base cavernas desenvolvidas em contextos litológicos distintos (carbonático, ferrífero, siliciclástico e granítico), contextos geológicos que representam mais de 98% das cavernas nacionais. As cavidades desenvolvidas em rochas carbonáticas são as mais conhecidas e estudadas, constituindo mais da metade dos registros no país. Isso reflete o histórico de mais pesquisas e explorações em áreas com afloramentos desse tipo de rocha. Entretanto, exigência de prospecção espeleológica para fim de licenciamento ambiental de mineradoras, principalmente na Serra de Carajás, no Pará e no Quadrilátero Ferrífero, em Minas Gerais, fez com que o número de cavernas desenvolvidas em rochas ferríferas crescesse no cadastro oficial. As áreas com rochas sedimentares siliciclásticas e graníticas, porém, ainda são pouco exploradas por cientistas e grupos espeleológicos, resultando em um número menos expressivo de cavidades conhecidas nesses dois litotipos. Agravando ainda mais este cenário,

há situações em que estudos espeleológicos para licenciamento ambiental não são requeridos pelos órgãos ambientais competentes nessas áreas.

Uma região com potencial espeleológico também apresenta fragilidades ambientais, as quais exigem gestão do território diferenciada, focando na proteção do patrimônio geológico (e conseqüentemente, do patrimônio espeleológico) e na proteção das águas subterrâneas, uma vez que as cavernas servem como locais de recarga de aquíferos, configurando importante função geossistêmica. Visto isso, as cavidades naturais subterrâneas devem ser consideradas nas políticas públicas e nos procedimentos administrativos de gestão ambiental, buscando garantir a sua conservação.

As cavernas apresentam uma das manifestações mais expressivas na evolução natural de determinadas paisagens, sendo excelentes locais para o desenvolvimento de estudos paleoambientais, arqueológicos, paleontológicos, biológicos e hidrológicos. Por isso, receberam uma atenção especial, com a criação de instrumentos legais específicos.

No Brasil, há legislação exclusiva que rege o tema espeleológico, o Decreto Federal nº 99.556, de 1º de outubro de 1990. Este decreto vigorou sem modificações por dezoito anos, considerando as cavernas como patrimônio cultural brasileiro, e assim, devendo ser preservadas. Entretanto, no ano de 2008, o Decreto nº 6.640 modificou significativamente o decreto citado, pois passou a permitir a supressão total de cavernas, antes considerado ilegal no país. Para isso, as cavidades naturais subterrâneas passaram a ser avaliadas a partir do seu grau de relevância (máximo, alto, médio e baixo), determinação presente na Instrução Normativa nº 2 de 2017.

Compreende-se que devido às necessidades e demandas da sociedade moderna, é evidente que cavidades naturais subterrâneas sejam impactadas durante o processo de extração de recursos naturais. Contudo, entende-se que cada caverna é um ambiente único e insubstituível. Por este motivo, tendo como base uma visão equilibrada entre uso e conservação da natureza, considera-se importante a existência de dispositivos legais que exijam o inventário, quantificação e relevância de cavidades naturais subterrâneas no Brasil. Contudo, os instrumentos desta legislação espeleológica devem focar a proteção das cavidades naturais subterrâneas, primar pelo princípio da precaução, ser frequentemente atualizados (visando sua melhoria) e evitar situações de subjetividade ou

minimização/desqualificação de características diversas atreladas aos ambientes subterrâneos e suas áreas de influência.

Esta pesquisa confirmou a hipótese de que há lacunas e subjetividades na legislação que trata (de maneira direta ou indireta) do controle do uso e proteção do patrimônio espeleológico brasileiro. Há também o problema da não exigência de estudos espeleológicos pelos órgãos ambientais competentes para a instalação de empreendimentos de alto impacto ambiental, por não se reconhecer determinadas áreas como potenciais para a existência de cavernas, colocando em risco a conservação desses locais.

Alvo de diversas críticas de pesquisadores da ciência espeleológica brasileira, o Decreto nº 6.640/2008 e sua Instrução Normativa, estão em constante revisão, o que deixa evidente as falhas presentes em seus textos. Por se tratar de um tema tão delicado, como a supressão de cavernas, é preciso buscar um método eficiente e adequado de se avaliar a relevância desses ambientes.

Cada cavidade subterrânea é considerada como única e particular, e devido aos diferentes litotipos onde podem ocorrer é possível atribuir singularidades específicas em diversos aspectos. Como exemplo, os aspectos genéticos podem diferenciar dependendo do contexto geológico no qual a caverna está inserida, assim como as feições geológicas que compõe o ambiente subterrâneo.

Das oito cavidades objeto da presente pesquisa, cinco não estão em unidades de conservação de proteção integral. Considera-se que a falta de iniciativas de proteção desses ambientes justifica ainda mais a análise do contexto legal atual e a proposição de diretrizes adequadas à conservação e uso sustentável.

No primeiro artigo da presente pesquisa apresenta-se um inventário das feições geológicas de ambientes subterrâneos para a determinação da relevância espeleológica, a partir da legislação vigente. Para isso, foi feita revisão bibliográfica e também consulta junto à comunidade científica e profissional, priorizando a padronização de conceitos e termos e, principalmente, visando entender a raridade destas feições em relação aos diferentes contextos geológicos. Nesse momento, 23 feições geológicas subterrâneas foram identificadas (espeleotemas, depósitos clásticos, dutos de dissolução, cúpulas de dissolução, domos, chaminés de equilíbrio, claraboias, alvéolos, canais de teto, canais de parede, *scallops*, alimentadores, anastomoses, incrustações, sulcos verticais, pendentes, pontões estruturais, pilares, patamares, marmitas, *boxworks*, rocha fantomizada/arenizada e

estruturas geológicas). Ressalta-se que apenas três feições (alimentadores, anastomoses e *boxworks*) não foram encontradas nas cavernas graníticas, nos demais tipo de cavernas todas as feições foram registradas.

O inventário das feições geológicas de cavernas possibilitou a identificar quais são oriundas de processos de precipitação, intemperismo, erosão e de estruturas da rocha. Das 23 feições conhecidas, apenas nove estão entre os atributos considerados para a classificação do grau de relevância de cavernas segundo a legislação brasileira. Isso é mais uma evidência da deficiência dessa legislação e a importância de pesquisas que visem atualizar os dados e informações sobre a geodiversidade subterrânea.

O segundo artigo que compõe esta tese, apresentou a relevância de oito cavidades subterrâneas (duas para cada litotipo estudado). Essas cavidades, situadas nos estados do Paraná, Santa Catarina e Minas Gerais, foram escolhidas como exemplo para a aplicação dos critérios utilizados na avaliação de relevância de cavernas, previstos na Instrução Normativa nº2 de 2017. Para isso, novamente se usou exclusivamente as feições geológicas do ambiente subterrâneo.

Das oito cavidades subterrâneas avaliadas, apenas duas foram classificadas como de máxima relevância de acordo com a INMMA nº2/2017 (uma caverna em rochas sedimentares siliciclásticas e outra em rochas ferríferas). Ambas possuem o atributo morfologia única, porém apenas devido à forma e organização espacial das galerias foi que receberam esse grau de relevância e não por suas feições geológicas propriamente ditas.

A pesquisa constatou que perante a legislação, quando se trata do aspecto de interesse científico, três atributos são considerados a) localidade tipo, quando uma caverna é citada como local geográfico de onde foram coletados os exemplares 'tipo' utilizados na descrição de determinada espécie ou táxon superior; b) presença de registros paleontológicos e; c) presença de estruturas geológicas de interesse científico. Entretanto, nesse quesito, o atributo que possui a maior contribuição em porcentagem (40%) se refere a aspectos biológicos (localidade tipo). Assim, se conclui que atributos geológicos e biológicos não deveriam pertencer a um mesmo grupo de avaliação, principalmente pelo fato dos valores adotados serem diferentes, gerando sobreposição de um aspecto ao outro durante a avaliação.

Outra constatação foi a de que, analisando apenas as feições geológicas, as cavernas serão classificadas como de baixa relevância quando aplicado os critérios

adotados na instrução normativa. Apenas dois atributos relacionados às geoformas são considerados pela análise sob o enfoque local (delimitado pela unidade geomorfológica que apresente continuidade espacial) e nenhum sob o enfoque regional (delimitado pela unidade espeleológica). Devido a estes fatores, ao aplicar os resultados na chave de classificação, automaticamente a cavidade é considerada como de baixa relevância no enfoque regional e de importância significativa no enfoque local, impossibilitando que a caverna possa ser classificada como de média ou alta relevância.

A avaliação de relevância de uma caverna, se não for classificada como de máxima ou alta relevância a partir de outros atributos (culturais, espeleométricos ou biológicos) que não os relacionados às feições geológicas, terá uma categorização baixa. Isso comprova as inconsistências na IN MMA nº 2/2017 para a avaliação dos aspectos da geodiversidade de cavernas, pois o método de quantificação não pode atribuir relevância de valor elevado apenas de forma dependente de outros grupos. Neste caso, as feições geológicas só serão contabilizadas para a proteção de uma cavidade se somadas a outros grupos de atributos de outras áreas temáticas.

Por fim, o terceiro artigo apresenta a principal contribuição desta pesquisa, um protocolo de avaliação da relevância espeleológica com base nos aspectos da geodiversidade de cavidades naturais subterrâneas em diferentes litotipos, tendo como base as diretrizes de geoconservação.

O referido protocolo de avaliação foi elaborado seguindo conceitos específicos, para facilitar a sua aplicação. A avaliação se inicia pela identificação dos componentes da geodiversidade subterrânea (incluindo feições geológicas, padrão de desenvolvimento, dimensão e elementos hidrológicos). Os componentes são partes que compõe os aspectos, como os diferentes tipos de feições geológicas (dutos, alvéolos, espeleotemas etc.) e elementos hidrológicos (cursos hídricos, gotejamentos, lagos). Os atributos incluem as características sobre cada componente (valor científico, tamanho, raridade etc.). Os parâmetros são padrões e critérios utilizados para avaliar os atributos (alto, médio, baixo, comum, incomum, entre outros). Os pesos são valores numéricos inferidos em referência aos parâmetros e por último, a contribuição que se refere à porcentagem de contribuição que o peso atribuído terá no resultado final.

Para avaliar as feições geológicas, nove atributos foram analisados: 1) valor científico; 2) raridade; 3) feição modelo; 4) associação com outros elementos; 5)

quantidade; 6) tamanho; 7) composição; 8) excentricidade e; 9) espacialização. Para a forma (padrão de desenvolvimento), foram 6 atributos de avaliação: 1) valor científico; 2) raridade; 3) padrão de desenvolvimento modelo; 4) associação com outros elementos; 5) composição e; 6) excentricidade. Para a dimensão e elementos hidrológicos foram considerados três atributos: composição, tamanho e raridade e tamanho, quantidade e espacialização, respectivamente. Tabelas foram elaboradas para guiar o processo de avaliação dos componentes e seus atributos, e assim definir a relevância espeleológica.

Conclui-se que o inventário e a avaliação mediante quantificação dos aspectos da geodiversidade subterrânea permitiu atribuir um índice numérico como resultado, sendo possível classificar mais objetivamente as cavernas quanto à sua geodiversidade.

O método proposto pode auxiliar o processo de classificação da relevância espeleológica para fins de licenciamento ambiental, de acordo com a legislação vigente no Brasil. Portanto, pode-se dizer que é um instrumento de gestão que possibilita a identificação dos aspectos mais expressivos, assim como os mais ameaçados e que exigem ações urgentes de gestão, manejo e proteção pela legislação.

As cavernas são locais de equilíbrio natural delicado e sua fragilidade é maior que a dos ambientes externos. Portanto medidas de proteção e ações dos órgãos públicos ambientais, que promovam a conservação e utilização sustentável destes ambientes são necessárias, para manter sua integridade e para que não sejam perdidas relevantes informações geológicas.

É importante a realização de estudos e atualizações constantes nas áreas de ocorrência de cavernas, incluindo os ambientes subterrâneos e também os superficiais (área de influência direta e indireta). Tais estudos devem envolver diversos ramos da ciência, pois estes ambientes são caracterizados como sistemas complexos e de elevada fragilidade ambiental. Pesquisas nessas regiões auxiliam na revisão de políticas públicas e conseqüentemente na conservação de seus elementos abióticos e bióticos associados.

O protocolo apresentado como contribuição desta pesquisa pode gerar subsídio para a reformulação e melhoria do decreto nº 6.640/2008 e Instrução Normativa MMA nº 2/2017, a qual deve passar por revisões periódicas. Além disso, com os resultados e produtos aqui apresentados, pretende-se fornecer suporte para

a elaboração de termos de referência, estudos de licenciamento ambiental, instrumentos de gestão territorial, para a criação de áreas protegidas, orientar levantamentos voltados para o uso dos ambientes subterrâneos e contribuir para demais tipos de medidas de geoconservação.

Conclui-se esta pesquisa mencionando a recente proposta do Governo Federal, o qual através de uma minuta de decreto apresentado pelos ministérios de Minas e Energia e de Infraestrutura, pretende, novamente, modificar a legislação que trata sobre a relevância de cavernas no Brasil (ANEXO 4). A proposta não teve a participação da comunidade científica e de entidades não governamentais ligadas à espeleologia nacional, evidenciando um caráter impositivo e verticalizado do dispositivo legal. Entre as alterações apresentadas está a possibilidade de destruição total de cavernas de máxima relevância em casos de obras e atividades que sejam declaradas de utilidade pública, algo até então impossibilitado pela legislação. Essa situação gera insegurança jurídica e acentuada preocupação entre pesquisadores e espeleólogos de todo o país.

Apesar de ainda se tratar de uma minuta, o risco ao patrimônio espeleológico é eminente, uma vez que tem se tornado comum alterações na política ambiental brasileira, deixando mais branda as restrições e exigências que visam à proteção da natureza. Tal situação deixa evidente a importância de constantes estudos científicos sobre o aparato legal ambiental no Brasil, principalmente aqueles diretamente relacionados à gestão do patrimônio natural. Assim, são oportunas e necessárias as pesquisas que contribuam para a avaliação da relevância de cavernas em todo território nacional, com dados técnicos embasados cientificamente.

REFERÊNCIAS

AHMADI, A.; MOGHIMI, E; ZAMANZADEH, S. M.; MOTAMED, R. 2015. **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*. Volume 2015. 1-10p.

ALVES, B. P. 1961. **Sumário sobre estratigrafia e estrutura das quadriculas de Caeté e Serra da Piedade.** Publicação da Sociedade de Intercâmbio Cultural e Estudos Geológicos, 1. Ouro Preto: SICEG. p.257-260.

AULER, A. S.; ZOGBI, L. 2005. **Espeleologia: noções básicas.** São Paulo: Redespeleo Brasil. 104p.

AULER, A. S.. **Histórico, ocorrência e potencial de cavernas no Brasil.** In.: Rubbioli EL, Auler AS, Menin DS, Brandi R (organizadores). *Cavernas. Atlas do Brasil Subterrâneo.* Editora IABS, Brasília. 2019, p. 10-47.

AULER, A. S.; PILÓ, L.B. 2013. **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. Disponível em: http://www.icmbio.gov.br/cecav/images/stories/downloads/IV_Curso_de_Espeleologia_e_Licenciamento_Ambiental.pdf. Acesso em: 22 de abril de 2020.

AULER, A. S.; PILÓ, L. B. 2019. **Geologia de cavernas e sua interpretação à luz da legislação ambiental espeleológica.** In: CRUZ, J.B.; PILÓ, L.B. (ORGS.) *Espeleologia e licenciamento ambiental.* Ministério do Meio Ambiente. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade – ICMBio. Brasília. p.39-75.

AUBRECHT R.; BREWER-CARÍA, C.H.; ŠMÍDA B.; AUDY M.; KOVÁČIK L. 2008. **Anatomy of biologically mediated opal speleothems in the World's largest sandstone cave: Cueva Charles Brewer, Chimantá Plateau, Venezuela.** *Sedimentary Geology*, 203: p.181-195. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2007.10.005>. Acesso em: 22 de abril de 2020.

ASSINE, M. L. 1996. **Aspectos da estratigrafia das seqüências pré-carboníferas da Bacia do Paraná no Brasil.** Tese de doutorado. Programa de Pós- Graduação em Geologia Sedimentar, São Paulo. 207p.

ASSINE, M. L. 1999. **Fácies, icnofósseis, paleocorrentes e sistemas deposicionais da Formação Furnas, no flanco sudeste da bacia do Paraná.** Rev. Bras. Geociências, São Paulo, v. 29. p.357-370.

BERBERT-BORN, M. 2010. **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.

BITTENCOURT, L. A. F.; DE PAULA, A. 2012. **Análise cienciométrica de produção científica em unidades de conservação federais do Brasil.** Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.8, n.14; p.2044-2054.

BORGHI, L. 1993. **Caracterização e análise faciológicas da Formação Furnas (Prídoli Devoniano inferior) em afloramentos do bordo leste da bacia sedimentar do Paraná, Estado do Paraná, Brasil.** Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 227p.

BRANCO, P. M. 2014. **Espeleologia: o estudo das cavernas.** CPRM – Serviços Geológicos do Brasil. 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: 22 de abril de 2020.

BRASIL. 1961. **Lei nº 3.924, de 26 de julho de 1961.** Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/1950-1969/L3924.htm>. Acesso em: 22 de abril de 2020.

BRASIL. 1988. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988.** Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/ConstituicaoCompilado.htm>. Acesso em: 22 de abril de 2020.

BRASIL. 1990. **Decreto Federal Nº 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: 22 de abril de 2020.

BRASIL. 2000. **Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000.** Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9985.htm>. Acesso em: 22 de abril de 2020.

BRASIL. 2008. **Decreto nº 6640 de 7 de novembro de 2008**. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Ato2007-2010/2008/Decreto/D6640.htm>. Acesso em: 22 de abril de 2020.

BRILHA, J. 2005. **Patrimônio Geológico e Geoconservação: a conservação da natureza na sua vertente geológica**. Lisboa: Palimage. 183p.

BRILHA, J. 2016. **Inventory and Quantitative Assessment of Geosites and Geodiversity Sites: a Review**. *Geoheritage*, 8(2). p.119-134.

CALTABELOTI, F.P. 2011. **Alojamento e deformação de plútons graníticos da extremidade nordeste da suíte intrusiva Cunhaporanga (Domínio Apiaí – Faixa Ribeira, PR)**. Dissertação (mestrado). Programa de Pós-Graduação em Geoquímica de Geotectônica. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. São Paulo. 98p.

CALUX, A.S. 2013. **Gênese e desenvolvimento de cavidades naturais subterrâneas em formação ferrífera no quadrilátero ferrífero, Minas Gerais**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Minas Gerais. 218p.

CALUX, A.; CASSIMIRO, R. 2015. **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 Espeleológico em Rochas Ferruginosas. Propostas para sua conservação no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. Campinas/SP. Sociedade Brasileira de Espeleologia – SBE. 1ª ed. p.134-157.

CANÁVERAS J.C.; SÁNCHEZ-MORAL S.; SOLER V.; SAIZ-JIMÉNEZ C. 2001. **Microorganisms and microbially induced fabrics in cave walls**. *Geomicrobiology Journal*, v.18: p.223-240. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1080/01490450152467769>>. Acesso em: 22 de abril de 2020.

CANIE - Cadastro Nacional de Informações Espeleológicas. 2020. **Relatório Estatístico do CANIE**. Disponível em: <http://www.icmbio.gov.br/cecav/index.php?option=com_icmbio_canie&controller=relatorioestatistico&itemPesq=true>. Acesso em: 26 de novembro de 2020.

CECAV – Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas. 2019. **Cavidades Naturais Subterrâneas**. Disponível em: <<http://www.icmbio.gov.br/cecav/cavidades-naturais-subterraneas.html>>. Acesso em: 22 de abril de 2020.

CARCAVILLA URQUI, L.; LÓPEZ-MARTINEZ, J.; DURÁN VALSERO, J.J. 2007. **Patrimonio geológico y geodiversidad: investigación, conservación, gestión y relación com los espacios naturales protegidos**. Instituto Geológico e Minero de España, Madri, 360p.

CAVALCANTI, L. F; COSTA NETO, J. F. 2015. **O planejamento sistemático da conservação na identificação de áreas prioritárias para a conservação do patrimônio espeleológico brasileiro**. In: RASTEIRO, M.A.; SALLUN FILHO, W. (orgs.) 33º Congresso Brasileiro de Espeleologia. Eldorado. Anais... Campinas: SBE, 2015. p.569-579. Disponível em: <http://www.cavernas.org.br/anais33cbe/33cbe_569-579.pdf>. Acesso em: 22 de abril de 2020.

CNC - Cadastro Nacional de Cavernas. **Sociedade Brasileira de Espeleologia – SBE**. Disponível em: <<http://www.cavernas.org.br/cnc/>>. Acesso em: 22 de abril de 2020.

COLLET, G.C. 1981. **Contribuição para elaboração de um glossário espeleológico**. Grupo Espeleológico Bagrus. São Paulo.

CONAMA - Conselho Nacional de Meio Ambiente. 2010. **Resolução CONAMA nº 428, de em 17 de setembro de 2010**. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=641>>. Acesso em: 22 de abril de 2020.

CONAMA - Conselho Nacional de Meio Ambiente. 1986. **Resolução CONAMA Nº 009, de 24 de Janeiro de 1986**. Disponível em: <www.icmbio.gov.br/cecav/images/download/Resolucao%20conama%20009.doc>. Acesso em: 22 de abril de 2020.

CONAMA - Conselho Nacional de Meio Ambiente. 2004. **Resolução CONAMA Nº 347, de 10 de setembro de 2004**. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=452>>. Acesso em: 22 de abril de 2020.

CORTÉS, A. G.; FRAILE, D. B.; VALCARCE, E. G. 2000. **Inventario y catalogación del patrimonio geológico español. Revisión histórica y propuestas de futuro**. In: BARETTINO, D.; WIMBLEDON, W. A. P.; GALLEGRO, Y E. (EDS.) Patrimonio Geológico: Conservación y Gestión. Madrid, Spain: ITGE. p.51-71.

CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. 2014. Download de mapas em PDF. **Mapa geológico do estado de Minas Gerais - 1:1.000.000**. Disponível em: <geobank.cprm.gov.br>.

CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. 2014. Download de mapas em PDF. **Mapa geológico do estado de Santa Catarina - 1:500.000**. Disponível em: <geobank.cprm.gov.br>.

CURL, R. A. 1974. **Deducing Flow Velocity in Cave Conduits from Scallops**. The NSS Bulletin. 36 (2). p.1-5.

DE WEVER, P.; LE NECHET, Y.; CORNEE, A. 2006. **Vade-mecum pour l'inventaire du patrimoine géologique national**. Mém. H. S. Soc. Géol. Fr., 12, 162p.

DIAS, M. S. 2003. **Ficha de caracterização de cavidades**. Anais do XXVII Congresso Brasileiro de Espeleologia, Januária/MG. p.151-160.

FEINBERG, J.; GAO, Y.; ALEXANDER, E. C. JR. 2016. **Caves and Karst Across Time**. Boulder, Colorado: Geological Society of America. 300p.

FERRAZ, P.C. 2013. **Cavidades: conservação ou preservação?** Revista Direito Ambiental e sociedade, v. 3, n. 1, 2013. p.173-196.

FIELD, M. S. 1999. **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, EPA/600/R-99/006. 194p.

FIGUEIREDO L.A.V., RASTEIRO, M.A., RODRIGUES, P.C. 2010. **Legislação para a proteção do patrimônio espeleológico brasileiro: mudanças, conflitos e o papel da sociedade civil**. Espeleo-Tema: Campinas, SBE, v. 21, n. 1. p.49-65.

GANEM, R. S. 2009. **As cavidades naturais subterrâneas e o decreto nº 6.640/2008**. Consultoria Legislativa. Câmara dos Deputados. Brasília/DF. 33p.

GARCÍA-CORTÉS, A.; FERNÁNDEZ-GIANOTTI, J. 2005. **Estrategia del Instituto Geológico y Minero de España para el estudio y protección del Patrimonio Geológico y la Geodiversidad**. In: LAMOLDA, M. A. (Ed). Geociencias, Recursos y

Patrimonios Geológicos, Madrid, Spain: Instituto Geológico y Minero de España. p.59-72.

GARCÍA-CORTÉS, A.; CARCAVILLA, L.; DÍAZ-MARTÍNEZ, E.; VEGAS, J. 2012. **Inventario de lugares de interés geológico de la Cordillera Ibérica**. Informe final. Instituto Geológico y Minero de España. Disponível em: <<http://www.igme.es/patrimonio/>>. Acesso em: 22 de abril de 2020.

GARCÍA-CORTÉS, A.; CARCAVILLA, L.; DÍAZ-MARTÍNEZ, E.; VEGAS, J. 2014. **Documento metodológico para la elaboración del inventario español de lugares de interés geológico (IELIG)**. Instituto Geológico y Minero de España. Disponível em: <<http://www.igme.es/patrimonio/>>. Acesso em: 22 de abril de 2020.

GONGGRIJP, G.P. 2000. **Planificación y Gestión para la Geoconservación**. In: BARETTINO, D.; WIMBLEDON, W. A. P.; GALLEGOS, Y E. (Eds.) Patrimonio Geológico: Conservación y Gestión. Madrid, Spain: ITGE. p.31-49.

GOODCHILD, M. F.; FORD, D. C. 1970. **Analysis of Scallop Patterns by Simulation Under Controlled Conditions**. The Journal of Geology 79(1). 52-62p.

GRAY, M. 2004. **Geodiversity: valuing and conserving abiotic nature**. John Wiley and Sons, Chichester, England., 434p.

GRAY, M. 2005. **Geodiversity and Geoconservation: What, Why, and How?** The George Wright Forum, v. 22, n. 3. p.4-12.

GUPE - GRUPO UNIVERSITÁRIO DE PESQUISAS ESPELEOLÓGICAS. 2017. **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). 22p.: il. + anexos.

HARDT, R.; RODET, J.; PINTO, S.A.F.; WILLEMS, L. 2009. **Exemplos brasileiros de carste em arenito: Chapada dos Guimarães (MT) e Serra de Itaqueri (SP)**. SBE – Campinas, SP. Espeleo-Tema. v. 20, n.1/2. p.7-23.

HARLEY, G. L.; POLK, J. S.; NORTH, L. A.; REEDER, P.P. 2011. **Application of a cave inventory system to stimulate development of management strategies: The case of west-central Florida, USA**. Journal of Environmental Management. v.92, n.10. p.2547-2557.

HASUI, Y. 2010. **A grande colisão Pré-Cambriana do sudeste brasileiro e a estruturação regional**. São Paulo, UNESP, Geociências, v. 29, n. 2, p.141-169.

HILL, C.A.; FORTI, P. 1997. **Cave Minerals of the World**. Second edition: Huntsville, Ala., National Speleological Society, 463p.

HIRUMA, S.T.; FERRARI, J.A.; AMARAL, R.; HONÓRIO, R.F. 2007. **Mapeamento e caracterização de feições cársticas de superfície na Faixa Itaiacoca nas regiões de Nova Campina e Bom Sucesso de Itararé, SP/PR**. Revista do Instituto Geológico, São Paulo, 27-28 (1/2), p.1-12.

HJORT, J.; GORDON, J. E.; GRAY, M.; HUNTER JR., M. L. 2015. **Why geodiversity matters in valuing nature's stage**. Society for Conservation Biology. Conservation Biology, v.29, n.3. p.630-639.

IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. 1997. **Portaria nº 57, de 5 de junho de 1997**. Disponível em: <<https://www.ibama.gov.br/sophia/cnia/legislacao/IBAMA/PT0057-050697.PDF>>. Acesso em: 22 de abril de 2020.

ICMBIO – Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. 1990. **Portaria Nº 887, de 15 de junho de 1990**. Disponível em: <www.icmbio.gov.br/cecav/images/download/Portaria%20887.doc>. Acesso em: 22 de abril de 2020.

ICMBIO – Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. 2009. **Portaria ICMBio nº 78, de 03 de setembro de 2009**. Disponível em: <http://www.icmbio.gov.br/cecav/images/download/Portaria%20N%C2%BA78_030909_cria%20CECAV.pdf>. Acesso em: 22 de abril de 2020.

ICMBIO – Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. 2012. **Instrução Normativa ICMBio nº 25, de 12 de abril de 2012**. Disponível em: <http://cavernas.org.br/leis/IN_PLANO_DE_ACAO_25-2012.pdf>. Acesso em: 22 de abril de 2020.

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., 2011. p. 04-06. Disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.gpme.org.br/bd/teto-baixo-ano-ii-numero-ii-06052011/>>. Acessado em: 02/05/2020.

JENNINGS, J.N. 1997. **Cave and karst terminology**. Australian Speleological Federation Incorporated Administrative Handbook, 1997 Edition. Disponível em: <<http://speleologija.eu/znanost/terminologija/CaveKarstTerminologyJennings.html>>. Acesso em: 22 de abril de 2020.

JANSEN, D.C.; CAVALCANTI, L.F.; LABLÉM, H.A. 2012. **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.

KAUFMANN O.; BINI A.; TOGNINI P.; QUINIF Y. 1999. **Étude microscopique d'une altérite de type fantôme de roche. Études de géographie physique**. Travaux 1999 – Suppl. XXVIII, Cagep, Université de Provence p.129-134.

KARMANN, I. 1994. **Evolução e dinâmica atual do sistema cárstico do alto vale do rio Ribeira de Iguape, sudeste do Estado de São Paulo**. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 228p.

KARMANN, I. 2001. **Ciclo da água: água subterrânea e sua ação geológica**. In: TEIXEIRA, W.; TOLEDO, M.C.M.; FAIRCHILD, T.R.; TAILOLO, F. (org). Decifrando a Terra. São Paulo: Oficina de Textos. p.113-138.

KARMANN, I. 2016. **Carste e cavernas no Brasil: distribuição, dinâmica atual e registros sedimentares, breve histórico e análise crítica das pesquisas realizadas no âmbito do IGc USP**. Tese livre docência. São Paulo. 62p.: il. + anexos.

KLIMCHOUK A. B., 2007. **Hypogene Speleogenesis: Hydrogeological and Morphogenetic Perspective**. National Cave and Karst Research Institute, Special Paper No. 1, Carlsbad, New Mexico. 106p.

KLIMCHOUK, A. B. 2009. **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.

KLIMCHOUK, A. B. 2017. **Tafoni and honeycomb structures as indicators of ascending fluid flow and hypogene karstification**. Geological Society, London, Special Publications, 466. Disponível em: <<https://doi.org/10.1144/SP466.11>>. Acesso em: 22 de abril de 2020.

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

LIMA, F. F.; BRILHA, J. B.; SALAMUNI, E. 2010. **Inventorying geological heritage in large territories: a methodological proposal applied to Brazil.** Geoheritage. p.91-99. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s12371-010-0014-9>>. Acesso em: 22 de abril de 2020.

LOBO, H.A.S.; BOGGIANI, P.C. 2013. **Cavernas como patrimônio geológico.** Boletim Paranaense de Geociências. v. 70. p.190-199.

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

MARRA, R. J. C. 2008. **Crítérios de relevância para classificação de cavernas no Brasil.** Tese de Doutorado. Centro de Desenvolvimento Sustentável, Universidade de Brasília, Brasília. 380p.

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

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

MASSUQUETO, L.L. 2013. **Estudo do manejo turístico na gruta de Pinheiro Seco (PR): estratégias para a geoconservação do patrimônio espeleológico.** Dissertação (mestrado). Programa de Pós-Graduação em Geografia – Mestrado em Gestão do Território. Universidade Estadual de Ponta Grossa. 118p.

MASSUQUETO, L.L.; FERNANDES, L.A.; PONTES, H.S. 2017. **Inventário da geodiversidade da caverna das Andorinhas, município de Ponta Grossa, Campos Gerais do Paraná.** Anais do X Simpósio Sul -Brasileiro de Geologia , Curitiba, Paraná. Disponível em: <<http://ssbg2017anais.siteoficial.ws/ST2/ST201.pdf>>. Acesso em: 22 de abril de 2020.

MASSUQUETO, L. P.; MELO, M. S.; GUIMARÃES, G. B.; LOPES, M. C. 2009. **Cachoeira de Santa Bárbara no Rio São Jorge, PR - Bela paisagem realça importante contato do embasamento com rochas glaciogênicas siluro-ordovicianas.** In: WINGE, M.; SCHOBENHAUS, C.; SOUZA, C.R.G.; FERNANDES, A. C. S.; BERBERT-BORN M.; QUEIROZ, E. T.; (Edit.) Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil. Disponível em: <<http://sigep.cprm.gov.br/sitio047/sitio047.pdf>>. Acesso em: 22 de abril de 2020.

MELO, M. S.; GIANNINI, P. C. F. 2007. **Sandstone dissolution landforms in the Furnas Formation, Southern Brazil.** Earth Surface Processes and Landforms, v. 32. p.2149- 2164.

MELO, M. S. 2009. **Aquífero Furnas: urgência na proteção de mananciais subterrâneos em Ponta Grossa, PR.** In: Anais do Seminário Internacional “Experiências de Agendas 21: os desafios do nosso tempo”. Sem páginas.

MELO, M.S.; GUIMARÃES, G.B.; CHINELATTO, A.L.; GIANNINI, P.C.; PONTES, H.S.; CHINELATTO, A.C.A.; ATENCIO, D. 2015. **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 63. p.20-35.

MMA – Ministério de Meio Ambiente. 1987. **Resolução CONAMA N.º 005 de 06 de agosto de 1987.** Pág. 17.499. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=56>> Acesso em: 22 de abril de 2020.

MMA - Ministério de Meio Ambiente. **Instrução Normativa MMA Nº 2, de 20 de agosto de 2009.** Disponível em: <http://www.icmbio.gov.br/cecav/images/download/IN%2002_MMA_Comentada.pdf> . Acesso em: 22 de abril de 2020.

MMA - Ministério de Meio Ambiente. 2002. **Portaria MMA nº 81, de 26 de fevereiro de 2002.** Disponível em: <<http://cavernas.org.br/leis/port8102.htm>>. Acesso em: 22 de abril de 2020.

MMA - Ministério de Meio Ambiente. 2009. **Portaria MMA nº 358, de 30 de setembro de 2009.** Disponível em: <<http://cavernas.org.br/leis/PortariaMMA%20358%2030-09-2009.pdf>>. Acesso em: 22 de abril de 2020.

MMA - Ministério de Meio Ambiente. 2017. **Instrução Normativa MMA Nº 2, de 30 de agosto de 2017.** Disponível em: <<http://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?data=01/09/2017&jornal=1&pagina=161&totalArquivos=208>>. Acesso em: 22 de abril de 2020.

MOCHIUTTI, N. F. B.; TOMAZZOLI, E. R. 2017. **Espeleotemas de uma caverna granítica na Ilha de Santa Catarina: uma análise preliminar.** In: RASTEIRO, M.A.; TEIXEIRA-SILVA, C.M.; LACERDA, S.G. (orgs.) 34º Congresso Brasileiro de Espeleologia. Ouro Preto. Anais... Campinas: SBE, 2017. p.327-333. Disponível em: http://www.cavernas.org.br/anais34cbe/34cbe_327-333.pdf. Acesso em: 22 de abril de 2020.

MOCHIUTTI, N. F. B.; TOMAZZOLI, E. R. 2019. **Cavernas em granito. Precisamos falar sobre elas.** In: ZAMPAULO, R. A. (org.) Congresso Brasileiro de Espeleologia, 35, 2019. Bonito. Anais... Campinas: SBE, 2019. p.18-29. Disponível em: <http://www.cavernas.org.br/anaiscbe/35cbe_018-029.pdf>. Acesso em: 05 de maio de 2020.

MONTEIRO, F. A. D. 2013. **Espeleologia e legislação – proteção, desafios e o estado do conhecimento.** In: RASTEIRO, M.A.; MORATO, L. (orgs.) 32º Congresso Brasileiro De Espeleologia. Barreiras. Anais... Campinas: SBE, 2013. p.197-206. Disponível em: <http://www.cavernas.org.br/anais32cbe/32cbe_197-206.pdf>. Acesso em: 22 de abril de 2020.

MPMG - **Ministério Público do Estado de Minas Gerais.** Disponível em: <<https://www.mpmg.mp.br/comunicacao/noticias/acao-do-mpmg-requer-a-aplicacao-efetiva-de-cerca-de-r-200-milhoes-na-implantacao-e-manutencao-de-unidades-de-conservacao.htm#.W6lAgNdKjIV>>. Acesso em: 11 de junho de 2015.

NIETO, L. M. 2002. **Patrimonio Geológico, Cultura y Turismo.** Boletín del Instituto de Estudios Giennenses, No 182, p. 109-122.

OLIVEIRA-GALVÃO, A. L. C.; COSTA-NETO, J. F. 2013. **Proposta de Procedimento Metodológico para Avaliação do Nível de Relevância de Cavidades Naturais Subterrâneas.** Revista Brasileira de Espeleologia, v. 1. p.19-34.

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

PEREIRA, M. C. 2012. **Aspectos genéticos e morfológicos das cavidades naturais da Serra da Piedade, Quadrilátero Ferrífero/MG**. Dissertação de mestrado Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Minas Gerais. 149p.

PEREIRA P. 2006. **Património geomorfológico: conceptualização, avaliação e divulgação. Aplicação ao Parque Natural de Montesinho**. Tese de Doutoramento, Universidade do Minho. Braga. 370p.

PEREIRA R.F.; BRILHA J.; MARTINEZ J.E. 2008. **Proposta de enquadramento da geoconservação na legislação ambiental brasileira**. In: Memórias e Notícias da Conferência Internacional: As Geociências no Desenvolvimento das Comunidades Lusófonas. Publicação do Departamento de Ciências da Terra e do Museu Mineralógico e Geológico da Universidade de Coimbra. p.491–494

PEREIRA, R. G. F. A. 2010. **Geoconservação e desenvolvimento sustentável na Chapada Diamantina (Bahia-Brasil)**. Tese de Doutoramento em Ciências – Especialidade em Geologia. Universidade do Minho Portugal. 310p.

PILÓ, L. B.; AULER, A. S. 2011. **Introdução à Espeleologia**. In: III Curso de Espeleologia e Licenciamento Ambiental. Belo Horizonte: Instituto Terra Brasilis. p.7-23. Disponível em: <<https://www.icmbio.gov.br/cecav/images/download/Apostila%20Curso%20de%20Espeleologia%20e%20Licenciamento%20Ambiental.pdf>>. Acesso em: 28 de abril de 2020.

PILÓ, L. B.; AULER, A. S. 2013. **Geoespeleologia**. In: IV Curso de Espeleologia e Licenciamento Ambiental. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio) e Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas (CECAV). 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: 22 de abril de 2020.

PONTES, H.S.; MELO, M.S. 2011. **Caverna da Chaminé, Ponta Grossa, PR, Brasil: potencial espeleológico, recursos hídricos subterrâneos e riscos geoambientais**. Sociedade Brasileira de Espeleologia – SBE. Campinas, SP. Espeleo-Tema. v.22, n.1. p.111-126.

PONTES, H. S.; BAGATIM, H. Q. 2012. **Estudo Espeleológico no Distrito de Abapã, município de Castro (PR)**. Trabalho de exploração, prospecção e estudo espeleológico para licenciamento ambiental. 53p.

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

PONTES, H.S.; MASSUQUETO, L. L. 2015. **As lacunas na legislação municipal e os desafios para a conservação do patrimônio espeleológico de Ponta Grossa (PR)**. In: I Congresso de Patrimônio Cultural e II Simpósio Ponta-Grossense de Patrimônio Cultural, Ponta Grossa/PR. Anais do I Congresso de Patrimônio Cultural e II Simpósio Ponta-Grossense de Patrimônio Cultural.

PONTES, H. S. 2018. **Patrimônio geológico cárstico em rochas areníticas e políticas públicas de geoconservação, com base em estudo de caso do município de Ponta Grossa (PR)**. Relatório de qualificação de doutorado. Programa de Pós-graduação em Geologia da Universidade Federal do Paraná (UFPR). 103p.

PONTES, H.S., MASSUQUETO, L.L., FERNANDES, L.A., FOLTRAN, A.C.; MELO, M.S.; MOREIRA, J.C. 2018. **Caves Geodiversity Evaluation as an Instrument to the Management of the Campos Gerais National Park, Southern Brazil**. Ge heritage. p. 1-11. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s12371-018-0317-9>>. Acesso em: 22 de abril de 2020.

PONTES, H.S. 2019. **Patrimônio geológico cárstico em rochas areníticas e políticas públicas de geoconservação, com base em estudo de caso do município de Ponta Grossa (PR)**. Tese de Doutorado – Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências da Terra, Programa de Pós-graduação em Geologia, Curitiba. 260p.

ROCHA, H. L.; GUIMARÃES, G. B. 2010. **Geofomas cársticas em rochas quartzosas dos Campos Gerais do Paraná: inventariação e quantificação de geossítios de valor científico**. Anais do II Simpósio Sul-Brasileiro de Espeleologia – A Espeleologia no Sul do Brasil. Ponta Grossa – PR.

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

RIBAS, L. M. L. R.; CARVALHO, L. C. 2009. **Cavidade natural subterrânea: natureza jurídica**. Interações: Campo Grande, *online*, v.10, n.1, p.83-93. ISSN 1518-7012. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/inter/v10n1/09.pdf>>. Acesso em: 20 de agosto de 2018.

RODET, J. 1996. **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. III 322. p.1039-1045.

RUCHKYS U.A., TRAVASSOS, L.E.P., RASTEIRO, M.A., FARIA, L.E. 2015. **Patrimônio Espeleológico em Rochas Ferruginosas. Propostas para sua conservação no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais**. Campinas/SP. Sociedade Brasileira de Espeleologia – SBE. 1ª ed. 351p.

SHARPLES, C. 2002. **Concepts and principles of Geoconservation**. Tasmanian Parks and Wildlife Service website. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/266021113_Concepts_and_principles_of_geoconservation>. Acesso em: 22 de abril de 2020.

SIGA JR., O; BASEI, M. A. S.; SATO, K.; PRAZERES FILHO, H. J.; CURY, L. F.; WEBER, W.; PASSARELLI, C. R.; HARARA, O. M.; REIS NETO, J. M. 2003. **U-Pb (zircon) ages of metavolcanic rocks from the Itaiacoca Group: tectonic implications**. *Geologia-USP. Série Científica*, v. 3, p.39-49.

SOUZA, A.P. 1990. **Mapa geológico na escala 1: 50.000 e esboço da evolução tectônica e sedimentar do Grupo Itaiacoca, nas folhas Barra do Chapéu e Ouro Verde - SP/PR**. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. São Paulo. 200p.

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

SMITH, G. 1998. **Glossary of Caving Terms**. Disponível em: <<http://wasg.org.au/index.php/2015-09-05-08-07-15/2016-06-27-13-46-34/glossary-of-caving-terms>>. Acesso em: 22 de abril de 2020.

SOBREIRA, F. G. 2001. **Susceptibilidade a processos geológicos e suas consequências na área urbana de Mariana, MG**. *Geo.br* 1. Disponível em: <http://www.degeo.ufop.br/geobr/artigos/artigos_completos/volume1/sobreira1.pdf> Acesso em: 22 de abril de 2020.

SOUZA, A.P. 1990. **Mapa geológico na escala 1: 50.000 e esboço da evolução tectônica e sedimentar do Grupo Itaiacoca, nas folhas Barra do Chapéu e Ouro Verde - SP/PR**. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. São Paulo. 200p.

SOUZA-SILVA, M., MARTINS, R.P., FERREIRA, R. L. 2015. **Cave Conservation Priority Index to Adopt a Rapid Protection Strategy: A Case Study in Brazilian Atlantic Rain Forest.** Environmental Management. p.279-295.

SZABÓ, G. A. J.; ANDRADE, F. R. D.; GUIMARÃES, G. B.; MOYA, F. A.; CARVALHO, F. M. S. 2004. **Genesis of talc deposits and the metamorphic history of the Itaiacoca Group metadolomites, southern Brazil.** In: International 46 Congress On Applied Mineralogy, 8. Águas de Lindóia. Proceedings... Águas de Lindóia: IMA, 2004. v. 1. p.759-761.

TCU – Tribunal de Contas da União. 2013. **Relatório Análise da proteção das cavernas do Brasil (TC 016.535/2013-8).** Disponível em: <http://www.tcu.gov.br/Consultas/Juris/Docs/judoc/Acord/20140613/AC_1571_21_14_P.doc>. Acesso em: 22 de abril de 2020.

TIMO, M.B.; ACÁCIO, C.E.R.S. 2012. **Proposta de metodologia para cálculo estatístico de dados espeleométricos de acordo com a Instrução Normativa nº 2 do Ministério do Meio Ambiente.** Espeleo-Tema: Campinas, SBE, v.23, n.2. p.43-58.

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

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

TOMAZZOLI, E. R.; PELLERIN, J. M. 2015. **Unidades do mapa geológico da ilha de Santa Catarina: as rochas.** Geosul, Florianópolis, v. 30, n. 60. p.225-247.

TRAJANO, E.; BICHUETTE, M.E. 2010. **Relevância de cavernas: porque estudos ambientais espeleobiológicos não funcionam.** Espeleo-Tema: Campinas, SBE, v. 21, n. 1. p.105-112.

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

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

VERGÈS-BELMIN, V. 2008. **Illustrated glossary on stone deterioration patterns.** English-French ed., Monuments & Sites n°. 15. Paris: ICOMOS and (ISCS) International Scientific Committee for Stone. 86p.

WHITE, S.; MITCHELL, M. 2006. **Geological heritage sites: a procedure and protocol for documentation and assessment.** AESC2006, Melbourne, Austrália, 2p.

WINGE, M. 2001. **Glossário Geológico Ilustrado.** Disponível em <<http://sigep.cprm.gov.br/glossario/>>. Acesso em: 24 de setembro de 2018.

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

YOUNG, R. W.; WRAY, R. A. M.; YOUNG, A. R. M. 2009. **Sandstone Landforms.** Cambridge University Press, Cambridge, UK.

ZALÁN, P. V.; WOLFF, S.; CONCEIÇÃO J. C. J. 1990. **Bacia do Paraná.** In: Gabaglia GPR and Milani EJ. Origem e evolução de Bacias Sedimentares, 3rd edn. Gávea, Rio de Janeiro, p.135–168

ANEXOS

ANEXO 1

Instrução Normativa nº 2, de 30 de agosto de 2017



DIÁRIO OFICIAL DA UNIÃO Nº 169
Seção I - páginas 161 a 165

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE

GABINETE DO MINISTRO

INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº - 2, DE 30 DE AGOSTO DE 2017

Define a metodologia para a classificação do grau de relevância das cavidades naturais subterrâneas, conforme previsto no art. 5º do Decreto nº 99.556, de 1º de outubro de 1990.

O MINISTRO DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE, no uso de suas atribuições, e tendo em vista o disposto no art. 5º do Decreto nº 99.556, de 1º de outubro de 1990, e o que consta do Processo Sei! Nº 02000.000962/2017-41, resolve:

Art. 1º O grau de relevância das cavidades naturais subterrâneas será classificado de acordo com a metodologia estabelecida nesta Instrução Normativa, observando-se os princípios e conceitos desta norma.

Art. 2º A cavidade natural subterrânea será classificada de acordo com seu grau de relevância em máximo, alto, médio ou baixo, determinado pela análise dos atributos e variáveis listados no Anexo I desta Instrução Normativa, avaliados sob enfoque local e regional.

Art. 3º Entende-se por cavidade natural subterrânea com grau de relevância máximo aquela que possui pelo menos um dos atributos listados abaixo:

- I - gênese única ou rara;
- II - morfologia única;
- III - dimensões notáveis em extensão, área ou volume;
- IV - espeleotemas únicos;
- V - isolamento geográfico;
- VI - abrigo essencial para a preservação de populações geneticamenteviáveis de espécies animais em risco de extinção, constantes de listas oficiais;
- VII - habitat essencial para preservação de populações geneticamenteviáveis de espécies de troglóbios endêmicos ou relictos;
- VIII - habitat de troglóbio raro;
- IX - interações ecológicas únicas;
- X - cavidade testemunho; ou
- XI - destacada relevância histórico-cultural ou religiosa.

Parágrafo único. Para efeitos desse artigo, o atributo a que se refere seu inciso V só será considerado no caso de cavidades com grau de relevância alto e médio.

Art. 4º A definição do grau de relevância das cavidades naturais subterrâneas deverá considerar, segundo os enfoques local e regional, os atributos, grupos de atributos, peso e contribuição, conforme Anexo II desta Instrução Normativa.

§ 1º O resultado final para cada grupo de atributos será obtido pela somatória do resultado parcial de cada atributo avaliado, que por sua vez será resultado da multiplicação dos valores do peso e da contribuição de cada atributo.

§ 2º Somente os resultados finais que sejam iguais ou superiores a 30% do valor potencial máximo para cada grupo de atributos serão considerados minimamente significativos para fins de avaliação do grau de relevância da cavidade natural subterrânea.

Art. 5º A importância dos atributos das cavidades naturais subterrâneas será definida como acentuada, significativa ou baixa de acordo com o número de grupos de atributos minimamente significativos, avaliados sob os enfoques local e regional, conforme Anexo III desta Instrução Normativa.

Art. 6º Entende-se por cavidade natural subterrânea com grau de relevância alto aquela cuja importância de seus atributos seja considerada:

- I - acentuada sob enfoque local e regional; ou
- II - acentuada sob enfoque local e significativa sob enfoque regional.

Art. 7º Entende-se por cavidade natural subterrânea com grau de relevância médio aquela cuja importância de seus atributos seja considerada: I - acentuada sob enfoque local e baixa sob enfoque regional; ou II - significativa sob enfoque local e regional.

Art. 8º Entende-se por cavidade natural subterrânea com grau de relevância baixo aquela cuja importância de seus atributos seja considerada: I - significativa sob enfoque local e baixa sob enfoque regional; ou II - baixa sob enfoque local e regional.

Art. 9º Quando a configuração de atributos sob enfoque local não for considerada de importância acentuada ou significativa, será, por exclusão, considerada de importância baixa.

Art. 10. Quando a configuração de atributos sob enfoque regional não for considerada de importância acentuada ou significativa, será, por exclusão, considerada de importância baixa.

Art. 11. A definição do grau de relevância das cavidades naturais subterrâneas deverá ser iniciada com a análise das configurações de atributos sob enfoque regional, seguindo a chave de classificação do Anexo IV desta Instrução Normativa.

Parágrafo único. Para os casos de relações de importância de atributos não previstas nos §§ 6º, 7º e 8º do art. 2º do Decreto nº 99.556, de 1º de outubro de 1990, a importância dos atributos sob enfoque local assumirá a mesma importância identificada para os atributos sob enfoque regional.

Art. 12. As cavidades naturais subterrâneas com menos de cinco metros de desenvolvimento linear serão classificadas com baixo grau de relevância, desde que demonstrada a inexistência de:

- I - zona afótica;
- II - destacada relevância histórico-cultural ou religiosa;
- III - presença de depósitos químicos, clásticos ou biogênicos designificativo valor científico, cênico ou ecológico; ou
- IV - função hidrológica expressiva para o sistema cárstico.

Parágrafo único. As cavidades naturais subterrâneas a que se refere o caput não serão consideradas para fins dos cálculos espeleométricos.

Art. 13. Os estudos espeleológicos a serem realizados para fins de classificação de cavidades subterrâneas devem apresentar informações, sob os enfoques local e regional, que possibilitem a classificação em graus de relevância das cavidades naturais subterrâneas.

§ 1º Os dados sobre os atributos de cavidades naturais subterrâneas, que serão utilizados para efeitos de comparação sob os enfoques local e regional, poderão advir de fontes primárias ou secundárias.

§ 2º Não serão considerados para efeitos de comparação, sob os enfoques local e regional, dados das cavidades naturais subterrâneas para as quais há autorização para impactos negativos irreversíveis.

§ 3º As análises referentes ao enfoque local são delimitadas pela unidade geomorfológica que apresente continuidade espacial, podendo abranger feições como serras, morrotes ou sistema cárstico, o que for mais restritivo em termos de área, desde que contemplada a área de influência da cavidade natural subterrânea.

§ 4º As análises referentes ao enfoque regional são delimitadas pela unidade espeleológica.

§ 5º Entende-se por unidade espeleológica a área com homogeneidade fisiográfica, geralmente associada à ocorrência de rochas solúveis, que pode congrega diversas formas do relevo cárstico e pseudocárstico tais como dolinas, sumidouros, ressurgências, vale cegos, lapiás e cavernas, delimitada por um conjunto de fatores ambientais específicos para a sua formação.

§ 6º Os estudos espeleológicos deverão utilizar métodos analíticos e descritivos para a avaliação e a integração de dados e informações.

Art. 14. Os estudos espeleológicos devem ser realizados por equipes interdisciplinares contendo, pelo menos:

- I - levantamento bibliográfico e cartográfico;
- II - coleta e análise de dados de campo multitemporais;
- III - análise de laboratório;
- IV - processamento e integração de dados e informações; e
- V - consulta a especialistas, comunidades locais, comunidade espeleológica e instituições de ensino e pesquisa.

Parágrafo único. Os profissionais responsáveis pela realização dos estudos espeleológicos devem estar inscritos no Cadastro Técnico Federal.

Art. 15. A aprovação dos estudos espeleológicos para fins de classificação do grau de relevância de cavidades naturais subterrâneas está condicionada à apresentação de informações suficientes à compreensão do ecossistema cavemícola.

§ 1º Os estudos biológicos devem levar em consideração também o sistema subterrâneo, do qual a cavidade natural subterrânea faz parte.

§ 2º Os levantamentos biológicos devem atender o mínimo de um ciclo anual com, pelo menos, duas amostragens por ano, sendo uma na estação chuvosa e outra na estação seca, visando minimamente revelar aspectos decorrentes da sazonalidade climática.

§ 3º O intervalo mínimo entre as duas amostragens será determinado em termo de referência.

§ 4º A definição das estações chuvosa e seca deverá ser demonstrada metodologicamente e utilizar os melhores dados disponíveis.

§ 5º Em regiões que não apresentem estações seca e chuvosa bem definidas, as amostragens deverão ser realizadas em duas estações com características climáticas distintas.

§ 6º Fica dispensada a obrigatoriedade de réplica nas amostragens biológicas em cavidade natural subterrânea na qual seja identificado atributo que a classifique com grau de relevância máximo.

§ 7º As variáveis dos atributos "Riqueza de espécies" e "Diversidade de espécies" deverão ser definidas comparando-se com outras cavidades naturais subterrâneas da mesma litologia sob enfoque local.

§ 8º Não havendo base de comparação sob enfoque local quanto às variáveis dos atributos "Riqueza de espécies" e "Diversidade de espécies", mediante justificativa técnico-científica, esta comparação poderá ser feita sob enfoque regional.

§ 9º A identificação dos organismos deve ser realizada até o nível de espécie, sendo facultada, mediante justificativa técnico-científica, a identificação até categorias taxonômicas hierarquicamente superiores.

§ 10. Nos casos em que não for identificada a espécie, os atributos "Riqueza de espécies" e "Diversidade de espécies" deverão ser analisados considerando o número de morfo-espécies.

§ 11. Os procedimentos de levantamento faunístico devem seguir métodos consagrados ou de eficácia comprovada cientificamente.

Art. 16. O atributo referente à destacada relevância histórico-cultural ou religiosa de uma cavidade natural subterrânea, previsto no inciso XI do § 4º do art. 2º do Decreto nº 99.556, de 1990, será objeto de avaliação pelo órgão competente.

Art. 17. Constatada a presença de agentes patogênicos e vetores de doença nas cavidades estudadas, o fato deverá ser informado às autoridades de saúde pública.

Art. 18. Qualquer impacto negativo irreversível deverá ser precedido de registro e armazenamento cartográfico e fotográfico, bem como de inventário e coleta de espeleotemas e elementos geológicos, paleontológicos e biológicos representativos do ecossistema cavernícola, compreendendo o resgate, transporte adequado e a destinação a coleções científicas institucionais.

§ 1º São vedados impactos negativos irreversíveis em cavidades naturais subterrâneas que apresentem ocorrência de táxons novos até que seja realizada a sua descrição científica formal.

§ 2º Impactos negativos irreversíveis em cavidades naturais subterrâneas que apresentem ocorrência de táxons novos sem sua descrição científica formal poderão ser permitidos se confirmada a existência de caracteres que se repetem, comprovando que os indivíduos de cada grupo pertencem a uma única forma taxonômica, e desde que não represente troglóbio raro, endêmico ou relicto.

Art. 19. Caberá ao Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade - Instituto Chico Mendes realizar a gestão do Cadastro Nacional de Informações Espeleológicas-CANIE, criando os meios necessários para sua execução.

§ 1º O órgão gestor do CANIE poderá credenciar, mediante os instrumentos legais de cooperação técnica, a alimentação das informações espeleológicas disponíveis no país por outras entidades.

§ 2º O empreendedor que vier a requerer licenciamento ambiental deverá realizar seu cadastramento prévio no CANIE informando os dados do patrimônio espeleológico mencionados no processo de licenciamento, independentemente do cadastro ou registro existentes em outros órgãos.

§ 3º Os dados e informações gerados a partir dos estudos espeleológicos, bem como os métodos analíticos e descritivos utilizados para sua avaliação e integração, deverão ser inseridos no CANIE pelo responsável pela sua realização.

§ 4º Os órgãos ambientais licenciadores deverão cadastrar no CANIE a classificação do grau de relevância das cavidades naturais subterrâneas objeto de licenciamento ambiental.

Art. 20. A preservação de 2 (duas) cavidades testemunho, ou outras formas de compensação previstas no § 3º, art. 4º, do Decreto nº 99.556, de 1990, definidas em procedimento de licenciamento ambiental, será condicionante para o licenciamento de empreendimentos que causem impactos a outras cavidades naturais subterrâneas de alta relevância.

§ 1º As cavidades testemunho preservadas deverão apresentar configurações similares de quaisquer elementos que compõem os grupos de atributos que determinaram a classificação de alta relevância para a cavidade alvo de impactos negativos irreversíveis.

§ 2º As cavidades testemunho definidas no processo de licenciamento têm grau de relevância máximo, ficando vedado o licenciamento de atividades que lhes causem impactos negativos irreversíveis.

Art. 21. O Instituto Chico Mendes, por meio do CECAV, atuará no monitoramento e aperfeiçoamento dos instrumentos relacionados ao controle e uso das cavidades naturais subterrâneas.

§ 1º O Instituto Chico Mendes deverá, sempre que entender necessário, solicitar ao órgão licenciador informações acerca dos estudos espeleológicos considerados para efeito da classificação do grau de relevância de cavidade natural subterrânea, na forma do § 5º do art. 2º da Lei nº 10.650, de 16 de abril de 2003.

§ 2º O Instituto Chico Mendes contará, quando necessário, com suporte técnico/científico de especialistas, entidades e instituições direta ou indiretamente afetas à espeleologia para fins de construção e aprimoramento de instrumentos que contribuam para a avaliação, classificação e reclassificação do grau de relevância das cavidades naturais subterrâneas.

Art. 22. Esta Instrução Normativa deverá ser revista em um prazo máximo de 5 anos contados da data de sua publicação, ouvidos o Instituto Chico Mendes, o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis IBAMA e demais setores, inclusive governamentais, afetos ao tema.

Art. 23. Esta Instrução Normativa entra em vigor na data de sua publicação.

Art. 24. Fica revogada a Instrução Normativa nº 2, de 20 de agosto de 2009, publicada no Diário Oficial da União de 21 de agosto de 2009, Seção 1, páginas 68 a 71.

SARNEY FILHO

ANEXO I

TABELA I - Atributos e respectivos conceitos a serem considerados para fim de classificação do grau de relevância máximo das cavidades naturais subterrâneas.

Atributo considerado para classificação de grau de relevância máximo	Conceito	Variável
Gênese única ou rara	Cavidade que, no universo de seu entorno (escala local ou regional) e litologia apresente algum diferencial, com relação ao seu processo de formação e dinâmica evolutiva.	Presença
		Ausência
Morfologia única	Cavidade que, no universo de seu entorno (escala local ou regional) e sua litologia apresente algum diferencial em relação à forma, organização espacial das galerias e/ou feições morfológicas internas (espeleogens), considerando o todo ou parte da cavidade.	Presença
		Ausência
Dimensões notáveis em extensão, área e/ou volume	Cavidade que apresente extensão (horizontal ou vertical), área ou volume superiores a 8 vezes a mediana relativo ao enfoque local ou regional.	Presença
		Ausência
Espeleotemas únicos	Cavidade que apresente espeleotemas, individualmente ou em conjunto, pouco comuns ou excepcionais, em tamanho, mineralogia, tipologia, beleza ou profusão, especialmente se considerados frente à litologia dominante da cavidade ou sob os enfoques territoriais considerados (local ou regional).	Presença
		Ausência
Isolamento geográfico	Cavidade inserida em ambiente onde não se tem registro de outras ocorrências ou remanescente de áreas degradadas, sob enfoque regional.	Presença
		Ausência
Abrigo essencial para a preservação de populações geneticamente viáveis de espécies animais em risco de extinção, constantes de listas oficiais.	Cavidade que compreenda um abrigo, ou parte importante do habitat de espécies constantes de lista oficial, nacional ou do estado de localização da cavidade, de espécies ameaçadas de extinção.	Presença
		Ausência
Habitat para a preservação de populações geneticamente viáveis de espécies de troglóbios endêmicos ou relictos.	Presença de espécie troglóbia com distribuição geográfica restrita (troglóbio endêmico). Presença de espécie troglóbia sem registro de parentes epígeos próximos (relicto filogenético), ou ainda, cujos parentes epígeos mais	Presença
		Ausência

Atributo considerado para classificação de grau de relevância máximo	Conceito	Variável
	próximos se encontram em uma região geográfica distinta (relicto geográfico).	
Habitat de troglóbio raro	Presença de espécie troglóbia que apresente número reduzido de indivíduos, ou de distribuição geográfica restrita.	Presença
		Ausência
Interações ecológicas únicas	Ocorrência de interações ecológicas duradouras raras ou incomuns, incluindo interações tróficas, considerando-se o contexto ecológico-evolutivo.	Presença
		Ausência
Cavidade testemunho	Cavidade testemunho de processos ambientais ou paleoambientais expressivos ou cavidade com grau de relevância alto apontada como salvo conduto para liberação de impactos a outra cavidade.	Presença
		Ausência
Destacada relevância histórico-cultural religiosa	Cavidades que apresentam testemunho de interesse arqueológico da cultura paleoameríndia do Brasil, tais como: inscrições rupestres, poços sepulcrais, jazigos, aterrados, estearias, locais de pouso prolongado, indícios de presença humana através de cultos e quaisquer outras não especificadas aqui, mas de significado idêntico a juízo da autoridade competente.	Presença
		Ausência

TABELA II - Atributos e respectivos conceitos a serem considerados para fim de classificação do grau de relevância das cavidades naturais subterrâneas entre: alto, médio e baixo.

Atributo considerado para classificação do grau de relevância das cavidades	Conceito
Localidade tipo	Caverna citada como local geográfico de onde foram coletados os exemplares tipo utilizados na descrição de determinada espécie ou táxon superior.
Espécies com função ecológica importante	Presença de populações estabelecidas de espécies com função ecológica importante (polinizadores, dispersores de sementes e morcegos insetívoros) que possuam relação significativa com a cavidade.
População residente de quirópteros	Conjunto de indivíduos pertencentes a mesma espécie, cuja presença contínua na cavidade seja observada por um período mínimo de um mês, caracterizando a inter-relação com o ecossistema cavernícola para a sua sobrevivência.
Local de nidificação de aves silvestres	Utilização da cavidade por aves silvestres como local de nidificação.
Táxons novos	Ocorrência de animais pertencentes a táxons ainda não descritos formalmente.
Riqueza de espécies	Estimativa do número de espécies presentes na caverna.
Diversidade de espécies	Medida da diversidade local da caverna (ou diversidade alfa), considerando a variedade (riqueza de espécies) e a abundância relativa de espécies (equitabilidade).
Composição singular da fauna	Ocorrência de populações estabelecidas de espécies de grupos pouco comuns ao ambiente cavernícola.
Troglóbios	Animais de ocorrência restrita ao ambiente subterrâneo.
Espécies troglomórficas	Ocorrência de animais cujas características morfológicas revelem especialização decorrente do isolamento no ambiente subterrâneo.

Atributo considerado para classificação do grau de relevância das cavidades	Conceito
Trogloxeno obrigatório	Trogloxeno que precisa necessariamente utilizar a cavidade para completar seu ciclo de vida.
População excepcional em tamanho	Conjunto de indivíduos da mesma espécie com número excepcionalmente grande de indivíduos.
Espécies migratórias	Utilização da cavidade por espécies migratórias.
Singularidade dos elementos faunísticos da cavidade sob enfoque local	Especificidade ou endemismo dos elementos bióticos identificados na cavidade, se comparados àqueles também encontrados nas cavidades da mesma unidade geomorfológica.
Singularidade dos elementos faunísticos da cavidade sob enfoque regional	Especificidade apresentada pelos elementos bióticos identificados na cavidade, se comparadas àquelas também encontradas nas cavidades da mesma unidade espeleológica.
Espécie rara	Ocorrência de organismos representantes de espécies cavernícolas não-troglóbias com distribuição geográfica restrita e pouco abundante.
Projeção horizontal	Soma da projeção horizontal dos eixos de desenvolvimento da cavidade e classificação do resultado em relação aos percentis 20 e 50 observados nas cavidades que se distribuem na mesma unidade espeleológica.
Desnível	Comparação da diferença entre a cota do piso mais alta e a mais baixa da cavidade sob análise, em relação aos desníveis calculados de outras cavidades [considerando os percentis 20 e 50 do conjunto de dados] que se distribuem na mesma unidade espeleológica.
Área da projeção horizontal da caverna	Área calculada em superfície da cavidade em relação às áreas calculadas de outras cavidades [considerando os percentis 20 e 50 do conjunto de dados] que se distribuem na mesma unidade espeleológica.
Volume	

Atributo considerado para classificação do grau de relevância das cavidades	Conceito
	Volume da cavidade sob análise em relação aos volumes calculados de outras cavidades [considerando os percentis 20 e 50 do conjunto de dados] que se distribuem na mesma unidade espeleológica.
Estruturas geológicas de interesse científico	Estrutura na rocha matriz de importância científica (ex. contatos, tectonismo, mineralogia), incluindo estruturas herdadas do processo de formação da cavidade (ex. scallops, bell holes, mamitas, meandros de teto, anastomoses pendentes, meios tubos, box work e assemelhados), padrões morfológicos ou seções geométricas.
Água de percolação ou condensação	Infiltração de água através de poros, diáclases, falhas, ou umidade existente na atmosfera da caverna sob a forma condensada.
Lago ou drenagem subterrânea	Corpo ou curso d'água, perene ou intermitente, presente na cavidade.
Diversidade de depósitos químicos	Complexidade da deposição secundária de minerais presentes em solução em relação aos tipos de espeleotemas (diversidade genética, morfológica e mineral) e processos (água estagnada, circulante ou de exsudação, etc.).
Configuração dos espeleotemas	Aspecto, maturidade ou abundância dos depósitos minerais secundários.
Sedimentação clástica ou química	Interesse/importância científica ou didática (biológica, climática, paleoclimática, antropológica, paleontologia) da deposição de fragmentos desagregados de rochas, solos e outros acúmulos sedimentares, inclusive orgânicos, de tamanhos diversos, associada à dinâmica hidrológica, morfológica, ou da deposição secundária de minerais presentes em solução.
Registros paleontológicos	Fósseis de animais e vegetais (restos, vestígios).
Influência sobre o sistema cárstico	Influência da cavidade sobre as demais estruturas e funções do sistema cárstico, inclusive sua importância para a manutenção da estabilidade estrutural do sistema (ex.: subsidências).

Atributo considerado para classificação do grau de relevância das cavidades	Conceito
Inter-relação da cavidade com alguma de relevância máxima	Sobreposição de áreas de influência.
Reconhecimento do valor estético/cênico	Reconhecimento do valor paisagístico atribuído à cavidade (paisagem subterrânea ou superficial).
Visitação pública	Visitação pública de interesse difuso ou por grupo de usuários com interesse específico à investigação ou exploração espeleológica, recreação ou esporte.

ANEXO II INMMA n° 2

Enfoque Local

Atributos relacionados ao ecossistema cavernícola	Parâmetros para avaliação	Peso	Contribuição (%)	Resultado parcial (peso x contribuição)	Resultado final (Σ dos resultados parciais)	Resultado minimamente significativo para ser considerado na classificação do grau de relevância
Presença de populações estabelecidas de espécies com função ecológica importante	Presença	3	20	0		
	Ausência	0				
Presença de população excepcional em tamanho	Presença	3	20	0		
	Ausência	0				
Constatação de uso da cavidade por aves silvestres como local de nidificação	Constatação de uso	3	15	0	0	90
	Uso não constatado	0				
Constatação de uso da cavidade por espécies migratórias	Constatação de uso	3	15	0		
	Uso não constatado	0				
População residente de quirópteros	Presença	3	30	0		
	Ausência	0				
Atributos relacionados à ocorrência de espécies	Parâmetros para avaliação	Peso	Contribuição (%)	Resultado parcial (peso x contribuição)	Resultado final (Σ dos resultados parciais)	Resultado minimamente significativo para ser considerado na classificação do grau de relevância
Presença de táxons novos	Presença	3	30	0		
	Ausência	0				
Presença de espécies troglomórficas	Presença	3	40	0	0	90
	Ausência	0				
Presença de troglóxeno obrigatório	Presença	3	30	0		
	Ausência	0				
Atributos relacionados à sedimentação química e clástica	Parâmetros para avaliação	Peso	Contribuição (%)	Resultado parcial (peso x contribuição)	Resultado final (Σ dos resultados parciais)	Resultado minimamente significativo para ser considerado na classificação do grau de relevância
Diversidade de depósitos químicos	Muitos tipos de espeleotemas e processos de deposição	3	35	0		
	Muitos tipos de espeleotemas ou processos de deposição	2				
	Poucos tipos ou processos	1				
Configuração dos espeleotemas	Ausência de tipos e processos	0	35	0	0	90
	Notável	3				
Sedimentação clástica ou química com valor científico	Pouco significativo	0	30	0		
	Presença com valor científico	3				
	Presença sem valor científico ou ausência	0				
Atributos relacionados à hidrologia	Parâmetros para avaliação	Peso	Contribuição (%)	Resultado parcial (peso x contribuição)	Resultado final (Σ dos resultados parciais)	Resultado minimamente significativo para ser considerado na classificação do grau de relevância
Presença de água de percolação	Presença	3	50	0	0	90
	Ausência	0				
Presença de água de condensação	Presença	3	50	0		
	Ausência	0				

Atributos relacionados à espeleometria	Parâmetros para avaliação	Peso	Contribuição (%)	Resultado parcial (peso x contribuição)	Resultado final (Σ dos resultados parciais)	Resultado minimamente significativo para ser considerado na classificação do grau de relevância
Projeção horizontal	Alta (> P_{50})	3	30	0		
	Média (Intervalo entre oP_{20} e o P_{50})	2				
	Baixa (< P_{20})	0				
Área	Alta (> P_{50})	3	20	0		90
	Média (Intervalo entre oP_{20} e o P_{50})	2				
	Baixa (< P_{20})	0				
Desnível	Alto (> P_{50})	3	20	0		
	Médio (Intervalo entre oP_{20} e o P_{50})	2				
	Baixo (< P_{20})	0				
Volume	Alto (> P_{50})	3	30	0		
	Médio (Intervalo entre oP_{20} e o P_{50})	2				
	Baixo (< P_{20})	0				
Atributos relacionados a interesse científico						
Localidade tipo	Presença	3	40	0		
	Ausência	0				
	Presença	3				
Presença de registros paleontológicos	Presença	0	30	0	0	90
	Ausência	0				
	Presença	3				
Presença de estrutura geológica de interesse científico	Presença	3	30	0		
	Ausência	0				
	Presença	3				
Atributos relacionados aos geossistemas						
Alta Influência da cavidade sobre o sistema cárstico	Alta	3	50	0		
	Baixa	0				
	Presença	3				
Presença de inter-relação da cavidade com alguma de relevância máxima	Presença	3	50	0	0	90
	Ausência	0				
	Presença	3				
Atributos histórico-culturais e socioeconômicos						
Reconhecimento do valor estético/cênico da cavidade	Mundial ou nacional	3	50	0		
	Regional	2				
	Local	1				
Visitação pública na cavidade	Sem reconhecimento	0	50	0	0	90
	Regular ou frequente	3				
	Esporádica ou casual	2				
Sem visitação	0					

Enfoque Regional

Atributos relacionados ao ecossistema cavernícola	Parâmetros para avaliação	Peso	Contribuição (%)	Resultado parcial (peso x contribuição)	Resultado final (Σ dos resultados parciais)	Resultado minimamente significativo para ser considerado na classificação do grau de relevância
Presença de composição singular da fauna	Presença	3	30	0		
	Ausência	0				
Presença de singularidade dos elementos faunísticos da cavidade	Presença	3	20	0		
	Ausência	0				
Riqueza de espécies	Alta	3	20	0	0	90
	Média	2				
	Baixa	1				
Diversidade de espécies	Alta	3	30	0		
	Média	2				
	Baixa	1				
Atributos relacionados à ocorrência de espécies	Parâmetros para avaliação	Peso	Contribuição (%)	Resultado parcial (peso x contribuição)	Resultado final (Σ dos resultados parciais)	Resultado minimamente significativo para ser considerado na classificação do grau de relevância
Presença de espécie rara	Presença	3	50	0		
	Ausência	0				
Presença de troglóbios que não sejam considerados raros, endêmicos ou relictos	Presença	3	50	0	0	90
	Ausência	0				
Atributos relacionados à espeleometria	Parâmetros para avaliação	Peso	Contribuição (%)	Resultado parcial (peso x contribuição)	Resultado final (Σ dos resultados parciais)	Resultado minimamente significativo para ser considerado na classificação do grau de relevância
Projeção horizontal	Alta (>P50)	3	30	0		
	Média (intervalo entre oP20 e o P50)	2				
	Baixa (<P20)	0				
Área	Alta (>P50)	3	20	0		
	Média (intervalo entre oP20 e o P50)	2				
	Baixa (<P20)	0				
Desnivel	Alto (>P50)	3	20	0		
	Médio (intervalo entre oP20 e o P50)	2				
	Baixo (<P20)	0				
Volume	Alto (>P50)	3	30	0		
	Médio (intervalo entre oP20 e o P50)	2				
	Baixo (<P20)	0				

Atributos relacionados à hidrologia	Parâmetros para avaliação	Peso	Contribuição (%)	Resultado parcial (peso x contribuição)	Resultado final (Σ dos resultados parciais)	Resultado minimamente significativo para ser considerado na classificação do grau de relevância
Presença de drenagem subterrânea	Perene	3	50	0	0	90
	Intermitente	2				
	Ausente	0				
Presença de lago	Perene	3	50	0	0	
	Intermitente	2				
	Ausente	0				

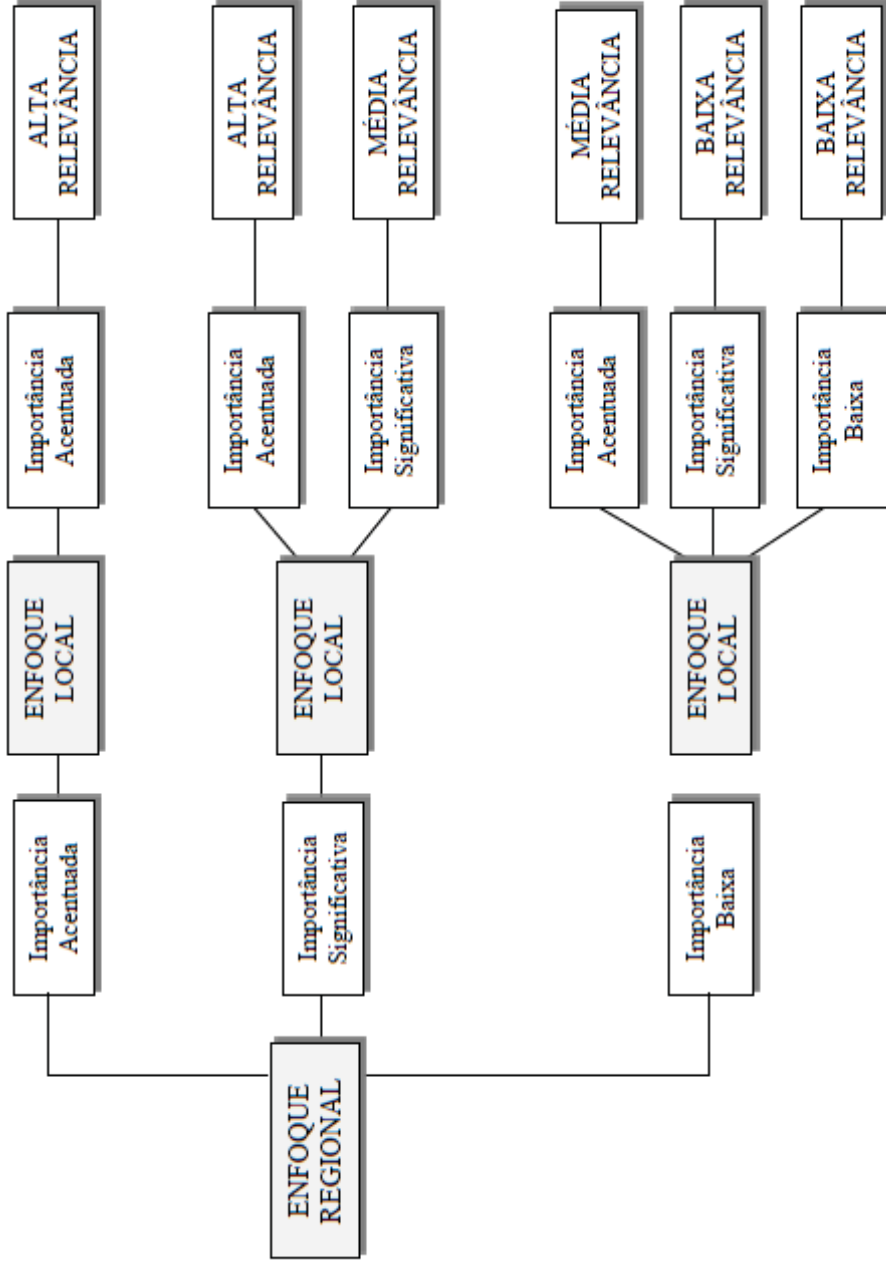
ANEXO III

Classificação de importância relativa aos atributos da cavidade natural subterrânea avaliados sob os enfoques local e regional

Importância	Número de grupos de atributos considerados minimamente significativos para a classificação do grau de relevância	
	Enfoque local	Enfoque regional
Acentuada	4 a 8	2 a 4
Significativa	1 a 3	1
Baixa	0	0

ANEXO IV

Chave de classificação do grau de relevância de cavidades naturais subterrâneas



ANEXO V

Glossário

Área de influência da caverna: área que compreende os elementos bióticos e abióticos, superficiais e subterrâneos, necessários à manutenção do equilíbrio ecológico e da integridade física do ambiente cavernícola.

Patrimônio espeleológico: conjunto de elementos bióticos e abióticos, socioeconômicos e histórico-culturais, subterrâneos ou superficiais, representado pelas cavidades naturais subterrâneas ou a estas associadas.

Sistema cárstico: conjunto de elementos interdependentes, relacionados à ação da água e seu poder corrosivo junto a rochas solúveis, que dão origem a sistemas de drenagem complexos, englobando sistemas de cavernas e demais feições superficiais destes ambientes, como as dolinas, sumidouros, vales secos, maciços rochosos com presença de lapíais e outras áreas de recarga. Incluem-se neste conceito todas as formas geradas pela associação de águas corrosivas e rochas solúveis que resultam na paisagem cárstica. É constituído por suas diversas zonas: exocarste, epicarste e endocarste.

Sistema subterrâneo: conjunto de espaços interconectados da subsuperfície, de tamanhos variáveis (desde fissuras diminutas até grandes galerias e salões), formando grandes redes de espaços heterogêneos, que podem ser preenchidos por água ou ar.

Espaço subterrâneo: espaço com seu início definido pela primeira poligonal vertical circunscrita por paredes, piso e teto, podendo ser classificado em abrigo: quando a altura da entrada da cavidade natural subterrânea é maior que o seu desenvolvimento linear; caverna: quando a altura da entrada da cavidade natural subterrânea é menor que o seu desenvolvimento linear; ou abismo: quando o desenvolvimento linear da cavidade natural subterrânea é predominantemente vertical. No caso dos abismos, o início do espaço subterrâneo é definido pela poligonal horizontal mais elevada totalmente circunscrita pelo afloramento rochoso.

ANEXO 2

Ficha de inventário da geodiversidade de cavidades naturais subterrâneas

INVENTÁRIO DA GEODIVERSIDADE DE CAVIDADES NATURAIS SUBTERRÂNEAS				
Dados Geológicos				
Unidade Geológica:		Descrição geral da unidade geológica:		
Estruturas sedimentares e tectônicas				
Horizontal ()	Sub horizontal ()	Inclinada ()	Sub vertical ()	Vertical ()
Falha ()	Fenda ()	Contato ()	Pequena fratura ()	Ícnofóssil ()
Outra () Qual?:			Atitude:	
Feições da geodiversidade				
Feição	Distribuição	Quantidade	Descrição geral	
Espeleotemas	Ao longo da cavidade ()	Muito grande ()		
		Grande ()		
	Pontos isolados ()	Média ()		
		Pequena ()		
	Apenas em um único trecho ()	Muito pequena ()		
	Inexistente ()			
Depósitos clásticos	Ao longo da cavidade ()	Muito grande ()		
		Grande ()		
	Pontos isolados ()	Média ()		
		Pequena ()		
	Apenas em um único trecho ()	Muito pequena ()		
	Inexistente ()			
Dutos de dissolução (Canalículos)	Ao longo da cavidade ()	Muito grande ()		
		Grande ()		
	Pontos isolados ()	Média ()		
		Pequena ()		
	Apenas em um único trecho ()	Muito pequena ()		
	Inexistente ()			
Cúpulas de dissolução (<i>Bell-Holes, Out-let</i>)	Ao longo da cavidade ()	Muito grande ()		
		Grande ()		
	Pontos isolados ()	Média ()		
		Pequena ()		
	Apenas em um único trecho ()	Muito pequena ()		
	Inexistente ()			
Domos (<i>Out-let</i>)	Ao longo da cavidade ()	Muito grande ()		
		Grande ()		
	Pontos isolados ()	Média ()		
		Pequena ()		
	Apenas em um único trecho ()	Muito pequena ()		
	Inexistente ()			
Chaminés de equilíbrio (<i>Out-let</i>)	Ao longo da cavidade ()	Muito grande ()		
		Grande ()		
	Pontos isolados ()	Média ()		
		Pequena ()		
	Apenas em um único trecho ()	Muito pequena ()		
	Inexistente ()			
	Ao longo da	Muito grande ()		

Claraboias	cavidade ()	Grande ()	
	Pontos isolados ()	Média ()	
	Apenas em um único trecho ()	Pequena ()	
		Muito pequena ()	
Alvéolos (<i>Tafoni/Honeycomb</i>)	Ao longo da cavidade ()	Muito grande ()	
	Pontos isolados ()	Grande ()	
		Média ()	
	Apenas em um único trecho ()	Pequena ()	
Muito pequena ()			
Canais de teto (Meandros de teto, <i>Half-Tube</i>)	Ao longo da cavidade ()	Muito grande ()	
	Pontos isolados ()	Grande ()	
		Média ()	
	Apenas em um único trecho ()	Pequena ()	
Muito pequena ()			
Canais de parede (<i>Half-Tube</i>)	Ao longo da cavidade ()	Muito grande ()	
	Pontos isolados ()	Grande ()	
		Média ()	
	Apenas em um único trecho ()	Pequena ()	
Muito pequena ()			
<i>Scallops</i>	Ao longo da cavidade ()	Muito grande ()	
	Pontos isolados ()	Grande ()	
		Média ()	
	Apenas em um único trecho ()	Pequena ()	
Muito pequena ()			
Alimentadores (<i>Feeders</i>)	Ao longo da cavidade ()	Muito grande ()	
	Pontos isolados ()	Grande ()	
		Média ()	
	Apenas em um único trecho ()	Pequena ()	
Muito pequena ()			
Anastomoses	Ao longo da cavidade ()	Muito grande ()	
	Pontos isolados ()	Grande ()	
		Média ()	
	Apenas em um único trecho ()	Pequena ()	
Muito pequena ()			
Incrustações	Ao longo da cavidade ()	Muito grande ()	
	Pontos isolados ()	Grande ()	
		Média ()	
	Apenas em um único trecho ()	Pequena ()	
Muito pequena ()			
Sulcos verticais (cerdas de baleia)	Ao longo da cavidade ()	Muito grande ()	
	Pontos isolados ()	Grande ()	
		Média ()	
	Apenas em um único trecho ()	Pequena ()	
Muito pequena ()			
Pendentes	Ao longo da cavidade ()	Muito grande ()	
	Pontos isolados ()	Grande ()	
		Média ()	
	Apenas em um único trecho ()	Pequena ()	
Muito pequena ()			
Pontões estruturais	Ao longo da cavidade ()	Muito grande ()	
	Pontos isolados ()	Grande ()	
		Média ()	
	Apenas em um	Pequena ()	
	Muito pequena ()		

	único trecho ()	Inexistente ()	
Pilares	Ao longo da cavidade ()	Muito grande ()	
		Grande ()	
	Pontos isolados ()	Média ()	
		Pequena ()	
Apenas em um único trecho ()	Muito pequena ()		
	Inexistente ()		
Patamares	Ao longo da cavidade ()	Muito grande ()	
		Grande ()	
	Pontos isolados ()	Média ()	
		Pequena ()	
Apenas em um único trecho ()	Muito pequena ()		
	Inexistente ()		
Painéis (Marmitas)	Ao longo da cavidade ()	Muito grande ()	
		Grande ()	
	Pontos isolados ()	Média ()	
		Pequena ()	
Apenas em um único trecho ()	Muito pequena ()		
	Inexistente ()		
Boxworks	Ao longo da cavidade ()	Muito grande ()	
		Grande ()	
	Pontos isolados ()	Média ()	
		Pequena ()	
Apenas em um único trecho ()	Muito pequena ()		
	Inexistente ()		
Rocha fantasma (Fantomização)	Ao longo da cavidade ()	Muito grande ()	
		Grande ()	
	Pontos isolados ()	Média ()	
		Pequena ()	
Apenas em um único trecho ()	Muito pequena ()		
	Inexistente ()		
Estruturas geológicas (falhas, características estratigráficas, contatos, icnofósseis, etc.)	Ao longo da cavidade ()	Muito grande ()	
		Grande ()	
	Pontos isolados ()	Média ()	
		Pequena ()	
Apenas em um único trecho ()	Muito pequena ()		
	Inexistente ()		

ANEXO 3

Ficha de pesquisa para tese de doutorado de Laís Luana Massuqueto

Programa de Pós-Graduação em Geologia da Universidade Federal do Paraná – UFPR

Área: Geologia Ambiental. Linha de Pesquisa: Geoconservação e Patrimônio Geológico

Orientador: Dr. Luiz Alberto Fernandes

Venho com este documento solicitar sua avaliação na identificação de feições da geodiversidade de cavernas desenvolvidas em diferentes litotipos no Brasil.

O documento consiste numa lista de 23 (vinte e três) feições. Peço para que sejam assinaladas na tabela quais feições, você pesquisador(a), conhece nas cavernas nas quais trabalha. Caso conheça a feição com outro nome, favor indicar nas observações ao final da tabela, indicando o número da feição e como é conhecida, assim como, se conhece outra feição que não foi listada, favor também indicar nas observações (se possível incluir foto). As feições podem ser desenvolvidas nos quatro contextos geológicos que a presente pesquisa aborda, ou exclusiva de apenas um litotipo.

Abaixo segue a tabela, com a lista das vinte e três feições. Favor, assinalar sobre qual tipo (litologia) de caverna irá auxiliar nesta pesquisa ou em qual desenvolve pesquisas e tem mais conhecimento.

Saliento aqui que os dados de: *nome, instituição, cidade e UF* do pesquisador consultado, não serão publicados, servem apenas para controle da pesquisadora.

***Enviar a ficha preenchida para: lais.massuqueto@gmail.com**

Nome:

Instituição:

Cidade:

UF:

INVENTÁRIO DA GEODIVERSIDADE DE CAVIDADES NATURAIS SUBTERRÂNEAS				
Litotipo	Siliciclástica ()	Carbonática ()	Granítica ()	Ferrífera ()
FEIÇÕES DA GEODIVERSIDADE				
Espeleotemas	Sim () Não ()	Sim () Não ()	Sim () Não ()	Sim () Não ()
Depósitos clásticos	Sim () Não ()	Sim () Não ()	Sim () Não ()	Sim () Não ()
Dutos de dissolução (Canalículos)	Sim () Não ()	Sim () Não ()	Sim () Não ()	Sim () Não ()
Cúpulas de dissolução (<i>Bell-Holes, Out-let</i>)	Sim () Não ()	Sim () Não ()	Sim () Não ()	Sim () Não ()
Domos (Out-let)	Sim () Não ()	Sim () Não ()	Sim () Não ()	Sim () Não ()
Chaminés de equilíbrio (<i>Out-let</i>)	Sim () Não ()	Sim () Não ()	Sim () Não ()	Sim () Não ()
Claraboias	Sim () Não ()	Sim () Não ()	Sim () Não ()	Sim () Não ()
Canais de parede (<i>Half-Tube</i>)	Sim () Não ()	Sim () Não ()	Sim () Não ()	Sim () Não ()
<i>Scallops</i>	Sim () Não ()	Sim () Não ()	Sim () Não ()	Sim () Não ()
Alimentadores (<i>Feeders</i>)	Sim () Não ()	Sim () Não ()	Sim () Não ()	Sim () Não ()
Anastomoses	Sim () Não ()	Sim () Não ()	Sim () Não ()	Sim () Não ()
Incrustações	Sim () Não ()	Sim () Não ()	Sim () Não ()	Sim () Não ()
Sulcos verticais (cerdas de baleia)	Sim () Não ()	Sim () Não ()	Sim () Não ()	Sim () Não ()
Pendentes	Sim () Não ()	Sim () Não ()	Sim () Não ()	Sim () Não ()
Pontões estruturais	Sim () Não ()	Sim () Não ()	Sim () Não ()	Sim () Não ()
Pilares	Sim () Não ()	Sim () Não ()	Sim () Não ()	Sim () Não ()
Patamares	Sim () Não ()	Sim () Não ()	Sim () Não ()	Sim () Não ()
Paneles (Marmitas)	Sim () Não ()	Sim () Não ()	Sim () Não ()	Sim () Não ()
<i>Boxworks</i>	Sim () Não ()	Sim () Não ()	Sim () Não ()	Sim () Não ()
Rocha fantasma (Fantomização)	Sim () Não ()	Sim () Não ()	Sim () Não ()	Sim () Não ()
Estruturas geológicas (falhas,				

características estratigráficas, contatos, icnofósseis, etc.)	Sim () Não ()	Sim () Não ()	Sim () Não ()	Sim () Não ()
Observações:				

ANEXO 4

Minuta de Decreto nº99.556 – 2020

DECRETO Nº _____, DE _____ DE _____ 2020

Altera o Decreto nº99.556, de 1º de outubro de 1990, que dispõe sobre a proteção das cavidades naturais subterrâneas existentes no território nacional, e dá outras providências.

O PRESIDENTE DA REPÚBLICA, no uso das atribuições que lhe confere o art. 84, **caput**, inciso IV, da Constituição, tendo em vista o disposto nos arts. 20, inciso X, e 216, inciso V, da Constituição, e na Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981,

DECRETA:

Art. 1º O Decreto nº 99.556, de 1º de outubro de 1990, passa a vigorar com as seguintes alterações:

“Art. 3º As cavidades naturais subterrâneas com grau de relevância máximo ou alto só poderão ser objeto de impactos negativos irreversíveis, mediante licenciamento ambiental, quando for possível a conservação de cavidade testemunho que apresente atributos ambientais similares.

§ 1º Em se tratando de cavidade natural subterrânea com grau de relevância máximo, os impactos negativos irreversíveis a que se refere o **caput** somente serão admitidos se decorrerem de atividades ou empreendimentos definidos pelo art. 3º, inciso VIII, alínea “b”, da Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012, como de utilidade pública, sem prejuízo da obrigação de conservação de cavidade testemunho que apresente atributos ambientais similares.

§ 2º O empreendedor apresentará proposta, tecnicamente justificada, de seleção de cavidade testemunho ao órgão ambiental licenciador para validação.

§ 3º A proposta terá por objeto a preservação de cavidade natural subterrânea, com o mesmo grau de relevância e com atributos similares àquelas que sofreram o impacto, que será considerada cavidade testemunho.

§ 4º A conservação de cavidade testemunho será preferencialmente efetivada em área na mesma região ou no mesmo grupo geológico da cavidade que sofreu o impacto.

§ 5º Em caso de cavidades de relevância alta, não havendo, na área do empreendimento, outra cavidade representativa que possa ser conservada sob a forma de cavidade testemunho, o Instituto Chico Mendes poderá definir, de comum acordo com o empreendedor, outras formas de compensação.” (NR)

“Art. 2º-A. Caberá ao órgão ambiental licenciador avaliar a proposta de classificação do

grau de relevância de cavidades naturais, quando couber, antes da emissão da licença prévia.

Parágrafo único. Sem prejuízo do disposto no *caput*, a classificação do grau de relevância de uma cavidade natural subterrânea poderá ser revista a qualquer tempo, diante de novos fatos e estudos técnicos-científicos." (NR)

"Art. 4º A cavidade natural subterrânea classificada com grau de relevância médio ou baixo poderá ser objeto de impactos negativos irreversíveis, mediante licenciamento ambiental.

§ 1º No caso de empreendimento que ocasione impacto negativo irreversível em cavidade natural subterrânea com grau de relevância médio, o empreendedor deverá adotar medidas e financiar ações, conforme critérios e diretrizes definidos em ato do Ministro de Estado do Meio Ambiente, que contribuam para a conservação e o uso adequado do patrimônio espeleológico brasileiro, especialmente das cavidades naturais subterrâneas com grau de relevância máximo e alto.

§ 2º No caso de empreendimento que ocasione impacto negativo irreversível em cavidade natural subterrânea com grau de relevância baixo, o empreendedor não estará obrigado a adotar medidas e ações para assegurar a preservação de outras cavidades naturais subterrâneas.

....." (NR)

Art. 2º Ficam revogados o § 9º do art. 2º e o § 1º do art. 5º-A do Decreto nº 99.556, de 1º de outubro de 1990.

Art. 3º O Conselho Nacional de Meio Ambiente deverá adequar seus atos normativos às alterações dispostas neste Decreto no prazo de cento e oitenta dias, contados a partir da data de sua publicação.

Art. 4º Este Decreto entra em vigor na data de sua publicação.

Brasília, de _____ de 2020; 199º da Independência e 132º da República.

Referendado eletronicamente por: Bento Costa Lima Leite de Albuquerque Junior