

IV CURSO DE ESPELEOLOGIA E LICENCIAMENTO AMBIENTAL

Foto: Diogo Bento

PROMOÇÃO



Ministério do
Meio Ambiente



ORGANIZAÇÃO E REALIZAÇÃO



APOIO



IV CURSO DE ESPELEOLOGIA E LICENCIAMENTO AMBIENTAL

22 a 27 de abril de 2013

PROMOÇÃO



Ministério do
Meio Ambiente



ORGANIZAÇÃO E REALIZAÇÃO



APOIO



DILMA ROUSSEFF
Presidente da República

IZABELLA TEIXEIRA
Ministra de Estado de Meio Ambiente

ROBERTO RICARDO VIZENTIN
Presidente do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade

MARCELO MARCELINO DE OLIVEIRA
Diretor de Pesquisa Avaliação e Monitoramento da Biodiversidade – Instituto Chico Mendes

JOCY BRANDÃO CRUZ
Coordenador do Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas (CECAV/ICMBIO)

SÔNIA RIGUEIRA
Presidente do Instituto Terra Brasilis

EQUIPE TÉCNICA CECAV/ICMBIO:
Ana Lúcia de Oliveira Galvão
André Afonso Ribeiro
Cláudia do Val Vilela
Cristiano Fernandes Ferreira
Débora Campos Jansen
Issamar Meguerditchian
José Carlos Ribeiro Reino
Julio Ferreira da Costa Neto
Lindalva Ferreira Cavalcanti
Maristela Felix de Lima
Renata M. Rossato
Ricardo José Calembo Marra
Rita de Cássia Surrage de Medeiros

EQUIPE TÉCNICA INSTITUTO TERRA BRASILIS NESTE TRABALHO
Fernando Antônio Pacheco Silva
Sonia Carlos Carvalho (coordenadora / organização do curso)

Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade
Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas (CECAV/ICMBIO)
SAS QUADRA 05, LOTE 05, BLOCO H, 4º ANDAR
CEP.: 70.070-914 – BRASILIA/DF
TEL.: (61) 3035-3467
<http://www.icmbio.gov.br/cecav>
cecav.sede@icmbio.gov.br

Apresentação 1

Nas últimas décadas, presenciamos a expansão da atividade econômica no Brasil com conseqüente aumento da pressão sobre os recursos naturais. Tornou-se iminente a necessidade de um aparato legal para garantir a proteção do patrimônio espeleológico nacional, bem como normatizar seu uso. Desde que a Constituição Federal de 1988, em seu Art. 20, inciso X, instituiu que as cavidades naturais subterrâneas são bens da união, uma série de atos legais foram editados pelo poder público visando ordenar as atividades potencialmente impactantes ao patrimônio espeleológico do Brasil.

Considerando a necessidade de aprimorar os instrumentos de gestão ambiental do patrimônio espeleológico no sistema de licenciamento ambiental, o Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas (CECAV), juntamente com o Instituto Terra Brasilis, realiza o I Curso de Espeleologia e Licenciamento Ambiental do Instituto Chico Mendes, cujo público alvo são os profissionais de instituições pertencentes ao Sisnama responsáveis pela análise dos processos de licenciamento ambiental de atividades potencialmente poluidoras ou degradadores de cavidades naturais subterrâneas, ou de sua área de influência. Assim, buscamos atender a diretriz do Programa Nacional de Conservação do Patrimônio Espeleológico (PNCPE) para a integração de ações setoriais, por meio da descentralização de ações, do fortalecimento da ação governamental, do estabelecimento de parcerias e envolvimento dos setores interessados na implementação do Programa.

Nosso objetivo é contribuir com o fortalecimento institucional para a gestão do Patrimônio Espeleológico (Componente 6 do PNCPE), por meio da formação de recursos humanos e o desenvolvimento da espeleologia nos órgãos ambientais competentes para realizar o licenciamento ambiental de tais empreendimentos e atividades, conforme a legislação de proteção do patrimônio espeleológico (Decreto Nº 99.556/90, alterado pelo Decreto Nº 6.640/2008; Resolução CONAMA Nº 347/2004).

A apostila está dividida em dois módulos. No primeiro, grandes nomes da espeleologia brasileira discutem temas fundamentais para a compreensão dos ambientes cársticos: geoespeleologia, biologia subterrânea, espeleometria e avaliação de impactos ambientais; já o segundo módulo aborda a espeleologia aplicada ao processo de licenciamento ambiental. Nele, técnicos do Cecav abordam desde o histórico da espeleologia, a partir de Peter Lund, até a legislação atual, com a publicação da Instrução Normativa 02/2009 do Ministério do Meio Ambiente, que estabelece a metodologia de classificação do grau de relevância de cavidades naturais subterrâneas e cria regras para o licenciamento ambiental dos empreendimentos e atividades localizados em área de ocorrência de cavernas.

Acreditamos que esta apostila também servirá para futuras consultas e, portanto, buscamos ilustrar os conceitos apresentados e enriquecê-la com o máximo de referências bibliográficas, tornando-a um referencial e importante apoio ao técnico quando da análise de processos de licenciamento ambiental.

Jocy Brandão Cruz

Coordenador do Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas (CECAV/ICMBIO)

Apresentação 2

O Instituto Terra Brasilis, no cumprimento de sua missão institucional de promover e apoiar iniciativas voltadas à proteção do patrimônio natural e cultural, tem atuado em vários projetos e atividades que ajudam na obtenção deste objetivo.

É com este propósito que o Terra Brasilis, em articulação com o Instituto Chico Mendes de Proteção à Biodiversidade, através do Centro Nacional de Estudo, Proteção e Manejo de Cavernas, está apoiando a realização do Curso de Espeleologia e Licenciamento Ambiental, cujo principal alcance é o de formar quadros da administração pública brasileira, visando melhorar os padrões técnicos e gerenciais do extraordinário acervo espeleológico do Brasil.

Os variados temas tratados nos textos assinados por diversos autores, aqui reunidos, constituem uma expressiva fonte de conhecimentos e informações úteis àqueles que no seu trabalho cotidiano estão envolvidos com o licenciamento ambiental de empreendimentos que impactam direta ou indiretamente as cavernas localizadas em diferentes regiões do Brasil.

Sônia Rigueira

Presidente do Instituto Terra Brasilis

SUMÁRIO

1 Introdução à Espeleologia	7
2 Geoespeleologia	25
3 Prospecção Espeleológica, Topografia e Espeleometria de Cavernas	45
4 Biologia Subterrânea	89
5 Análise de Impactos Ambientais em Terrenos Cársticos e Cavernas	123
6 Atividade de Campo	149
7 Histórico e Contextualização Legal	153
8 Legislação Ambiental Aplicada	169

1 INTRODUÇÃO À ESPELEOLOGIA

Luís B. Piló e Augusto Auler

Instituto do Carste

1.1 Introdução

O presente documento tem como principal objetivo traçar um panorama introdutório ao estudo das cavernas. Inicialmente serão apresentados os principais conceitos, incluindo algumas características das cavernas e do carste. Em seguida, será avaliada as potencialidades das cavernas no Brasil, assim como as principais áreas de ocorrência. A importância das cavernas, suas fragilidades e ameaças de degradação são descritas em seguida. Após esse tópico, uma síntese da legislação sobre as cavernas é apresentada. Esta introdução é encerrada com uma breve exposição sobre os estudos espeleológicos no processo de licenciamento ambiental.

1.2 Definições e algumas características das cavernas e do carste

A definição mais utilizada internacionalmente para **caverna** consiste em uma abertura natural formada em rocha abaixo da superfície do terreno, larga o suficiente para a entrada do homem. Esta definição é adotada pela União Internacional de Espeleologia - UIS, órgão que congrega as instituições nacionais de espeleologia. Trata-se de uma definição claramente antropogênica e, em certos casos, indesejável. Em termos científicos adota-se definições distintas. Sob o ponto de vista de um pequeno troglóbio, um reduzido canal pode constituir-se em caverna. O mesmo ocorre sob o ponto de vista da hidrogeologia, já que grandes volumes de água podem fluir por dutos muito estreitos para serem acessados pelo ser humano.

Em termos de licenciamento é necessário estabelecer parâmetros dimensionais a respeito de que é caverna. Tem-se utilizado uma metragem mínima de 5 m para se definir cavernas. Consideramos este limite adequado em se tratando de cavernas em litologias como minério de ferro. Em calcários ou dolomitos, rochas solúveis e altamente favoráveis a conterem cavernas, um limite de 5 m leva

à identificação de centenas de cavernas em uma área, digamos, de algumas centenas de hectares, tornando difícil qualquer estudo posterior. Vários estudos têm demonstrado, também, que cavernas muito pequenas são quase invariavelmente despidas de atributos de importância, devido à ausência de zona escura, ausência de espeleotemas ou de animais troglóbios.

Consideramos que o limite dimensional mínimo para se definir o que é caverna deve variar com o tipo de rocha, sendo maior no caso de rochas muito propícias ao cavernamento; e menor no caso de rochas onde cavernas são feições de menor ocorrência.

Segundo o Decreto N. 6.640, de 07/11/2008, "**cavidade natural subterrânea** é todo e qualquer espaço subterrâneo acessível pelo ser humano, com ou sem abertura identificada, popularmente conhecido 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".

Para a análise das cavernas, no contexto do licenciamento ambiental, a legislação atual define que essas deverão ser avaliadas sob os enfoques **regional** e **local**. A Instrução Normativa Nº 2, do Ministério do Meio Ambiente - MMA, de 20 de Agosto de 2009, define para o enfoque local uma **unidade geomorfológica** que apresenta 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.

Para o enfoque regional, a referida IN. Nº 2 definiu uma 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, vales cegos, lapiás e cavernas, delimitada por um conjunto de fatores ambientais específicos para a sua formação. Essa área homogênea

foi definida como **unidade espeleológica**.

As cavernas tendem a ocorrer, principalmente, nos denominados **terrenos cársticos**, ou seja, áreas onde a litologia predominante compreende rochas solúveis. Mas em outras áreas, que não as cársticas, também podem ocorrer cavernas. A palavra *karst*, que foi aportuguesada para *carste*, é a forma germânica da palavra servo-croata *kras*, cujo significado original é terreno rochoso, desnudo, característica de uma região situada no nordeste da Itália e no noroeste da Eslovênia. Tal região é considerada entre os especialistas como o **carste clássico**, já que foi ali a primeira vez que esse tipo de relevo foi descrito e estudado, a partir da segunda metade do século 19.

Quando se fala em paisagem cárstica, algumas características são determinantes. Esse tipo de paisagem peculiar está associado a **rochas carbonáticas** (particularmente calcários e dolomitos), podendo se referir também a paisagens similares em outras rochas solúveis. O processo principal de formação desse relevo é a **dissolução** da rocha através do tempo geológico. Essa característica é bem típica do carste, pois a grande maioria das paisagens é modelada principalmente por processos erosivos. Também apresenta um conjunto de formas típicas, tais como **dolinas (depressões fechadas)**, **vales cegos**, **paredões**, **abrigos rochosos**, **lapiás**

(sucos, ranhuras e canais de dissolução na rocha) e **sumidouros** (onde a drenagem superficial adentra para o meio subterrâneo através de condutos). Por último, predomina uma **drenagem subterrânea**, efetuada através de um sistema de condutos ou fendas alargadas na rocha, ou seja, através de galerias subterrâneas, que não são visíveis na superfície.

O **sistema cárstico** compreende, em linhas gerais, o ambiente externo, denominado por alguns como **exocarste** (ou simplesmente carste superficial), marcado por formas superficiais geradas primordialmente pelo ataque químico de águas meteóricas, e o domínio subterrâneo (**endocarste** ou **carste subterrâneo**), representado por cavidades subterrâneas, geradas pela dissolução por águas subterrâneas de origem diversa. Um terceiro domínio, o **epicarste**, pode também ser reconhecido, dizendo respeito à zona logo abaixo da superfície, englobando o contato entre o solo, quando existente, e a rocha calcária.

Alguns autores têm usado o termo **pseudocarste** para se referir as paisagens que apresentam feições semelhantes às cársticas, tais como cavernas, dolinas e escarpas rochosas. No entanto, essas feições não são formadas sobre típicas rochas solúveis como em um verdadeiro carste. Por exemplo, as depressões do tipo doliniformes e cavernas da Serra dos Carajás, no sudeste do Pará, desenvolvidas em rochas ferríferas (minério

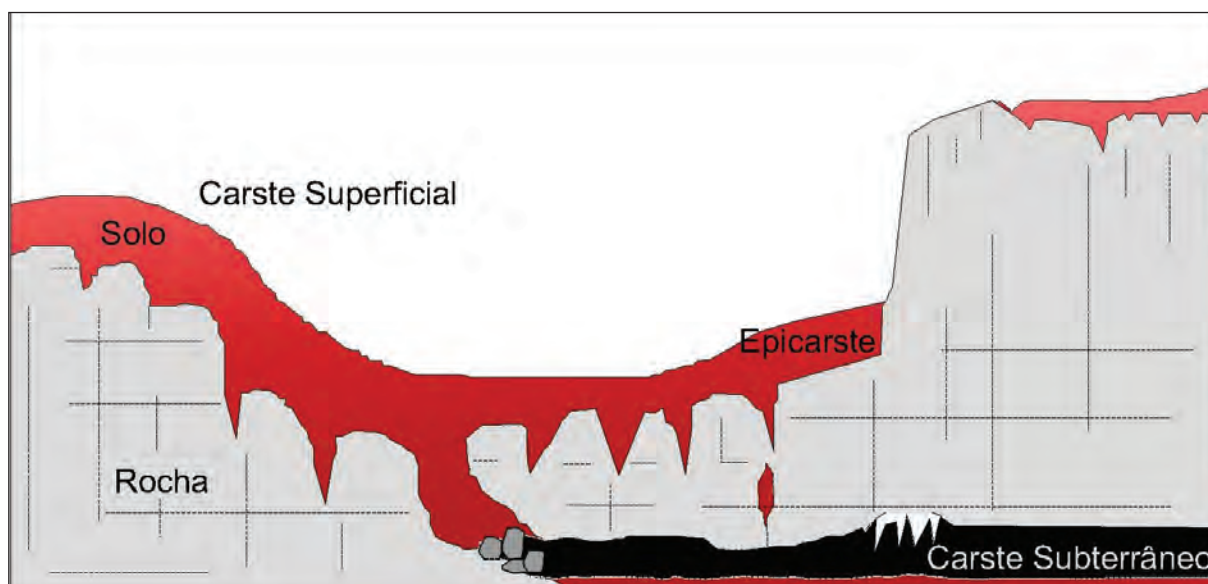


Figura 1.1: Perfil esquemático do sistema cárstico, compreendendo o carste superficial, o epicarste e o carste subterrâneo (cavernas).

de ferro e canga), foram denominadas de pseudocársticas por Maurity & Kotschoubey (1995).

Atualmente existe uma tendência para incluir as **rochas silicatadas**, particularmente os quartzitos e arenitos, no grupo das rochas carstificáveis. Essa propensão deriva de demonstrações de que a dissolução da sílica, anteriormente considerada de baixa solubilidade, tem tido um papel importante na confecção de morfologias superficiais e subterrâneas tipicamente cársticas. Bons exemplos da ação efetiva desses processos podem ser observados na região quartzítica do Roraima venezuelano e na região do Parque Estadual do Ibitipoca, em Minas Gerais.

Salienta-se que uma indefinição ainda existente dentro dessa discussão é saber quais os critérios que qualificam uma paisagem como sendo cárstica. Para alguns autores, é necessário que o transporte de massa em solução seja mais importante que o transporte de massa por outros processos. No entanto, tais mecanismos, no contexto da dinâmica da paisagem, são marcados por descontinuidades, geralmente de difícil mensuração. Por exemplo, ainda sabemos pouco sobre os processos de dissolução na geração de cavernas nas formações ferríferas de Minas Gerais e do Pará.

1.3 Potencialidades das cavernas no Brasil

Cerca de 90% das cavernas reconhecidas em todo o mundo desenvolvem-se em rochas carbonáticas. No Brasil, no entanto, devido a fatores ainda pouco conhecidos, mas seguramente envolvendo variáveis geomorfológicas e climáticas, arenitos e quartzitos são também muito susceptíveis a formação de cavernas. Mais recentemente, a constatação de que áreas de minério de ferro e

canga são extremamente favoráveis à formação de cavernas, adicionou mais um componente ao mosaico espeleológico brasileiro. Ocorrem também, embora em menor escala, cavernas em granito, gnaiss, rochas metamórficas variadas como micaxistos e filitos, além de coberturas de solos.

Até o momento, cerca de 10.000 cavernas encontram-se registradas nos cadastros espeleológicos existentes no país. Esses cadastros abrangem principalmente informações coletadas por grupos amadores de espeleologia. No entanto, muitas cavernas identificadas ainda não foram incluídas nos cadastros espeleológicos, seja porque o trabalho foi realizado no âmbito profissional, encontrando-se arquivado nas próprias empresas executoras ou nos órgãos ambientais, seja simplesmente porque não houve interesse em se efetuar o cadastramento no caso de grupos ou indivíduos amadores. Desta forma, o número total de cavernas identificadas até o momento no Brasil deve ser superior ao referido número, com um incremento provavelmente da ordem de algumas centenas de novas cavernas por ano.

A Tabela 1.1 apresenta, de forma preliminar, baseado no conhecimento atual e na experiência pessoal dos autores, o número de cavernas identificadas até o momento em cada litologia e o provável potencial espeleológico (grutas existentes, porém ainda não identificadas). Essa tabela deve ser considerada apenas como um referencial, uma ordem de grandeza de valores a servirem de parâmetro para a construção de um modelo de potencial espeleológico para nosso país.

A Tabela abaixo torna evidente o enorme potencial espeleológico de nosso país. O alto percentual de cavernas reconhecidas em minério de ferro

Tabela 1.1 Estimativa (ordem de grandeza) do potencial espeleológico brasileiro em relação a cavernas conhecidas e litologia.

Litologia	Número de cavernas conhecidas	Provável potencial (cavernas ainda não conhecidas)	Porcentagem de cavernas conhecidas
Carbonatos	7.000	> 150.000	< 5%
Quartzitos	400	> 50.000	< 1%
Arenitos	400	> 50.000	< 1%
Minério de ferro	2.000	> 10.000	< 20%
Outras litologias	200	> 50.000	< 0,5%

e canga deve-se aos intensivos esforços de prospecção realizados nessas áreas durante os Estudos de Impacto Ambiental, visando a instalação de empreendimentos minerários. As minas de minério de ferro, nesse momento, estão em plena expansão, tendo em vista que o mercado asiático está muito aquecido..

A Figura 1.2 apresenta as principais áreas carbonáticas do Brasil (em preto) e também as principais áreas quartzíticas que apresentam cavernas (em laranja). Também representadas estão áreas carbonáticas de pequena extensão (triângulos) e áreas em outras litologias (principalmente arenitos)

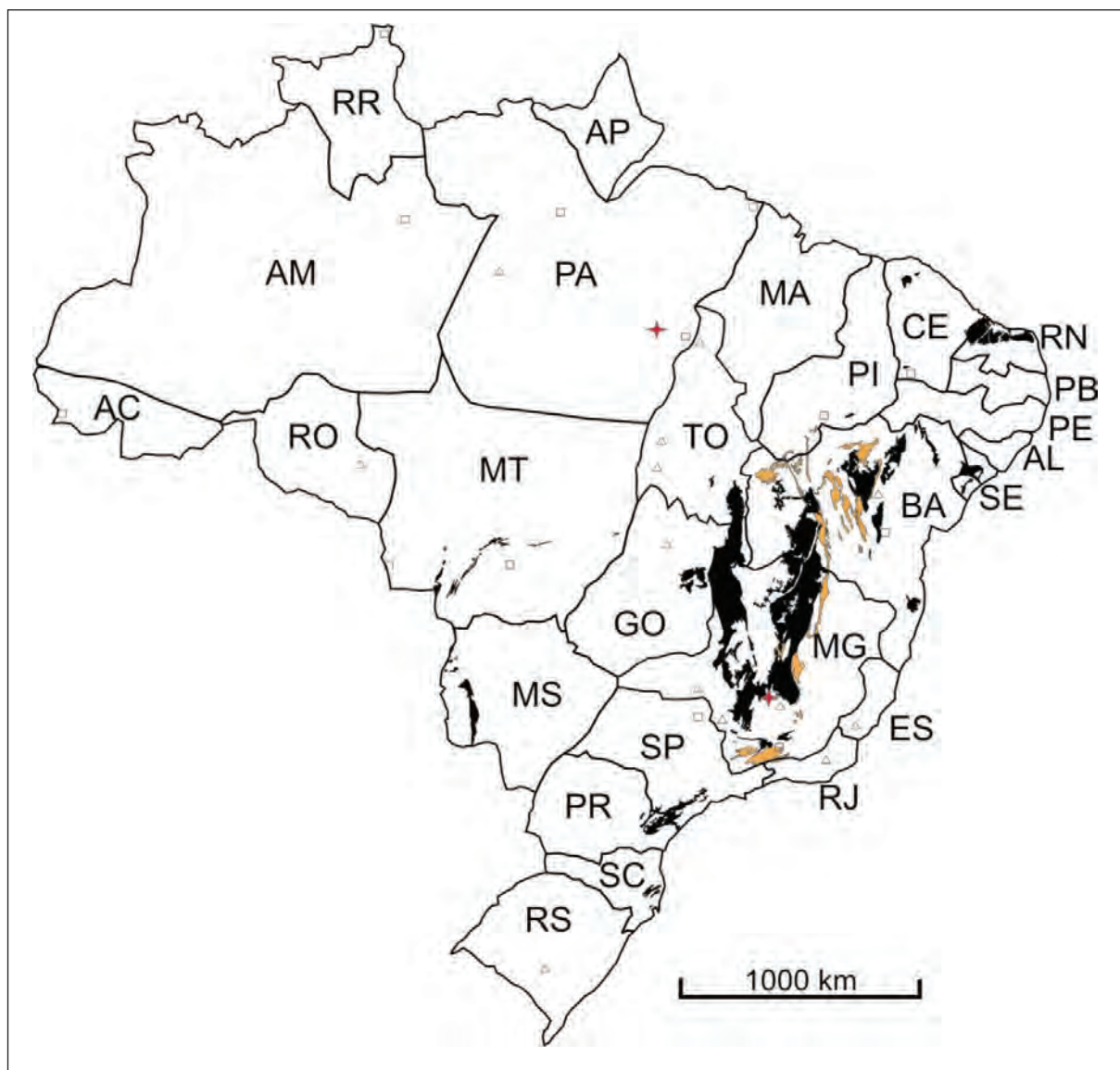


Figura 1.2. Mapa mostrando as principais litologias que apresentam cavernas. Rochas carbonáticas estão representadas em negro. Rochas quartzíticas estão representadas em laranja. Áreas carbonáticas de pequena extensão estão representadas por triângulos. Outras litologias que apresentam cavernas estão representadas por quadrados. Áreas de minério de ferro que apresentam cavernas estão representadas por estrelas vermelhas.

onde se conhecem cavernas (quadrados).

As regiões areníticas, apesar de apresentarem considerável potencial espeleológico, tendem a não apresentar conflitos em relação à atividade minerária, não estando, pois, representadas na figura. Áreas em minério de ferro estão representadas por estrelas vermelhas.

O potencial espeleológico do Brasil é, ainda, enorme. Parece seguro afirmar que, hoje, menos de 5% das cavernas existentes tenham sido identificadas. Nosso potencial espeleológico situa-se seguramente na faixa de algumas centenas de milhares de cavernas. Apenas a título comparativo, em países mais desenvolvidos na identificação e

exploração de cavernas, como Itália e França, com áreas equivalentes ao estado de Minas Gerais, cerca de 40 mil cavernas são conhecidas. A ausência de pesquisa, pequeno número de espeleólogos, dificuldades de acesso, dentre outros motivos, justificam o reduzido conhecimento que ainda temos do potencial espeleológico brasileiro.

1.4 Principais áreas contendo cavernas no Brasil

A maior ocorrência de rochas favoráveis à formação de cavernas no Brasil é representada pelos calcários e dolomitos do Grupo Bambuí, que se desenvolvem desde o sul de Minas Gerais até o centro-oeste da Bahia, passando também pelo leste de Goiás. Inserida nos calcários Bambuí encontra-se, entre outras, a região de Lagoa Santa, berço da espeleologia brasileira, com mais de 700 grutas registradas (Figura 1.3); a região de Arcos e Pains, também com centenas de cavernas conhecidas, e a região do vale do Rio Peruaçu, com a magnífica Gruta do Janelão (Figura 1.4) e vários sítios arqueológicos.



Figura 1.3 Maciço calcário onde se localiza a Lapa do Sumidouro, na região cárstica de Lagoa Santa (Foto Ataliba Coelho)



Figura 1.4 Gruta do Janelão, no Parque Nacional do Peruaçu.

No estado de Goiás destaca-se a região de São Domingos, com várias enormes cavernas percorridas

por rios caudalosos, e a região de Mambáí, também com um grande número de cavidades importantes. No estado da Bahia destaca-se a Serra do Ramalho e seus arredores, com várias cavernas importantes, entre elas a Gruta do Padre, com 16,3 km de extensão, a terceira maior caverna do país, e a região de São Desidério, comportando algumas das cavernas com maior espaço interno do país.

Os calcários e dolomitos do Grupo Una ocorrem a partir da região central da Bahia, estendendo-se até o norte do estado. Duas áreas concentram as principais cavernas de interesse: a região da Chapada Diamantina, com várias cavernas de grande extensão e beleza, como a Lapa Doce, e a região de Campo Formoso, que abriga as duas maiores cavernas do país, a Toca da Boa Vista (Figura 1.5) e a Toca da Barriguda (Figura 1.6), respectivamente com 108 km e 30 km de extensão. Muito próximo destas duas cavernas existem afloramentos do calcário Caatinga, que apresentam algumas cavernas importantes, entre as quais a ampla Gruta do Convento.



Figura 1.5 Grande salão na Toca da Boa Vista (Foto Ezio Rubbioli).



Figura 1.6 Galeria na caverna Barriguda (Foto Ezio Rubbioli).

No sul do Estado de São Paulo e no Paraná afloram os calcários e dolomitos do Grupo Açungui. É uma região de grande beleza, que contém mais de 300 cavernas. No lado paulista, a maior concentração

está no Parque Estadual Turístico do Alto Ribeira (PETAR), com algumas das cavernas mais ornamentadas do país, como a Caverna Santana. Próximo ao PETAR, o Parque Estadual de Jacupiranga abriga a Caverna do Diabo, parcialmente adaptada para o turismo, com amplos salões extremamente ornamentados. O lado paranaense do Grupo Açungui possui muitas grutas, embora de menores dimensões. Em Santa Catarina ocorrem os calcários do Grupo Brusque, apresentando como principal caverna a Gruta de Botuverá, no município de mesmo nome.

No oeste do país ocorrem calcários e dolomitos do Grupo Corumbá e do Grupo Araras. Os primeiros ocorrem principalmente no Estado do Mato Grosso do Sul, nos arredores da Serra da Bodoquena, apresentando belas cavernas alagadas, principalmente nas proximidades da cidade de Bonito. O Grupo Araras, por sua vez, predomina no Mato Grosso e também apresenta muitas grutas, principalmente próximo a Nobres. Em Rondônia, no Pará e no Amazonas ocorrem alguns afloramentos de calcário. Os mais importantes situam-se próximos a Itaituba, no Pará, onde a recente colonização tem levado à descoberta de algumas cavernas de importância.

No nordeste do Brasil afloram os calcários do Grupo Apodi, que, apesar de possuírem muitas cavernas, ainda não nos revelaram grutas de grande porte. No Estado do Ceará, os calcários do Grupo Ubajara possuem ocorrência restrita, apresentando poucas cavernas conhecidas, entre elas a famosa Gruta de Ubajara. Várias ocorrências de menor porte de calcários e dolomitos existem em todo o Brasil. Algumas aparentam possuir pouco potencial ao passo que outras, em locais mais remotos, ainda não foram adequadamente exploradas por espeleólogos.

O potencial brasileiro em termos de cavernas em quartzito é enorme. O Brasil possui algumas das maiores e mais profundas cavernas do mundo neste tipo de rocha. Numa pequena área no centro de Minas Gerais, o Pico do Inficionado, encontra-se três das mais profundas cavernas conhecida neste tipo de rocha, a Gruta do Centenário (Figura 1.7), com 484 m de desnível e 3.800 m de extensão é a segunda mais profunda do país. A terceira



Figura 1.7 Gruta do Centenário (Foto Ezio Rubbioli).



Figura 1.8 Gruta da Bocaina (Foto Ezio Rubbioli).

e a quarta caverna mais profunda do país, a Gruta da Bocaina (Figura 1.8) e a Gruta Alaouf, respectivamente com 404 m e 294 m de desnível, também se localizam no Pico do Inficionado.

As regiões do Parque Estadual de Ibitipoca, de Carrancas e de Luminárias, no sul de Minas Gerais, também apresentam um rico acervo de cavernas quartzíticas. Outra área de importante concentração de cavernas deste tipo é a região da Chapada Diamantina, na Bahia. Várias regiões, principalmente no nordeste e no sudeste, apresentam cavernas quartzíticas de importância. No estado do Amazonas, a pouco conhecida Serra do Araçá, contém a mais profunda caverna quartzítica do Brasil e do mundo, o Abismo Guy Collet, com 670 m de desnível. Cavernas areníticas são bastante freqüentes em todo o território nacional. Existem importantes concentrações na Chapada dos Guimarães (MT), em São Paulo, no Paraná e no interior do Piauí, além de muitas cavernas de grande porte dispersas em várias regiões da Amazônia.

Ocorre ainda um grande número de cavernas em rochas como minério de ferro e canga, nas regiões ao sul de Belo Horizonte (Quadrilátero Ferrífero) e na Serra dos Carajás, no Pará. São cavernas,



Figura 1.9 Cavernas em minério de ferro e canga no Quadrilátero Ferrífero..



Figura 1.10 Cavernas em minério de ferro e canga no Quadrilátero Ferrífero..

na sua maioria, pequenas, com média em torno dos 25 m de extensão. No entanto, já foram registradas cavernas em minério de ferro com mais de 300 m, além de importantes volumes subterrâneos, tanto em Carajás como no Quadrilátero Ferrífero.

No Brasil ainda ocorrem cavernas em granito, gnaiss e bauxita, entre outras. São em geral cavernas de pequeno porte. Uma exceção é a Gruta dos Ecos em Cocalzinho, Goiás, inserida em sua maior parte em micaxistos, e que possui 1.600 m de extensão.

1.5 A importância das cavernas e do carste

Com a revelação das cavernas brasileiras pelos viajantes, a partir do século 19, é possível chegar à clara compreensão de que muitas delas contêm registros cheios de significado, além de abrirem vários caminhos para uma melhor compreensão do passado. Ou seja, essas cavernas são merecedoras de conservação.

Desde o trabalho pioneiro do naturalista dinamarquês Peter Wilhelm Lund (Figura 1.11), na primeira metade do século 19, as cavernas têm fornecido importantes registros fossilíferos, os quais têm formado a base das pesquisas sobre a paleontologia de vertebrados do Pleistoceno brasileiro. Esses documentos paleobiológicos revelam-se fundamentais para o conhecimento taxonômico,



Figura 1.11 naturalista dinamarquês Peter Lund, considerado o “pai da paleontologia brasileira”;



Figura 1.12 Esqueleto articulado de preguiça-gigante em caverna da Bahia. .

anatômico e paleoecológico dos mamíferos quaternários do Brasil

Cavernas com depósitos fossilíferos são frequentes em diversas regiões brasileiras, dentre as quais Lagoa Santa, em Minas Gerais, São Raimundo Nonato, no Piauí, sertão e região central da Bahia, região do Ribeira, em São Paulo, dentre outras. Nesses sítios jazem ossadas de animais como preguiça-gigante, mastodonte, gliptodonte, tigre dente-de-sabre, entre outros. É fascinante.

As idades obtidas tanto pelo C-14 quanto pelo método U/Th demonstram uma grande variabilidade temporal dos fósseis encontrados nas cavernas, que se estende do Pleistoceno Médio ao limiar do Holoceno. Ossadas de animais extintos mais recentes datadas na região de Lagoa Santa (preguiça e tigre dente-de-sabre) acusaram idades em torno de nove mil anos. Contrariamente ao que se pensava até recentemente, a deposição dos fósseis nas cavernas não se deu em apenas um momento específico. Muito pelo contrário, foram vários os episódios de deposição de fósseis nas cavernas brasileiras.

A relação entre arqueologia e as cavernas também é evidente, tendo em vista que esse meio é favorável a preservação de vestígios arqueológicos (menor umidade, menor iluminação e temperaturas mais estáveis). São inúmeros os paredões e entradas de cavernas que registram usos diferenciados como abrigo, moradia, palco de rituais, cemitério e suporte para a arte do homem pré-histórico, destacando-se as regiões de Lagoa Santa, em Minas Gerais, São Raimundo Nonato, no Piauí, Médio São Francisco (Januária até Montalvânia), Monte Alegre

e Serra dos Carajás, no Pará, dentre outras áreas.

Os ambientes cársticos certamente influenciaram a vida dessas populações. Um aspecto interessante é que embora dotados de particularidades culturais e inscritos em um diversificado quadro fitoecológico (florestas estacionais de domínio atlântico, formações decíduais de mata seca, incluindo a caatinga, os cerrados e a floresta ombrófila), essas populações pré-históricas mantiveram a característica não predatória no contato e uso da entrada das cavernas ou abrigos rochosos do Brasil.

No momento, a região de Lagoa Santa, em Minas Gerais e, São Raimundo Nonato, no Piauí, guardam os mais antigos registros dessas culturas, que datam em mais de 11 mil anos B.P. Salienta-se, ainda, que a contemporaneidade do homem pré-histórico com os megamamíferos extintos foi aventada nas cavernas de Lagoa Santa, inicialmente por Peter Lund, em 1844. Recentemente, fragmentos ósseos de uma preguiça-gigante (*Scelidodon cuvieri*) e do temido tigre dente-de-sabre (*Smilodon populator*), encontrados nas cavernas de Lagoa Santa, foram datados respectivamente em 9.990 e 9.130 anos B.P., o que veio reforçar a tese da coexistência entre o homem pré-histórico e os animais pertencentes a megafauna extinta (Neves & Piló, 2003). Até o momento, no entanto, não há no registro arqueológico brasileiro qualquer evidência clara de que os primeiros humanos fizeram uso, como recurso alimentar, ou como fonte de matéria prima, dos grandes mamíferos extintos.

Foi também nas cavernas que se concentraram as ossadas dos mais antigos brasileiros. O esqueleto de “Luzia”, exumado no abrigo rochoso de Lapa Vermelha IV, em Lagoa Santa, encontra-se posicionado em camadas sedimentares superiores a 11.000 anos B.P., sendo considerado o esqueleto mais antigo das Américas. Esse grupo pré-histórico, que usou intensamente as entradas das cavernas da região, é caracterizado por crânios estreitos e longos, faces estreitas e baixas, assim como órbitas e cavidades nasais também baixas, apresentando grande semelhança com a morfologia craniana dos nativos australianos e dos africanos atuais.



Figura 1.13 Restos humanos sendo exumados na Lapa do Santo, Carste de Lagoa Santa (Foto Ataliba Coelho)



Figura 1.14 Manifestação rupestre em São Raimundo Nonato, no Piauí.

Os sítios geomorfológicos que guardam registros paleoambientais passíveis de datações *absolutas* estão posicionados nas calhas fluviais, nos horizontes orgânicos enterrados, terraços e várzeas, nos paleossolos preservados nas vertentes e, particularmente, nos depósitos químicos das cavernas. Datações nesses depósitos, denominados de espeleotemas, pelo método U/Th, que cobre um período de poucos milhares de anos até 500 mil anos, têm colocado os depósitos de cavernas brasileiras como verdadeiros arquivos paleoclimáticos.

Registros das razões isotópicas de oxigênio e carbono em espeleotemas, datados pelo método U/Th, consolidaram-se nos últimos anos como um dos melhores indicadores paleoclimáticos de regiões (sub) tropicais. As cavernas brasileiras já demonstram grande potencial para tais estudos isotópicos. Um desses estudos, efetuados nas cavernas do nordeste e liderado por Francisco William da Cruz Júnior, do IG-USP, tem revelado o início do clima semiárido no Nordeste, há cerca de 4 mil anos.

Isso ocorreu em razão de um deslocamento periódico do eixo de rotação da Terra que fez com que o hemisfério Sul começasse a receber mais radiação solar do que o hemisfério Norte. Quando começou o período mais seco, a maioria das estalagmites parou de crescer.

Quanto aos aspectos históricos, as primeiras referências sobre as formas superficiais e subterrâneas do relevo cárstico foram feitas através dos relatos de naturalistas e viajantes que percorreram o interior de Minas Gerais no século 19 e limiar do século 20. Narrativas da riqueza e singularidade das grutas e formações cársticas podem ser apreciadas nos trabalhos de Peter Lund, Spix & Martius, J.W. Wells, H. Burmeister, dentre outros. Destaca-se, ainda, que o estudo sistemático das cavernas como campo de atuação e conhecimento, no Brasil, teria início em Ouro Preto, com a criação da SEE - Sociedade Excursionista e Espeleológica dos Alunos da Escola de Minas, em 1937.

O carste também tem se destacado por seu aspecto ecológico. O trabalho do botânico dinamarquês E. Warming na região cárstica de Lagoa Santa, no século passado (1863 a 1866), é reconhecido como o primeiro tratado sobre ecologia vegetal, no qual foram analisadas e identificadas mais de 2.600 espécies vegetais.

As cavernas também vêm servindo palco de diversas manifestações religiosas, sendo muitas vezes, transformadas em verdadeiros santuários, principalmente na região central do Brasil. Dentre as mais visitadas estão a Gruta Mangabeira (Figura 1.15 na página seguinte), Lapa do Bom Jesus e Gruta dos Brejões, na Bahia, Lapa de Antônio Pereira (Figura 1.16 na página seguinte) e Lapa Nova, em Minas Gerais e a de Terra Ronca, em Goiás.

As atividades econômicas também apresentam expressivo valor no domínio cárstico. As principais formas dessas atividades são: agropecuária, exploração de recursos minerais (água, calcário, minério de ferro, argila, mineralizações), aproveitamento hidrelétrico, utilização de recursos florestais e turismo.

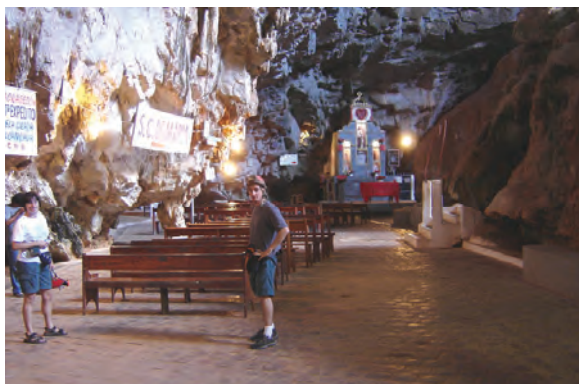


Figura 1.15 Lapa de Bom Jesus, na Bahia.



Figura 1.16 Lapa de Antônio Pereira, em Minas Gerais.

Diante do exposto, nota-se que são muitos os atributos que dão as paisagens cársticas e as cavernas uma expressiva significância no mosaico paisagístico brasileiro. Salienta-se um importante conjunto de elementos naturais e culturais, digno de análise de valoração. Por outro lado, o carste e as cavernas têm peculiaridades que os colocam mais vulneráveis às interferências humanas mal planejadas, as quais podem gerar impactos adversos e degradação ambiental.

1.6 Fragilidades das cavernas e do carste

A paisagem cárstica e as cavernas têm sido consideradas, por diversos autores, como um domínio frágil e peculiar. Realmente, esses terrenos apresentam alguns elementos que os colocam dentro de um contexto diferenciado de análise ambiental.

Primeiramente é importante destacar a questão hidrológica. No carste, particularmente naqueles que já atingiram um maior grau de desenvolvimento, a drenagem apresenta-se predominantemente subterrânea, sendo realizada através de condutos (cavernas). Ou seja, os cursos d'água superficiais foram capturados para sistemas (aqüíferos) integrados

de condutos, que atuam como drenos subterrâneos para o transporte rápido (livre) e altamente localizado da água. Nesse contexto são constituídas as denominadas rotas de drenagem subterrânea, muito susceptíveis às alterações ambientais.

O fluxo mais rápido dessas drenagens potencializa a propagação muito mais rápida de possíveis poluentes que tenham atingido o aqüífero cárstico. Outro aspecto importante é que as bacias de drenagem, no carste, não se limitam necessariamente aos divisores de águas superficiais, podendo se estender muito além desses limites. Um impacto pontual no sistema hidrológico pode atingir áreas mais expressivas.

Os processos de abatimento também são bem frequentes nos terrenos cársticos. As denominadas dolinas de colapso são os principais registros desses processos, tendo sua origem associada a abatimentos de tetos e paredes rochosas de condutos subterrâneos (cavernas) ou de solos posicionados sobre a rocha solúvel. Esses abatimentos são caracterizados principalmente por movimentos rápidos, verticais e, muitas vezes, catastróficos, quando incidentes em áreas urbanizadas, a exemplo do ocorrido nas cidades de Sete Lagoas, em Minas Gerais e, Cajamar, no estado de São Paulo. Em Cajamar, estudos indicaram que a superexploração de águas subterrâneas ocasionou os processos de abatimentos.

Estudos bioespeleológicos, por sua vez, têm revelado uma importante fauna em nossas cavernas, na qual se incluem diversos grupos taxonômicos: insetos, aracnídeos, diplópodes, crustáceos, quilópodes, dentre outros. Segundo Trajano e Bichuette (2006), o ambiente subterrâneo é altamente vulnerável a alterações ambientais, em virtude do elevado grau de endemismo de muito de seus componentes (troglóbios), em geral pouco tolerantes a fatores de estresse (alteração de habitat, poluição química, flutuações ambientais não-naturais, eutrofização), da dependência de nutrientes importados do meio epígeo, e do fato das populações serem frequentemente pequenas e com baixa capacidade de recuperação, como consequência de suas estratégias de ciclo de vida.

1.7 Principais impactos potenciais ao carste e às cavernas

As paisagens cársticas e as cavernas constituem um domínio frágil e peculiar. Pequenas alterações ambientais podem representar ameaças sérias à integridade do meio subterrâneo. Em nosso país, impactos ambientais em cavernas têm ocorrido desde os primórdios da colonização portuguesa, principalmente devido à extração mais intensa de salitre no interior de grutas da Bahia e de Minas Gerais para a produção de pólvora no século 19, e utilização religiosa de cavernas a partir do século 17.

Impactos ambientais em cavernas podem ser de variadas magnitudes e conseqüências, abrangendo desde a destruição (supressão) total da caverna até impactos localizados de baixa magnitude.

Sem dúvida, o conflito mais direto provém da atividade minerária no contexto da qual a caverna, inserida no bem mineral a ser extraído, coloca-se como um empecilho à instalação ou expansão de

áreas de lavra. Em muitos casos atinge-se uma situação em que perdas – para um dos lados – tornam-se inevitáveis. É importante salientar que a interação entre as cavernas e a mineração é uma via de mão dupla em que impactos atingem ambos os atores envolvidos. As atividades minerárias poderão ser fortemente afetadas pela presença de cavernas. A conservação de cavernas poderá ser afetada pela atividade minerária.

A degradação total ou parcial da caverna também representa um cenário possível, principalmente quando da implementação de grandes obras de engenharia (barragens, aeroportos etc.)(Tabela 1.2). A utilização da própria caverna poderá trazer impactos adversos, como no caso de turismo de massa e uso religioso.

O desmatamento apresenta-se como um dos principais impactos indiretos da atividade humana sobre as cavernas. O desmate em domínios cársticos

Tabela 1.2 Principais impactos potenciais no carste e nas cavernas.

Atividades	Impactos potenciais
Mineração	Degradação visual; interferências nas rotas de drenagem subterrânea; poluição de aquíferos; vibrações nas cavernas decorrentes das detonações para desmontes; sobrepressão acústica; supressão total ou parcial de cavernas.
Reservatórios e barragens	Aumentos dos processos de abatimento; fugas d'água; alagamento total ou parcial de cavernas; alteração no uso do solo no entorno.
Urbanização/Industrialização/ Grandes obras de engenharia	Poluição e superexploração de aquíferos; abatimentos induzidos; erosão superficial e assoreamento de cavernas; chuva ácida; poluição atmosférica; inundações. Sobrepressão acústica e alteração do sistema de drenagem (terraaplenagem).
Adaptação para o turismo em massa/uso religioso intensivo	Obras de engenharia no interior da caverna; destruição de espeleotemas; pichações; liquefação e compactação do piso das cavernas; alteração do biótopo cavernícola; geração de lixo; poluição de corpos hídricos.
Desmatamento/Agropastoris	Fragmentação de habitats, perda de espécies vegetais e animais; erosão e assoreamento de corpos hídricos; alteração do biótopo cavernícola. Contaminação de aquíferos por pesticidas e fertilizantes; superexploração dos aquíferos.
Visitação	Pisoteamento, quebra de espeleotemas, pichações, poluição da caverna.

tem sido ocasionado por duas atividades principais: agropastoril (expansão) e extrativismo para obtenção de insumos florestais, principalmente lenha e derivados. Diante desse quadro, várias regiões contendo cavernas vêm sofrendo significativas alterações em decorrência dos desmatamentos, tais como fragmentação de habitats e perda de espécies vegetais e animais. A falta de proteção vegetal acelera os processos erosivos e o esgotamento dos solos, como também o assoreamento de sistemas hidrológicos.

A urbanização e criação de zonas industriais também podem ocasionar vários tipos de problemas e impactos nos ambientes cársticos e nas cavernas: inundações, poluição de corpos hídricos, abatimentos induzidos, alteração nos sistemas hídricos superficiais e subterrâneos, poluição atmosférica e chuva ácida.

Em muitas dessas situações, quando de estudos de viabilidade do empreendimento, torna-se necessário proceder a uma avaliação da relevância da caverna. Essa avaliação pode vir a ser crucial tanto para o destino final da caverna quanto para o futuro do empreendimento. Obras que necessariamente venham a trazer impactos de grande magnitude ao acervo espeleológico podem vir a ser alteradas ou mesmo inviabilizadas. A análise de relevância está, pois, intimamente relacionada ao tipo e intensidade do impacto ambiental.

1.8 Legislação afeta ao tema

A primeira manifestação legal sobre o interesse do poder público na proteção e conservação de cavernas se deu através da Resolução CONAMA Nº 009, de 24/01/86. Essa resolução visou a criação de uma Comissão Especial para tratar de assuntos relativos à preservação do Patrimônio Espeleológico. Com os subsídios recebidos de instituições integrantes da referida Comissão foi editada, em seguida, a Resolução CONAMA Nº 005, de 06/08/87, que resolveu criar o “Programa Nacional de Proteção ao Patrimônio Espeleológico”. Nessa resolução, mereceu destaque o item 3º, que determina que “seja incluída na Resolução/CONAMA/Nº 001/86, a obrigatoriedade

de elaboração de Estudo de Impacto Ambiental nos casos de empreendimento potencialmente lesivos ao Patrimônio Espeleológico Nacional”.

A partir da promulgação da Constituição Federal de 1988, as cavernas do país ganharam um status importante. Em seu artigo 20, a Constituição definiu as cavernas brasileiras como “bens da união”. Ou seja, as cavernas passaram a integrar o domínio patrimonial da União, pois apresentavam interesse para a administração e para a comunidade administrada.

Após a promulgação da Constituição Federal, o IBAMA, através da Portaria Nº 887, de 15/06/90, estabeleceu as principais normas para a gestão das cavernas brasileiras. Nessa Portaria mereceu destaque o Art. 3º, que limitou o uso das cavidades naturais subterrâneas apenas a estudos de ordem técnico-científica, bem como atividades de cunho espeleológico, étnico-cultural, turístico, recreativo e educativo.

Logo em seguida, o Decreto Federal Nº 99.556, publicado em 01/10/90, reafirma o estabelecido na Portaria 887 e, pela primeira vez, enfoca objetivamente a proteção e o manejo das cavernas. Inicialmente é importante destacar o art. 1º: “as cavidades naturais subterrâneas existentes no território nacional constituem patrimônio cultural brasileiro, e, como tal, serão preservadas e conservadas de modo a permitir estudos e pesquisas de ordem técnico-científica, bem como atividades de cunho espeleológico, técnico-cultural, turístico, recreativo e educativo.”

No entanto, na definição de patrimônio espeleológico exposto no referido Decreto, não há menção de valor ou relevância de atributos para a formação do conceito de patrimônio. Considerando a necessidade de se aprimorar e atualizar o Programa Nacional de Proteção ao Patrimônio Espeleológico, aprovado pela Comissão Especial, foi editada a Resolução CONAMA Nº 347, de 10/09/2004.

Essa Resolução trouxe pela primeira vez o conceito de cavidade natural subterrânea relevante, que até então não tinha sido considerada na legislação anteriormente estabelecida. Segundo o

inciso II, do art. 2º, são relevantes as cavidades naturais subterrâneas que apresentem significativos atributos ecológicos, ambientais, cênicos, científicos, culturais ou socioeconômicos, no contexto local ou regional.

O mais lógico seria a necessidade de preservação e proteção das cavernas consideradas relevantes, isto é, aquelas que possam vir a integrar o patrimônio espeleológico brasileiro.

Em 07 de novembro de 2008 foi publicado o Decreto Federal Nº 6.640, que alterou significativamente o status jurídico referente a proteção das cavernas brasileiras. Esse decreto prevê a classificação das cavernas segundo quatro graus de relevância: máximo, alto, médio e baixo. A determinação das cavernas de relevância máxima, que não poderão sofrer impactos ambientais, foi realizada através de parâmetros definidos pelo referido decreto. Os demais graus de relevância foram detalhados na Instrução Normativa N. 2 do Ministério do Meio Ambiente – MMA, que seria publicada no dia 20 de agosto de 2009.

Já as cavernas classificadas como de relevância alta, média e baixa poderão ser objeto de impactos irreversíveis, através do processo de licenciamento ambiental. Impactos irreversíveis em cavidades de relevância alta, no entanto, deverão ser compensados pelo empreendedor através da preservação de duas cavernas com o mesmo grau de relevância, de mesma litologia e com atributos similares à que sofreu o impacto, que serão consideradas cavidades testemunho, ou seja, de preservação permanente.

As cavernas de relevância média que sofrerem impactos irreversíveis, por sua vez, merecerão por parte do empreendedor ações que contribuam para a conservação e o uso adequado do patrimônio espeleológico brasileiro. Essas ações serão definidas pelo órgão ambiental competente. Impactos irreversíveis em cavernas classificadas como de relevância baixa não merecerão ações de compensação pelo empreendedor.

Através do exposto, é possível identificar três momentos na legislação sobre cavernas no Brasil. O primeiro está representado pelas primeiras

resoluções CONAMA, a Portaria 887 do IBAMA e o Decreto 99.556. Trata-se do momento inicial, com perfil altamente conservador e restritivo quanto ao uso das cavernas brasileiras, que foram consideradas, de forma indiscriminada, patrimônio espeleológico brasileiro. Não há dúvida que, para um primeiro momento, esse conjunto jurídico trouxe um ganho expressivo no sentido de valorização das cavernas brasileiras, já que muitas cavernas foram preservadas individualmente ou através de conjuntos, diante da criação de unidades de conservação.

O segundo momento é composto pela Resolução CONAMA Nº 347, que juntamente com o Projeto de Lei Nº 2832/2003 e o último parecer da Advocacia Geral da União, formam um conjunto de documentos de conteúdo transicional, entre uma fase de legislação muito restritiva, para uma fase mais flexível quanto ao uso das cavernas brasileiras.

O terceiro momento é composto pelo Decreto Nº 6.640 e a Instrução Normativa Nº 2, do MMA, que através do estabelecimento de um método criterioso de análise de relevância das cavernas brasileiras, busca identificar aquelas merecedoras de conservação e que formarão o Patrimônio Espeleológico Brasileiro.

1.9 As etapas dos estudos espeleológicos no processo de licenciamento ambiental (EIA/RIMA)

De acordo com o artigo 3º do Decreto Nº 99.556, de 1º de outubro de 1990, que dispõe sobre a proteção das cavidades naturais subterrâneas existentes no território nacional: *“É obrigatória a elaboração de estudo de impacto ambiental para as ações ou os empreendimentos de qualquer natureza, ativos ou não, temporários ou permanentes, previstos em áreas de ocorrência de cavidades naturais subterrâneas ou de potencial espeleológico, os quais, de modo direto ou indireto, possam ser lesivos a essas cavidades, ficando sua realização, instalação e funcionamento condicionados à aprovação, pelo órgão ambiental competente, do respectivo relatório de impacto ambiental”*

Já a Resolução CONAMA Nº 347, de 10 de setembro de 2004, que dispõe sobre a proteção do patrimônio espeleológico, prevê em seu artigo 4º

que, “a localização, construção, instalação, ampliação, modificação e operação de empreendimentos e atividades, considerados efetiva ou potencialmente poluidores ou degradadores do patrimônio espeleológico ou de sua área de influência dependerão de prévio licenciamento pelo órgão ambiental competente, nos termos da legislação vigente”.

A referida resolução complementa, ainda, no § 1º que, “as autorizações ou licenças ambientais, na hipótese de cavidade natural subterrânea relevante ou de sua área de influência, na forma do art. 20 inciso II, dependerão, no processo de licenciamento, de anuência prévia do IBAMA, que deverá se manifestar no prazo máximo de noventa dias, sem prejuízo de outras manifestações exigíveis”.

Enquanto aparato legal de caráter preventivo, o Licenciamento Ambiental torna-se essencial para garantir a conservação e a preservação de cavidades naturais subterrâneas avaliadas como de alta e máxima relevância. Trata-se de um instrumento fundamental dentro da política de construção do patrimônio espeleológico brasileiro.

As etapas dos estudos espeleológicos, serão aqui apresentadas de forma sucinta. Trata-se somente de um panorama de como pode ser encaminhado o tema no processo de licenciamento ambiental.

Licença Prévia (LP)

Concedida na fase preliminar do planejamento e da viabilidade da atividade considerada efetiva ou potencialmente poluidora. Contém requisitos básicos a serem atendidos na fase de localização do empreendimento, observados os planos municipais, estaduais ou federal do uso do solo.

Nessa fase deverá ser realizada a maior parte dos estudos espeleológicos, tendo em vista que esses estudos deverão ser analisados visando possíveis adequações no plano diretor do empreendimento ou até mesmo a sua viabilidade. Nessa fase poderão ser incluídos:

- **Levantamento bibliográfico.** O levantamento bibliográfico da região constitui etapa básica de qualquer trabalho espeleológico. Informações sobre as cavernas, a geologia, a geomorfologia etc. são fundamentais e poderão trazer um grande número de informações já reveladas através de estudos precedentes.
- **Avaliação do potencial espeleológico e prospecção.** Determinação do potencial espeleológico das Áreas Diretamente Afetadas (ADA) pelo empreendimento e de suas Áreas de Influência Direta (AID), através de levantamento bibliográfico, envolvendo documentos cartográficos de cunho geológico, hidrográfico e geomorfológico. Havendo potencial espeleológico, as áreas de maior capacidade de ocorrência de cavernas devem ser percorridas em campo, tendo os caminhamentos documentados em mapa ou imagem.
- **Topografia das cavernas.** Após a definição do grau de precisão dos levantamentos, será efetuado o mapeamento espeleológico das cavidades identificadas, incluindo planta baixa, além de seções transversais e longitudinais. O mapa será posteriormente digitalizado utilizando-se softwares específicos de desenho espeleológico. Em seguida deverão ser calculados os valores espeleométricos.
- **Estudos geoespeleológicos.** Visando um diagnóstico de qualidade do contexto físico da caverna, os estudos geoespeleológicos deverão conter os seguintes itens:
 - Inserção das cavernas no cenário paisagístico;
 - Litologia;
 - Estrutura;
 - Morfologia;
 - Hidrologia;

- Sedimentos clásticos e orgânicos (incluindo potencial paleontológico);
- Sedimentos químicos (espeleotemas).
- **Estudos bioespeleológicos.** Os estudos bioespeleológicos merecerão um maior detalhamento no capítulo específico desta apostila, mas alguns pontos essenciais de estudos já podem ser discriminados:
 - Coletas de dados bioespeleológicos serão realizadas visando detectar diferenças climáticas sazonais;
 - Descrição do sistema trófico da caverna, informando os tipos de aportes energéticos;
 - Identificação dos vertebrados e invertebrados;
 - Avaliação da ocorrência de espécies ameaçadas, endêmicas, raras e que deverão ser enquadradas, quando possível, nas categorias troglófilas, troglóxenas e troglóbias;
 - Particularidades ecológicas ou observações importantes dos organismos encontrados nas cavidades.
- **Estudos sócio-econômicos e histórico-culturais.** O diagnóstico do meio sócio-econômico, no contexto espeleológico, deverá identificar, descrever e analisar as variáveis citadas abaixo:
 - Aspectos históricos e pré-históricos. As cavernas muitas vezes representam referenciais históricos para a comunidade local ou mesmo para o país, além de guardarem vestígios da ocupação de grupos humanos pré-históricos.
 - Aspectos culturais. As cavernas podem ser utilizadas pela população como objeto ou local de culto, atividades educacionais, turismo, lazer entre outros.
 - Recursos hídricos. As cavernas podem servir de fontes de água para populações locais,

como já amplamente constatado nas regiões áridas do nordeste brasileiro.

- **Análise de relevância das cavernas**

Segundo o Decreto Nº 6.640, 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.

- **Avaliação dos impactos, medidas mitigadoras, monitoramento e medidas compensatórias.**

Diante da avaliação dos impactos ambientais adversos nas cavernas relevantes, decorrentes da atividade que estará sendo proposta, deverá ser analisada a viabilidade ou readequação do empreendimento. A conclusão dos estudos pela viabilidade ou readequação da atividade merecerá estudos complementares, tais como medidas de controle, monitoramento, salvamento espeleológico e compensação.

Licença de Instalação (LI)

Diante de vistoria técnica do órgão ambiental e após a conclusão pela viabilidade do projeto de forma plena ou através de sua readequação, será autorizado o início da instalação do empreendimento, de acordo com as especificações constantes no EIA, como também aquelas elencadas pelo órgão ambiental competente durante a emissão da LP. Nessa etapa, caso necessário, deverão ser realizados estudos específicos, envolvendo:

- Monitoramento (vibração, fauna, hidrologia etc.) de sítios espeleológicos;
- Determinação de perímetro de proteção das cavernas;
- Medidas para proteção de sítios espeleológicos;

- Manejo de sítios espeleológicos;
- Salvamento espeleológico;
- Detalhamento de medidas compensatórias.

Licença de Operação (LO)

Com o término dos estudos espeleológicos específicos, o órgão estadual licenciador retornará ao local para nova vistoria, a fim de constatar se o empreendimento foi instalado de acordo com o projeto apresentado e licenciado, principalmente no tocante ao atendimento das condições e restrições ambientais em relação às cavernas.

Medidas condicionantes e compensatórias poderão ter vigência após a concessão da LO, sendo necessário, no entanto, o estabelecimento de um cronograma de execução. A Tabela 1.3 apresenta as possíveis etapas do licenciamento ambiental e dos estudos espeleológicos no processo de licenciamento.

Etapas do Licenciamento	Etapas dos estudos espeleológicos
Licença Prévia - LP	• Levantamento bibliográfico; • Avaliação do potencial espeleológico e prospecção espeleológica; • Topografia das cavernas; • Estudos geoespeleológicos; • Estudos bioespeleológicos; • Estudos sócio-econômicos, históricos culturais; • Análise de relevância; • Avaliação dos impactos, medidas mitigadoras, monitoramento e medidas compensatórias.
Licença de Instalação - LI	• Monitoramento de sítios espeleológicos; • Determinação de perímetro de proteção das cavernas; • Medidas para proteção de sítios espeleológicos; • Manejo de sítios espeleológicos; • Salvamento espeleológico; • Detalhamento de medidas compensatórias.
Licença de Operação - LO	• Aprovação dos estudos específicos desenvolvidos na fase de instalação - medidas condicionantes e compensatórias poderão ter vigência após a concessão da LO, sendo necessário o estabelecimento de um cronograma de execução e acompanhamento do órgão ambiental.

10. Referências

AULER, A.S. **Protocolo de estudos ambientais em regiões com cavidades naturais subterrâneas e indicativo jurídico**. PROJETO BRA/01/039 – Relatório 3. Apoio à reestruturação do Setor Energético. Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento – PNUD, Ministério de Minas e Energia – MME, 2006. 50p.

MAURITY, Clóvis; KOTSCHUBEY, B. **Evolução recente da cobertura de alteração no Platô N1 – Serra dos Carajás-PA. Degradação, pseudocarstificação, espeleotemas**. Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Série Ciências da Terra 7, 1995. p 331-362.

NEVES, Walter Alves ; PILÓ, Luís B. **Solving Lund's dilemma: new AMS dates confirm that humans and megafauna coexisted at Lagoa Santa**. Current Research in the Pleistocene, Michigan, v. 20 p. 57-60, 2003.

NEVES, Walter Alves; PILÓ, Luis B. **O Povo de Luzia: em busca dos primeiros americanos**. São Paulo, Editora Globo, 2008. 344p.

PILÓ, Luís B. ; **Ambientes cársticos de Minas Gerais: valor, fragilidade e impactos ambientais decorrentes da atividade humana**. O Carste, Belo Horizonte, 1999. v. 19, n. 3, p. 51-78.

PILÓ, Luís B. **Geomorfologia Cárstica**. Revista Brasileira de Geomorfologia, Rio de Janeiro, 2000 v. 1, n. 1, p. 88-102.

2 GEOESPELEOLOGIA

Augusto Auler & Luís Piló

Instituto do Carste

2.1 O Carste e as cavernas

As cavernas não estão isoladas na paisagem. Elas fazem parte de um relevo bastante particular denominado relevo cárstico. O nome carste se origina de uma região calcária na fronteira entre a Eslovênia e a Itália denominada localmente de Kras. A partir daí o termo se internacionalizou, passando a designar todas as regiões que apresentam feições semelhantes. Dentre as peculiaridades das regiões cársticas podemos mencionar a ausência de rios superficiais, já que a maior parte da água corre em condutos subterrâneos, o fato da rocha (normalmente calcários e dolomitos, mas também sal, gesso, arenitos e quartzitos) ser dissolvida por água ácida gerando feições como lapiás, dolinas, sumidouros, surgências, cavernas dentre muitas outras.

O processo básico que provoca a geração das formas cársticas em regiões calcárias pode ser sintetizado pela equação:



A água de chuva absorve dióxido de carbono (CO_2) na atmosfera e se torna ácida devido à formação de ácido carbônico (H_2CO_3). Esta água ao entrar em contato com a rocha já é capaz de dissolver o calcário. Lapiás ou karren correspondem a canalículos ou estrias na rocha (Figura 2.1 e Figura 2.2), por vezes pontiagudos, que são formados pela ação da água ácida da chuva. Esta mesma água, ao penetrar no solo absorve ainda mais dióxido de carbono associado a raízes de plantas e ao húmus. Ao atingir a rocha a água estará bastante ácida, podendo então dissolver o calcário e alargar as fraturas da rocha.

Dolinas estão entre as formas cársticas mais comuns. Consistem em depressões no terreno por vezes suaves, por vezes abruptas (Figura 2.3 e Figura 2.4). Podem ser formadas pela lenta dissolução de uma fratura, levando ao rebaixamento da superfície da rocha, ou mesmo pelo desmoronamento de



Figura 2.1 Maciço calcário intensamente lapiezado. Parque Nacional de Ubajara, Ceará.



Figura 2.2 Lapiás do tipo rinnenkarren na região central da Inglaterra.

uma caverna. Sumidouros e surgências marcam o local onde um rio superficial desaparece na rocha ou surge sob forma de nascente. Já as cavernas são apenas mais uma entre várias feições cársticas, um conduto subterrâneo que transporta a água que se infiltra através de dolinas ou sumidouros. As cavernas fazem parte de um contexto e estão intimamente relacionadas com as outras formas cársticas.

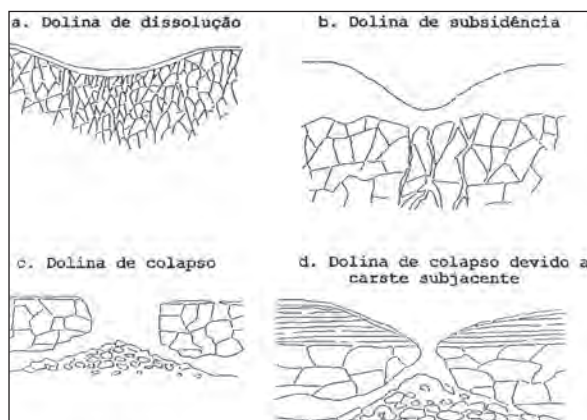


Figura 2.3 Principais tipos de dolinas.



Figura 2. 4 Dolina de colapso em zona urbana. Sete Lagoas, MG, 1988.

As cavernas podem ser primárias ou secundárias. Cavernas primárias são aquelas formadas simultaneamente às rochas que a contêm. O melhor exemplo seriam os tubos de lava, freqüentes em regiões vulcanicamente ativas, e ainda não descritas no Brasil. Durante a erupção de um vulcão, a lava (rocha em estado líquido) escorre pelas encostas da montanha. A lava tenderá a se esfriar e solidificar na área externa (contato com o ar) e no contato com o piso da montanha. No entanto, no núcleo a lava continuará a fluir. Quando cessar o suprimento de lava, devido ao término da erupção ou alteração da rota de escoamento, um conduto tubular será gerado. As cavernas em tubo de lava estão normalmente muito próximas à superfície, sendo por isto muito afetadas por abatimentos. Desta forma, este tipo de caverna tem vida normalmente curta, estando preservada apenas em locais de erupção recente, de até alguns milhares de anos. No Brasil, as atividades vulcânicas são mais antigas, e qualquer tubo de lava gerado no passado, provavelmente terá sido destruído pela erosão. Outro exemplo de caverna primária seriam as cavernas em tálus. Tálus são zonas de abatimentos, muito freqüentes em encostas de morros de granito ou gnaiss. Os recessos entre os blocos podem formar uma série de espaços vazios interconectados. Algumas das maiores cavernas graníticas do país são na verdade cavernas em tálus, como a Gruta do Quarto Patamar na Serra de Paranapiacaba, SP. Cavernas em tálus ocorrem também em quartzito e minério de ferro.

Cavernas **secundárias** são aquelas geradas após a rocha ter sido formada. Inclui a maioria esmagadora das cavernas conhecidas, como as cavernas cársticas.

Uma segunda maneira de classificar as cavernas diz respeito à forma de atuação do agente espeleogenético. Duas grandes categorias podem ser diferenciadas. **Cavernas exógenas** são criadas por meio de agentes que atuam no exterior do maciço rochoso, de fora para dentro. Exemplos típicos seriam as cavernas litorâneas formadas pela erosão de ondas, bastante freqüentes em todo o litoral brasileiro, como nos basaltos de Torres, RS, ou a Gruta Que Chora, em Ubatuba, SP. Cavernas geradas pela ação de ventos são comuns em áreas desérticas, não tendo sido descritas até o momento no Brasil. Outro tipo de caverna exógena são abrigos gerados por erosão lateral de rios. São normalmente de reduzidas dimensões e em litologia variada, estando descritas em vários locais do Brasil. Orifícios ou reentrâncias em rochas graníticas recebem o nome genérico de tafone. Os tafoni (forma plural de tafone) podem ser de grandes dimensões, chegando a formar cavernas. Na região próxima a Milagres, BA, às margens da BR-116, existem belos exemplos de cavidades deste tipo (Figura 2.5). Sua gênese é provavelmente devido à ação física do intemperismo no maciço rochoso. Muitos tafoni não chegam a constituir cavernas, por serem pouco profundas em relação à altura da entrada.



Figura 2.5 Tafoni na região de Milagres/Itatim, Bahia. As letras da palavra Tyresoles possuem cerca de 6 m de altura.

Cavernas **endógenas**, por outro lado, são formadas primordialmente por agentes atuantes no interior da rocha. Um exemplo seriam as cavernas tectônicas, representadas por fraturas ou falhas abertas pela movimentação natural das camadas rochosas. Outro tipo seriam as cavernas cársticas, formadas pela ação química da água ácida em rochas solúveis. A maioria esmagadora das cavernas existentes no planeta é deste segundo tipo. Trataremos principalmente das cavernas em rochas carbonáticas, que perfazem a maior parte das cavernas conhecidas. Cavidades em outros tipos de rocha, como rochas siliciclásticas (arenitos, quartzitos, conglomerados), e em minério de ferro serão também abordadas.

2.2 Unidade Geomorfológica e Unidade Espeleológica

Os conceitos de “Unidade Geomorfológica” e “Unidade Espeleológica” aplicados a espeleologia foram introduzidos a partir da publicação do Decreto Federal 6640 em fins de 2008. Estes termos, segundo a Instrução Normativa No 2, dizem respeito respectivamente ao enfoque local e enfoque regional. Segundo o Decreto 6640 estes termos são definidos como:

- Enfoque Local – Unidade Espacial que engloba a cavidade e sua área de influência.
- Enfoque Regional – Unidade espacial que engloba no mínimo um grupo ou formação geológica e suas relações com o ambiente no qual se insere.

Já a Instrução Normativa fornece uma definição muito distinta:

- Enfoque Local (Unidade Geomorfológica) – 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.
- Enfoque Regional (Unidade Espeleológica) – Área com homogeneidade fisiográfica,

geralmente associada à ocorrência de rochas solúveis, que pode congrega diversas formas de relevo cárstico e pseudocárstico tais como dolinas, lapiás e cavernas, delimitada por um conjunto de fatores ambientais específicos para sua formação.

A definição apresentada pelo Decreto Federal é de difícil aplicação. No enfoque local, no caso de estarmos lidando com cavernas secas e isoladas na paisagem (como o caso de muitas cavernas em tálus ou em minério de ferro) a área a ser considerada seria a própria caverna e seu entorno imediato. Em muitas regiões teríamos dezenas ou centenas de zonas de enfoque local.

Também a definição de enfoque regional é pouco coerente, por ser por demais ampla. Alguns grupos ou formações geológicas (como o grupo Bambuí ou a Formação Sete Lagoas nele inserida) se estendem por milhares de quilômetros, fazendo com que o enfoque regional seja exageradamente grande.

Já as definições da Instrução Normativa são mais coerentes, propiciando a definição de áreas de enfoque local e regional “administráveis” do ponto de vista ambiental. O enfoque regional (Unidade Espeleológica) guarda relação com o conceito de Províncias e Distritos Espeleológicos originalmente definidos por Karmann e Sánchez (1980), embora exija um detalhamento melhor. A definição destes parâmetros deverá ser efetuada dentro de bases científicas, levando em consideração aspectos espeleológicos e fisiográficos em geral.

2.3 Espeleogênese em cavernas em rochas carbonáticas

Rochas carbonáticas (calcários, dolomitos, mármore em vários níveis de pureza) possuem a propriedade de serem solúveis ao ataque de águas ácidas. Estas rochas irão concentrar a maior parte das cavernas existentes no planeta. O dolomito e o mármore são menos solúveis que os calcários. Isto não impede, no entanto, que longas e amplas cavernas se formem nestas rochas. A maior caverna brasileira, a Toca da Boa Vista, com mais de 100

km explorados, se insere em dolomitos. De uma forma geral, os processos envolvidos na gênese de cavernas em rochas carbonáticas são similares nestas três litologias, o que permite que se trate o assunto de uma forma unificada.

As cavernas são “anomalias” na massa rochosa. A maior parte do volume dos carbonatos é essencialmente maciça, não possuindo grandes espaços vazios. Worthington (1991) estima que em carbonatos carstificados, a porosidade devida a cavernas fica entre 0,1-1%. As cavernas estão geralmente condicionadas a certos níveis ou horizontes de desenvolvimento. Lowe (1992) acredita que horizontes de iniciação na rocha condicionam a localização dos condutos e a própria existência da caverna. Estes horizontes podem ser o contato entre rochas solúveis e insolúveis, que segundo Palmer (1991) respondem pelo controle geológico de 18% de todas as cavernas conhecidas. Algumas grutas no carste do Vale do Ribeira e em Lagoa Santa se posicionam em contatos litológicos. Fraturas (planos de ruptura normalmente verticalizados de origem tectônica, Figura 2.6), falhas (planos de ruptura verticalizados com movimentação relativa entre os lados) e planos de acamamento (plano horizontalizado que divide diferentes camadas da rocha) são os horizontes de iniciação mais propícios para a espeleogênese. De acordo com Palmer (1991), 99% das galerias de cavernas estão orientadas segundo estas estruturas. Outros horizontes favoráveis podem ser níveis de minerais sulfetados, níveis de distinta granulometria, horizontes com carstificação pretérita (paleocarste), entre outros.



Figura 2.6 Dolina de entrada da Gruta do Centenário, Pico do Inficionado, MG, notando-se o intenso fraturamento.

As diversas formas de recarga da água, a estrutura da rocha, a direção de escoamento da água subterrânea, entre outros fatores, irão influenciar o padrão das cavernas. Em planta, após o levantamento topográfico, pode-se observar que a configuração espacial das cavernas tende a seguir determinados padrões. Segundo Palmer (1991) existem 5 padrões planimétricos principais de cavernas. A Figura 2.7 mostra estes padrões. Cavernas dendríticas constituem o tipo mais comum. Consistem em um con-

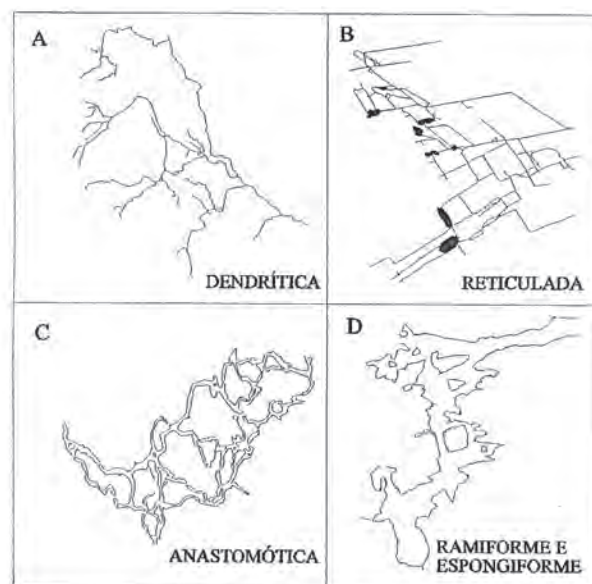


Figura 2.7 Padrões morfológicos de cavernas segundo Palmer (1991).

duto de um rio (ativo ou pretérito) principal com condutos laterais se unindo como tributários. A Gruta do Cesário, em Campo Formoso, BA, é um excelente exemplo de caverna dendrítica (Figura 2.8). Cavernas reticuladas possuem galerias condicionadas por fraturas, que se entrecruzam em ângulos determinados pela estrutura da rocha. A Lapa Nova, em Vazante (MG), consiste em exemplo bem conhecido. Cavernas anastomóticas (ou anastomosadas) apresentam diversas galerias curvilíneas que se entrelaçam. A Gruta da Escada, em Matozinhos, MG, exemplifica este padrão. Cavernas espongiformes se caracterizam por um padrão de salas e condutos de formato irregular, se unindo como os poros de uma esponja. Muitas das cavernas inseridas no calcário da Formação Caatinga possuem este tipo de padrão. Setores labirínticos da Toca dos Ossos,

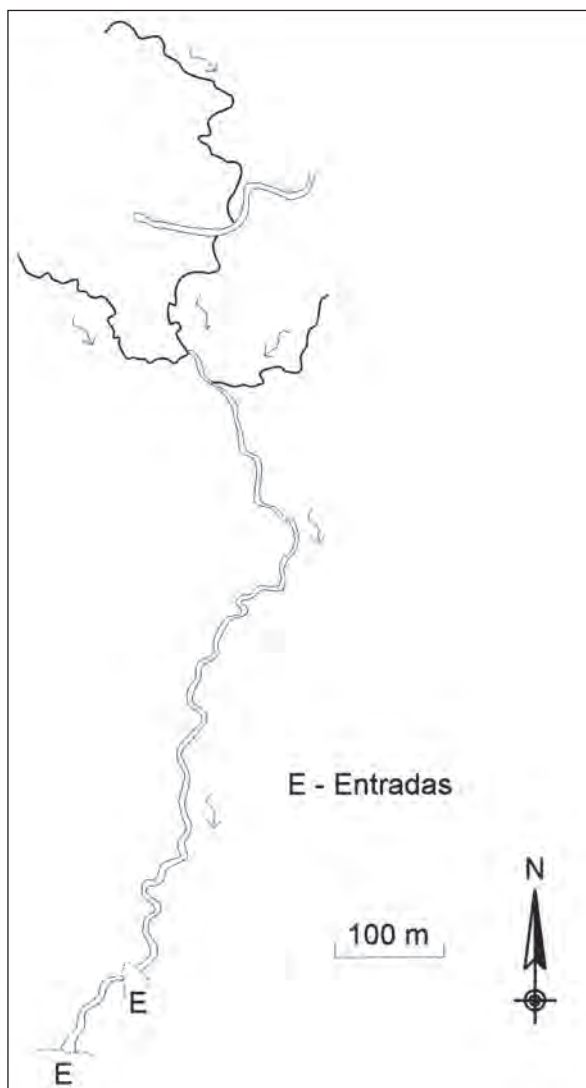


Figura 2.8 Gruta do Cesário, Campo Formoso, BA, uma caverna dendrítica.

em Ourulândia, ilustram magnificamente este tipo morfológico. Cavernas ramiformes mostram condutos de perfil e seção irregular, se ramificando de forma errática. As cavernas no Grupo Una, na região de Campo Formoso, possuem esta morfologia, como a Toca da Barriguda (Figura 2.9). Muitas cavernas mostram uma morfologia que abrange mais de um padrão, assim como gradação entre estes padrões podem ser comuns. Da mesma forma, muitas cavernas são apenas fragmentos de outros grandes sistemas, em que um padrão morfológico não pode ser determinado com precisão. O termo genérico "caverna labiríntica", muito usado por exploradores e espeleólogos, pode indicar cavernas do tipo espongiiforme, ramiforme, reticulado ou mesmo anastomótico, dependendo da densidade de galerias que se interconectam.

Cavernas **epigênicas** são aquelas geradas pelo fluxo de água a partir de zonas de recarga na superfície, oriundas de águas meteóricas (de chuva ou de rios superficiais). Compreendem a grande maioria das cavernas existentes. No entanto, várias cavernas, incluindo a maior do Brasil e algumas das maiores do mundo, ocorrem devido a ação química de águas ascendendo em profundidade, ou acidificadas no interior do maciço rochoso. Esta categoria recebe o nome de cavernas **hipogênicas**.



Figura 2.9 Toca da Boa Vista, Campo Formoso, BA, uma caverna reticulada/ramiforme.

Cavernas Epigênicas

Nas cavernas epigênicas a água se infiltra no maciço rochoso a partir do exterior. A maneira como esta infiltração se dá será importante na definição do padrão das galerias. Em locais onde a infiltração é pontual, como por exemplo em um sumidouro ou em fundo de dolina, a tendência será a formação de uma caverna do tipo dendrítica. No caso de uma infiltração difusa, como em uma zona de inundação, cavernas labirínticas do tipo reticulado ou anastomótico podem se formar. Auler (1995) mostrou que boa parte das cavernas do carste de Lagoa Santa são labirintos reticulados formados pela infiltração difusa da água de lagos.

As cavernas podem ocorrer em todos os tipos de zonas hidrológicas. Na zona freática, os condutos tenderão a escolher o percurso mais simples de acordo com o gradiente hidráulico, em direção à zona de descarga. Assim sendo as fraturas e os planos de acamamento mais propícios serão utilizados. Extensas cavernas se desenvolvem totalmente na zona freática. Um exemplo seria os sistemas quilométricos de cavernas alagadas na Flórida, USA. No Brasil, cavernas exploradas por espeleomergulhadores como a Nascente do Rio Formoso, em Bonito, MS ou o Sistema da Pratinha em Iraquara, BA, exemplificam cavernas na zona freática. Na zona vadosa, um tipo de caverna bastante simples é formado quando a água se infiltra em um abismo e percorre fraturas e planos de acamamento até atingir a zona freática. Neste tipo de caverna o curso d'água, por vezes temporário, não está conectado ao aquífero e fluirá independentemente do nível de base até adentrar a zona freática. Diversas cavidades verticalizadas em várias regiões brasileiras seguem este tipo de modelo, como alguns abismos no Vale do Ribeira, SP. Muitas cavernas também se desenvolvem no contato entre estas zonas hidrológicas. Em regiões de climas sazonais, como a maior parte do Brasil, diversas cavernas tornam-se alagadas quando de chuvas intensas, transicionando da zona vadosa para freática. Um bom exemplo são os condutos e "teto baixo" da Gruta Olhos d'Água, em Itacarambi, MG, que inundam quando de chuvas

torrenciais. Outras cavernas possuem uma zona superior vadosa, atingindo o lençol freático e prosseguindo alagada na zona freática. Estes exemplos mostram que as cavernas podem existir em todas as zonas hidrológicas, possuindo frequentemente galerias em mais de uma delas.

Experimentos realizados em gesso mostram como ocorre a propagação de galerias a partir de um ponto de infiltração. Inicialmente, sob fluxo laminar, forma-se uma série de pequenos canalículos que se propagam em direção ao ponto de saída. Quando um desses protocondutos consegue se conectar ao ponto de saída, ele passará a transmitir uma quantidade maior de água, se alargando mais rapidamente. Isto fará com que os outros condutos se desenvolvam em direção a ele, ou então sejam abandonados, iniciando uma caverna de padrão dendrítico. Pesquisas mostram que um importante incremento na taxa de dissolução de um protoconduto se dá quando ele ultrapassa o limite de transição entre o fluxo laminar e turbulento. O fluxo passará a ser turbulento quando o protoconduto atingir um diâmetro por volta de 10 mm, dependendo do gradiente hidráulico e da temperatura.

Em termos de química, é necessário que a água mantenha sua capacidade dissolutiva ao longo de todo o percurso. A medida que ela dissolve o carbonato, a água vai se tornando saturada, diminuindo assim a capacidade de alargar o conduto. No entanto, essa diminuição se dá de forma bastante lenta, tornando possível que longos protocondutos sejam alargados. Worthington & Ford (1995) acreditam que além do ácido carbônico, o ácido sulfúrico, ainda que em pequenas quantidades, pode ser importante na iniciação de condutos.

Ford & Ewers (1978) propuseram um modelo espeleogenético que é ilustrado na Figura 2.10. De acordo com esse modelo, a densidade das juntas na rocha irá definir o tipo de caverna gerado. Em carbonatos dobrados com pequena densidade de juntas, o fluxo tenderá a seguir as poucas zonas de descontinuidade disponíveis, adotando um perfil com "loops" profundos. A medida que a densidade de juntas aumenta, a água poderá escolher

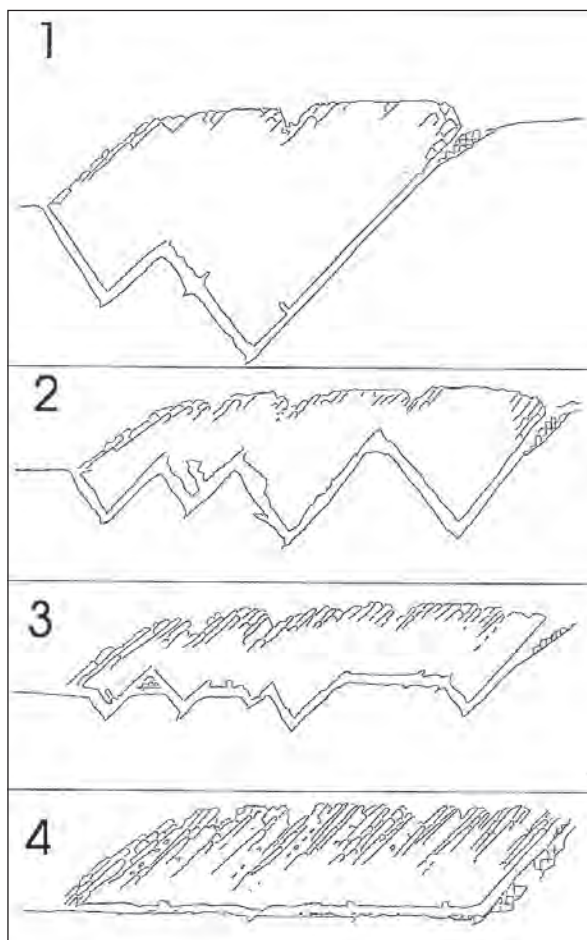


Figura 2.10 Modelo de Ford & Ewers, relacionando rotas de fluxo e densidade de fraturamento.

rotas de fluxo mais retilíneas, culminando no caso de cavernas essencialmente planas que seguem o contorno do lençol freático. No Brasil, onde muitos dos nossos carbonatos são horizontalizados, as cavernas tenderão a seguir planos de acamamento subhorizontais, gerando uma morfologia de amplos e longos condutos com poucos desníveis. Um bom exemplo seria a extensa galeria principal da Gruta do Padre, no oeste baiano.

Segundo Worthington (1991), a extensão da bacia de drenagem e o mergulho e a direção das camadas de carbonato são os principais fatores a determinar a que profundidade em relação ao nível freático a maior parte dos condutos irá se desenvolver. Cavernas ativas existem a grande profundidade, conforme demonstrado pela exploração por submersíveis e espeleomergulhadores. Profundidades acima de 300 m já foram atingidas em alguns locais. No Brasil, a Lagoa Azul, em Niquelândia, GO, foi explorada até -260 m.

Depois que o conduto passa pela fase de iniciação, ele pode evoluir de duas maneiras principais. Na paragênese (Renault, 1968), o conduto evolui ascendentemente. Na singênese ele evolui descendente. Inicialmente, com o conduto totalmente na zona freática, a água, dissolve teto, paredes e piso ao mesmo tempo favorecendo o aparecimento de uma seção aproximadamente circular. Com o rebaixamento do nível freático, o topo do conduto passa a possuir ar e, portanto, a dissolução passará a ocorrer somente no piso, criando pouco a pouco um perfil do tipo cânion. As altas galerias de rios no carste do Vale do Ribeira são cânions vadosos que evoluíram desta maneira. Rebaixamentos abruptos do nível de base, ou juntas favoráveis, podem causar a migração da água para condutos inferiores independentes, deixando secas as galerias superiores. A evolução descendente será atenuada quando um nível impermeável for atingido. Os grandes sistemas do carste de São Domingos, GO, constituem belíssimos exemplos de cânions vadosos que atingiram (e escavaram) um embasamento ígneo.

Em uma evolução paragenética (Figura 2.11), o fluxo lento da água permite que se acumule sedimento no piso. Este sedimento impermeabilizará a base, fazendo com que a água dissolva preferencialmente no teto. Assim o conduto evoluirá ascendentemente, havendo um equilíbrio entre a deposição de materiais finos no piso e a dissolução no teto. O desenvolvimento paragenético cessará quando for atingido o nível freático. Em um conduto paragenético preservado, os sedimentos preenchem um cânion, deixando um espaço vazio no topo. No carste de Lagoa Santa, entre outros locais, é nítida uma fase paragenética.

Numerosas formas esculpidas pelas águas nas paredes, piso e teto de galerias podem fornecer indícios importantes a respeito dos processos envolvidos na espeleogênese. Estas feições recebem o nome genérico de espeleogens. Ondas de erosão (ou scallops) são concavidades nas paredes que são bastante úteis para se interpretar direção de fluxo em galerias secas. Possuem um bordo mais suave e

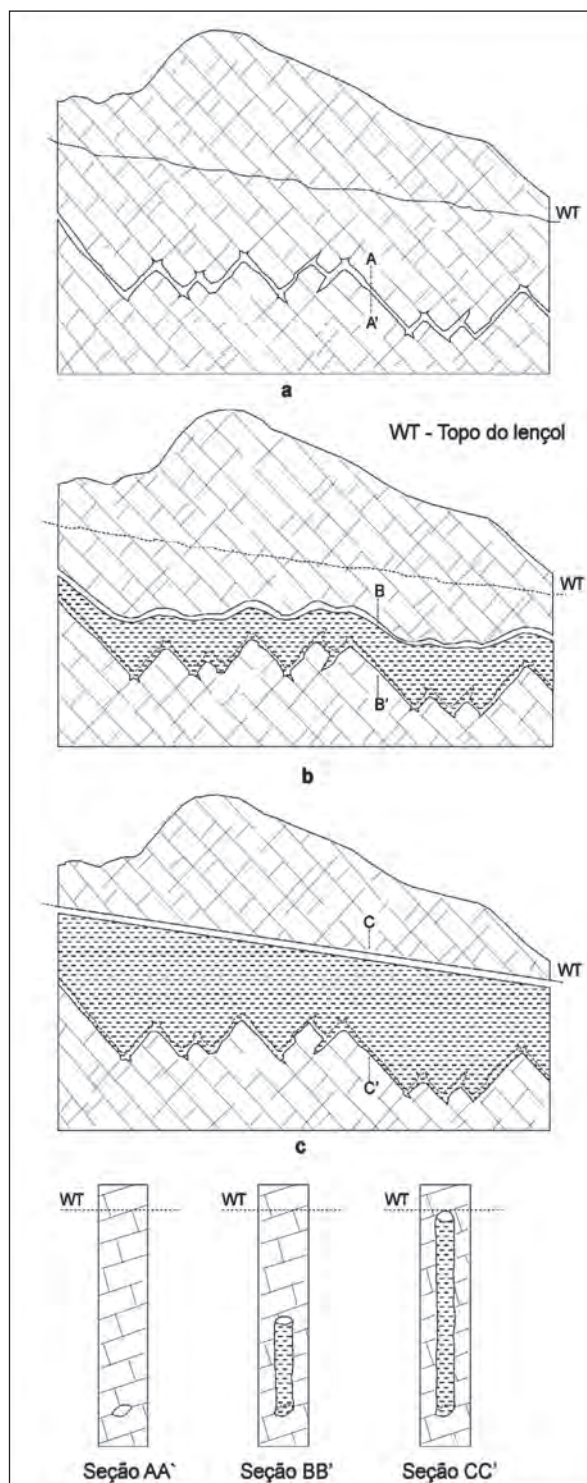


Figura 2.11 Evolução paragenética de uma galeria (perfil e seções) segundo Pasini (1967).

outro mais inclinado. A direção pode ser determinada facilmente, sempre do lado mais inclinado para o lado mais suave. Conhecida a largura do conduto e o comprimento da onda de erosão, com o auxílio de um gráfico pode-se determinar a velocidade da água que gerou aquele conduto (Figura 2.12).



Figura 2.12. Scallops no teto de uma galeria de caverna.

Cúpulas são depressões arredondadas que ocorrem em geral no teto, condicionadas por fraturas. Sua gênese é controvertida. Alguns autores acreditam que são geradas por corrosão de mistura, quando do contato entre águas que descendem pela fratura com águas que preenchem totalmente o conduto da caverna. Outras hipóteses incluem dissolução por contato entre a água da fratura e o ar da caverna, ou mesmo por dissolução devido a águas ácidas injetadas durante inundações. Cavernas hipogênicas apresentam este tipo de feição, neste caso sendo interpretadas como formadas por dissolução por água ascendente sob pressão ou pelo próprio vapor associado ao ar da caverna. Anastomoses são um conjunto de canalículos no teto ou paredes. São bastante comuns em cavernas paragenéticas, formando-se no contato entre sedimento e solo. Anastomoses podem também evidenciar a fase inicial de espeleogênese em uma caverna. Pendentes são projeções nos tetos. Bastante comuns em cavernas que foram preenchidas por sedimentos, tem sua gênese provavelmente relacionada à dissolução diferencial na interface sedimento-rocha (Figura 2.13).

Cavernas vadosas podem ser percorridas por rios. Neste caso a água não mais ocupará todo o perímetro da galeria (salvo as vezes em caso de enchentes) e a gruta tenderá a ser escavada para baixo, da mesma forma que um rio escava um cânion. Na fase vadosa também tem início a formação de espeleotemas, depósitos cristalinos muito frequentes em grutas. A caverna pode eventualmente



Figura 2.13. Pendentes na Gruta dos Túneis, Lagoa Santa, MG.

tornar-se totalmente seca e por fim se aproximar (devido à erosão do terreno e soerguimento) da superfície e ser removida pela erosão (Figura 2.14).

O processo de formação e evolução de uma caverna é lento e pode levar milhões de anos. Durante todo este processo existem vários fatores e variáveis que interferem e dão às cavernas uma grande variabilidade de formas e tamanho.

Cavernas hipogênicas

Em uma caverna hipogênica, o agente ativo na dissolução provem da subsuperfície, podendo ser tanto ácido carbônico quanto ácido sulfúrico. A água ascendente, normalmente aquecida devido à profundidade, pode vir carregada destes ácidos. Cavernas criadas desta forma são denominadas cavernas hidrotermais. Ácido sulfúrico é o agente principal na gênese de muitas cavernas hipogênicas. Pode ser produzido a partir do gás H_2S que ascende pela rocha e se mistura com a água

subterrânea produzindo o ácido sulfúrico que dissolve a caverna. A origem do H_2S pode estar ligada a bacias de hidrocarbonetos (petróleo), como no caso das enormes cavernas de Lechuguilla e Carlsbad nos Estados Unidos. A oxidação de lentes de pirita, um mineral do grupo dos sulfetos de ocorrência freqüente em carbonatos, pode vir a gerar ácido sulfúrico em quantidades suficientes para formar grandes cavernas. Este parece ser o agente principal responsável em maior ou menor grau pela gênese de diversas cavernas em litologias do Grupo Una, centro Norte da Bahia, como a Toca da Boa Vista (Auler et al. 2003).

Cavernas hipogênicas diferem em alguns aspectos importantes de suas correspondentes epigênicas. Como foram criadas a partir do interior da rocha, não possuem qualquer relação com o terreno superficial. Suas entradas são normalmente abatimentos fortuitos devido à interceptação de condutos preexistentes quando do rebaixamento natural da superfície. Sedimentos fluviais são em geral ausentes. A mineralogia dos espeleotemas é distinta, destacando-se, no caso de cavernas formadas por ácido sulfúrico, espeleotemas de gesso. Pendentes, cúpulas e forte intemperismo na rocha são outras feições típicas. Cavernas hipogênicas não possuem necessariamente entradas, e portanto podem permanecer à margem das descobertas espeleológicas, dando a falsa impressão de que representam uma tipologia rara no contexto espeleológico.

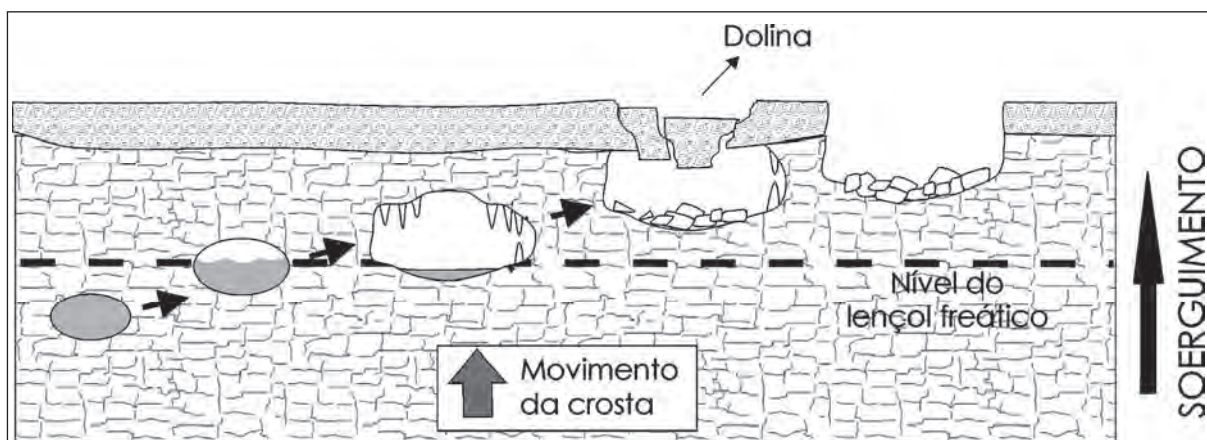


Figura 2.14 Ao final da evolução de uma caverna ela tende a se tornar seca devido ao soerguimento e erosão superficial.

Espeleogênese em cavernas não carbonáticas

Dentre as rochas não carbonáticas onde ocorrem processos de dissolução e conseqüente geração de um número expressivo de cavernas cita-se o gesso, o sal, o gelo, o quartzito, o arenito e o minério de ferro. Cavernas em gesso, sal e gelo ainda não foram descritas no Brasil, ao passo que cavidades nas demais litologias mencionadas são bastante freqüentes, inserindo-se os exemplos brasileiros entre os mais representativos do mundo. Iremos enfatizar, pois, cavernas em arenito/quartzito e em minério de ferro.

Quartzitos e arenitos são rochas assemelhadas, compostas principalmente por sílica, sendo que os quartzitos são basicamente arenitos que sofreram metamorfismo, ou seja, foram sujeitos à alta temperatura e pressão. Os processos espeleogenéticos que atuam em arenitos e quartzitos são similares. A sílica e o quartzo são muito pouco solúveis, mas sob climas quentes podem sofrer lenta dissolução. Esta dissolução inicial irá permitir que a água comece a circular em canalículos (protocavernas) removendo os grãos de quartzo e alargando por ação mecânica o conduto. Estes processos ocorrerão preferencialmente nos planos de descontinuidade da rocha. Em quartzitos e arenitos, a dissolução cumprirá um papel inicial importante, mas quantitativamente menor quando comparado com a evolução por erosão, que será responsável pelo efetivo alargamento dos condutos. Portanto, uma primeira fase dissolutiva leva à remoção do cimento silicoso que une os grãos de quartzo, ou mesmo à dissolução das bordas dos cristais de quartzo, fazendo com que os mesmos fiquem soltos. A ação erosiva da água pode, então, facilmente remover estes grãos, criando as cavernas.

Em minério de ferro pouco se sabe sobre a gênese das cavernas. Simmons (1963), trabalhando em áreas com presença de minério de ferro dolomítico no Quadrilátero Ferrífero, foi pioneiro em atribuir a gênese de cavernas em minério de ferro e canga a processos de dissolução. Segundo ele, a dissolução do dolomito, mas também de quartzo e hematita, leva à formação de uma zona de minério de

ferro alterado de alta porosidade que chega a atingir 50% do volume da rocha. Em regiões de minério de ferro silicoso, a dissolução da sílica também exerce um papel importante.

Uma vez que o enriquecimento supergênico consiste na retirada de matéria do protominério (lixiviação), além do aumento residual do teor em ferro, o processo promove também um significativo aumento da porosidade e permeabilidade do corpo mineral. Ribeiro (2003), trabalhando no Quadrilátero Ferrífero, demonstrou que pode haver uma redução de até 40% do volume da rocha, resultando em minério friável com alta porosidade. A remoção de sílica e/ou dolomito resulta em uma concentração e conseqüente geração de zonas com minérios de ferro de alto teor (processo supergênico).

A morfologia espongiiforme e o fato de que a entrada é muitas vezes dimensionalmente incompatível com os condutos interiores leva a supor que algumas das cavernas tivessem, originalmente, evoluído no interior do maciço, sem uma saída para o exterior (caverna oclusa). Da mesma forma, galerias maiores conectadas por condutos menores podem ter evoluído independentemente e posteriormente terem se conectado.

Autores como McFarlane & Twidale (1987) acreditam que a dissolução dos óxidos de ferro, e não somente de sílica e dolomita, são essenciais na carstificação em minério de ferro. A criação do que McFarlane & Twidale (1987) chamaram de “zonas pálidas” no saprólito dependeria da lixiviação de ferro. Devido ao caráter pouco solúvel de óxidos de ferro, estes autores evocam a atuação de agentes microbiológicos, já que existem microorganismos capazes de remover Fe através de complexação e formação de quelatos que possuam afinidade com o ferro. Ainda não há dados para quantificar a perda de volume da rocha via dissolução do ferro. Expressivos espeleotemas (pingentes) formados por oxi-hidróxidos de ferro demonstram a solubilidade do ferro.

Na Serra dos Carajás duas fases espeleogenéticas foram propostas por Pinheiro & Maurity (1988).

Durante a primeira fase, inteiramente na zona freática, ocorre a formação de complexos alumino-ferrosos e argilo minerais instáveis de Fe, Al e Si que preenchem os vazios da canga e da Formação Ferrífera Bandada, mas também ocorrem em níveis inferiores a esta. A remoção deste material residual instável leva à formação de cavidades irregulares que podem ser observadas nas paredes e cavidades das cavernas (Pinheiro & Maurity, 1988). A segunda etapa, ainda na zona freática, envolve processos erosivos (piping) que basicamente expandem as cavidades geradas na primeira etapa, levando então à formação de galerias e salões. Estes processos erosivos serão intensificados quando a caverna passar a ser exposta à atuação de processos vadosos, propiciando também a atuação de processos de abatimento (Pinheiro & Maurity, 1988).

Piló & Auler (2005), em revisão sobre o tema, adotam muitas das idéias discutidas anteriormente, admitindo a existência de duas etapas distintas, a primeira delas com predominância de processos dissolutivos (químicos) e a segunda sob a ação de processos erosivos (físicos). A primeira etapa, endógena, envolve reações químicas no interior da massa rochosa na zona freática, gerando zonas de alta porosidade. Posteriormente o material friável resultante será lixiviado para o exterior através de processos similares ao piping descrito para cavidades em rochas siliciclásticas. Esta segunda etapa, iniciada na zona freática, pode ter continuidade na zona vadosa, quando os processos de piping podem vir a ser favorecidos.

Bordas de topo de serras, áreas onde haja quebra de relevo, ou encostas íngremes, são locais em que o gradiente hidráulico do lençol freático será mais pronunciado, resultando em uma maior velocidade da água subterrânea e concomitante maior capacidade erosiva da mesma.

Iniciada a etapa erosiva das cavidades e sendo estabelecida uma saída para o exterior, os processos físicos serão incrementados. Material de granulometria fina será aportado para o interior das cavernas, principalmente via canalículos, de onde será evacuado para o exterior. Esta fase erosiva, aliada a

processos de abatimento de blocos, é responsável pela maior parte da morfologia atualmente observada nas cavernas de minério de ferro estudadas. Evolução ascendente de galerias, devido à abatimentos, é também freqüente em algumas grutas.

Gênese única ou rara

O conceito de raridade depende, claro, do que se considera comum. Para ser utilizado de forma coerente é necessário haver uma amostragem significativa do atributo em questão. Por exemplo, se conhecemos apenas poucas cavernas em determinada região e somente uma delas apresenta gênese ligada a fatores hipogênicos, ela poderia ser considerada como rara. Mas isto pode ser um mero artifício de uma amostra reduzida. Com estudos mais aprofundados, pode-se comprovar que a hipogenia é freqüente naquela área e, com isto, sua gênese perderia a "raridade".

Como regra geral, cavernas geradas por processos hipogênicos tendem a ser mais raras do que cavernas epigênicas. Outro tipo bastante raro de gênese de cavernas é quando há contribuição, na escavação de algumas galerias, de animais da megafauna, como tatus gigantes. Poucas cavernas apresentam este tipo de gênese. Cavernas geradas por processos hidrotermais também são pouco comuns. Cavernas em que há contribuição significativa de corrosão por águas de condensação também devem ser consideradas como raras.

Cavernas em rochas pouco propícias ao cavernamento, como granitos, gnaisses, siltitos, solos, etc, são normalmente feições menos comuns, podendo ser raras dependendo das circunstâncias.

Morfologia única e estruturas espeleogenéticas

De modo a se auferir se determinada morfologia é única deve-se fazer uma comparação com a morfologia das cavernas conhecidas, tanto no enfoque local quanto regional. Para tal comparação é necessária observação do mapa da caverna, buscando-se determinar o seu padrão planimétrico em relação aos padrões morfológicos conhecidos (den-drítico, ramiforme, espongi-forme, anastomosado e

reticulado). Caso determinada morfologia seja muito pouco freqüente poderá ser considerada como rara.

A morfologia pode também referir-se às microformas (espeleogens), como cúpulas, scallops, etc. A legislação refere-se a estas microformas como “estruturas espeleogenéticas”. A descrição geológica das cavernas deverá conter registro da ocorrência, dimensão e demais características dos espeleogens. Uma análise comparativa com as demais cavernas no enfoque regional e local poderá definir se determinada morfologia é ou não única.

Os padrões do tipo ramiforme e espongiiforme tendem a ser quantitativamente mais raros, embora dificilmente sejam únicos. Espeleogens tendem a ser comuns em cavernas carbonáticas, mas raros ou inexistentes em grutas em rochas siliciclásticas ou em minério de ferro.

Estruturas geológicas de interesse científico

Compreendem feições geológicas como contatos entre litologias diferentes, estruturas na rocha como dobramentos, falhas, feições deposicionais, etc. As cavernas, por propiciarem uma visão interna do afloramento rochoso, apresentam o potencial para esclarecer questões fundamentais relativas à história geológica de determinada área, principalmente se houver ausência de afloramentos na superfície. Um relatório geoespeleológico bem estruturado conterá descrição destas feições, permitindo uma análise comparativa em relação a outras cavernas em escala regional e local.

2.4 Sedimentação em cavernas

2.4.1 Sedimentação clástica

A maior parte das grutas apresenta algum tipo de sedimentação. Em geral são argilas ou areias trazidas por rios ou enxurradas a cobrir o piso da caverna ou material desprendido do teto e paredes. Os sedimentos de origem não química podem ser classificados em dois grandes grupos, ou seja, aqueles originários a partir de rochas (sedimentos clásticos) ou aqueles derivados de material orgânico. Sedimentação orgânica, por guardar relação com

aspectos biológicos, não será tratada neste módulo.

Os sedimentos clásticos compreendem desde material com tamanho de blocos até minúsculos grãos de areia. A maior parte provem de fora da caverna (sedimentos alóctones), embora algumas rochas como calcários impuros, quartzitos ou arenitos, forneçam sedimentos providos do interior da própria caverna (sedimentos autóctones).

A composição da sedimentação alóctone depende da área fonte. No caso de depósitos aluviais (trazidos por rios) pode representar material oriundo de áreas distantes, inseridas na bacia de captação da drenagem. Este material tenderá a possuir graus variados de arredondamento, fruto do transporte desde a área fonte. Por vezes é possível distinguir gradações na granulometria, importantes para se determinar o ambiente deposicional. Por exemplo, sedimentos de granulação muito fina, como argila, normalmente indicam sedimentação em situações de água estagnada ou de fluxo muito lento. Já sedimentos de granulometria mais grosseira, como seixos ou calhaus, necessitam de considerável caudal e normalmente são oriundos de fluxo com maior velocidade.

Entre os sedimentos autóctones, blocos caídos do teto perfazem a maior parte da sedimentação. Os abatimentos são processos naturais, inerentes ao ciclo evolutivo das cavernas. Lembrando que o vazio representado pela caverna suporta milhares de toneladas de rocha acima; há uma considerável tensão no maciço rochoso. Os abatimentos representam alívios de tensão, a partir dos quais a caverna busca atingir uma forma mais estável que melhor se ajuste ao jogo de tensões. Os abatimentos ocorrem de forma espaçada no tempo, não constituindo um perigo que deva preocupar os espeleólogos. Blocos podem ser de vários tamanhos, desde blocos com mais de 50 m de altura, como na Gruta dos Brejões (BA) até diminutas lascas. Outra forma de sedimentação autóctone compreende material insolúvel (impurezas) comumente encontradas em meio à rocha matriz, como bolsões de argila ou zonas arenosas.

Praticamente todas as cavernas apresentam tanto sedimentação alóctone quanto autóctone, embora sedimentação alóctone seja mais comum em cavernas carbonáticas. Grutas hipogênicas tendem a apresentar reduzida sedimentação alóctone, como é o caso da Toca da Barriguda e Toca da Boa Vista. Grutas em minério de ferro e em rochas siliciclásticas apresentam predominantemente sedimentação autóctone. Temos, por fim, o exemplo de grutas em tálus que são constituídas por espaços vazios em meio a blocos abatidos.

2.4.2 Sedimentação química

Os depósitos cristalinos formados no interior da caverna recebem o nome genérico de espeleotemas (do grego “depósitos de cavernas”). Os espeleotemas conferem beleza às cavernas, compreendendo centenas de formas, desde as mais comuns, como coralóides, estalactites e estalagmites, até formas muito raras encontradas em poucas cavernas. Em cavernas carbonáticas, apesar de mais de uma centena de minerais terem sido identificados como formadores de espeleotemas, a grande maioria é constituída por apenas três minerais: calcita (CaCO_3), o mais freqüente mineral de cavernas; aragonita (também CaCO_3 , porém com uma estrutura cristalina diferente) e gipsita ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Como a cor destes três minerais é branca, esta é a coloração dominante nas ornamentações de cavernas carbonáticas. No caso da calcita e da aragonita, o processo mais comum de deposição envolve o processo inverso à reação química de dissolução mencionada anteriormente. A água saturada em carbonato de cálcio (sob forma de bicarbonato de cálcio, que é solúvel em água) libera dióxido de carbono (CO_2) ao entrar em contato com a atmosfera da caverna. O bicarbonato irá transformar-se em carbonato de cálcio, que é insolúvel, e portanto haverá a deposição do mineral sob forma de calcita ou aragonita. A gipsita é diferente, depositando-se muitas vezes devido à evaporação da água.

Portanto, os espeleotemas são sempre formados através da precipitação de minerais a partir de soluções aquosas que atingem o ambiente

das cavernas. Os diferentes tipos de circulação de água dão origem a formas distintas de espeleotemas. Águas gotejantes podem formar estalactites no teto. As estalactites apresentam muitas vezes formato de um fino tubo apresentando um duto central por onde circula a água. Este tipo de estalactite recebe o nome popular de “canudo de refresco”. Este duto central pode vir a ser entupido (às vezes pelo próprio crescimento de cristais). Não podendo circular pelo interior da estalactite, a água passa a escorrer pelas bordas, dando origem a estalactites de formato cônico. Quando a freqüência do gotejamento é alta, não há tempo para depositar na estalactite toda a carga mineral contida na gota. A gota atinge o solo e dá origem a estalagmites. A eventual junção de estalagmites e estalactites cria o espeleotema denominado coluna. Muitas vezes o teto não é plano e a gota escorre depositando uma delgada camada de calcita, que pode crescer e formar uma lâmina tortuosa conhecida como cortina. Outra variedade de espeleotema originada a partir de gotejamentos é o escorrimento de calcita. Conforme o nome indica, consiste em depósitos formados a partir do escorrimento de água em paredes da caverna.

Muitas cavernas apresentam circulação de água no piso, sob forma de pequenos rios ou lagos. É possível que esta água também esteja carregada em minerais, podendo depositar espeleotemas. Um dos espeleotemas mais típicos gerados por águas circulantes são as represas de travertinos, barragens em geral de calcita que represam água. Formam-se em seqüência podendo atingir vários metros de altura e dezenas de metros de extensão em casos excepcionais. No interior das represas de travertinos, ou mesmo em lagos, pode-se formar espeleotemas relacionados à águas estagnadas. Jangadas constituem finas camadas de calcita que flutuam na superfície da água. São formadas devido a liberação de CO_2 a partir da superfície da água, ficando “suspensa” pela tensão hidrostática, afundando ao menor toque. Outro espeleotema peculiar é a pérola de caverna, semelhante às pérolas tradicionais, porém formadas a partir da acumulação de

camadas concêntricas de calcita ao redor de um núcleo representado muitas vezes por pequenas pedras. No interior dos lagos, cristais denominados “dente de cão” podem também ser formados.

Em outra maneira de se formar espeleotemas a água pode circular através dos poros da rocha ou através de estreitas fissuras, sem chegar a formar gotas. Este tipo de água é conhecido como água de exsudação. É como se a rocha “suasse”. Os espeleotemas formados por águas de exsudação são em geral mais raros e mais frágeis. As helictites, por exemplo, são formações que desafiam a lei da gravidade, formando feições cristalinas que crescem para frente ou para cima, ou mesmo apresentam aspecto retorcido. Só se formam em ambientes

confinados. Os espeleotemas denominados flores também são pouco comuns e possuem grande beleza. Algumas flores consistem em emaranhados de helictites nos remetendo a um “espaguetete” cristalino, outras irradiam finos cristais a partir de um ponto único. A flores formadas pelo mineral gipsita, apresentam em geral aspecto retorcido.

Espeleotemas podem também ser formados a partir de águas de condensação, ou seja, o vapor contido na atmosfera. O ambiente no interior das cavernas é normalmente saturado, com a atmosfera se aproximando de 100% em relação à umidade relativa do ar. Este vapor pode aderir às paredes e formar pequenos espeleotemas, normalmente coralóides. A Figura 2.15 ilustra alguns dos principais tipos de espeleotemas.

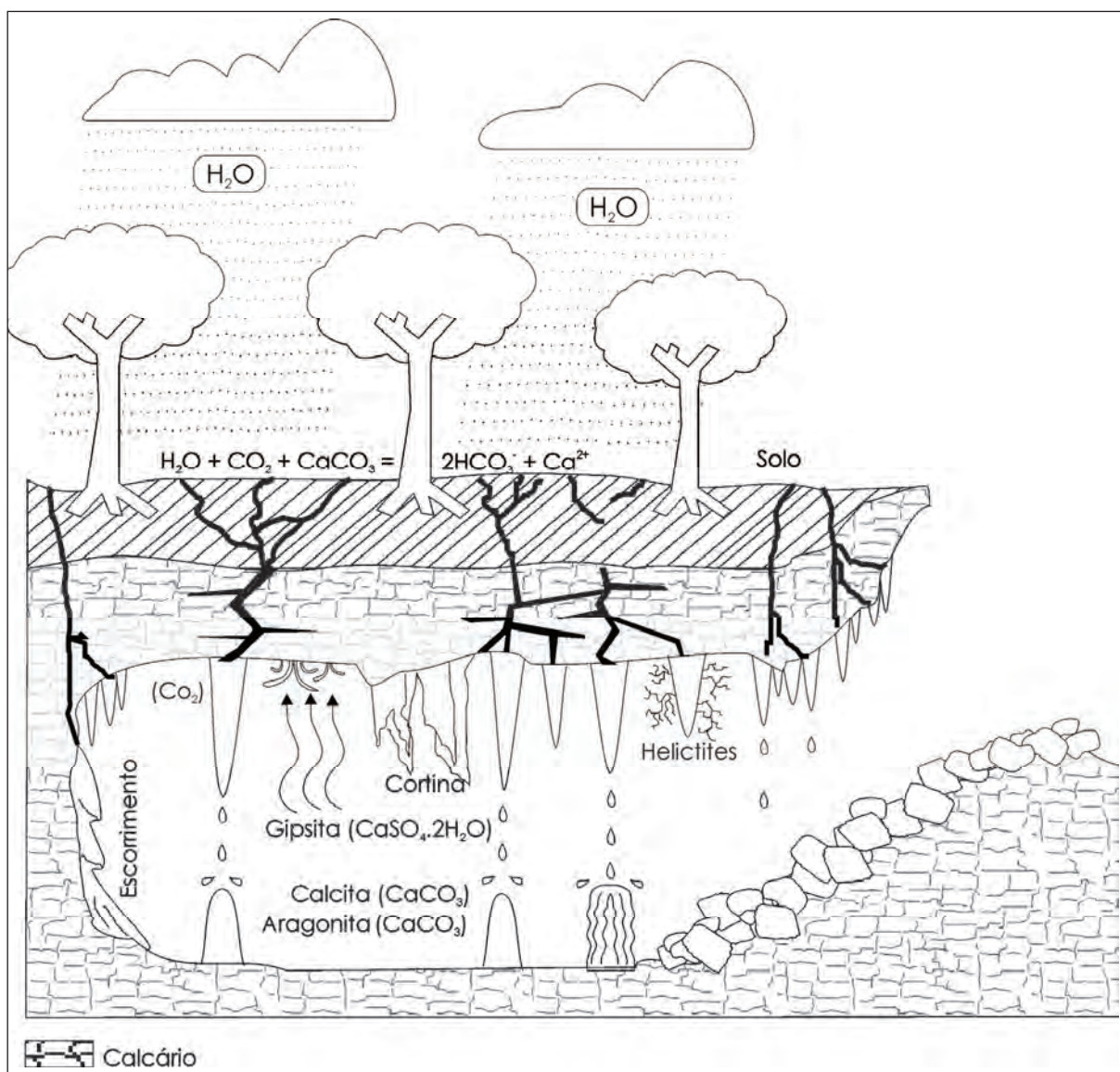


Figura 2.14. Ao final da evolução de uma caverna ela tende a se tornar seca devido ao soerguimento e erosão superficial.

Além do valor estético, os espeleotemas podem ser utilizados para alguns trabalhos científicos de importância. É possível obter a idade precisa de espeleotemas de calcita e aragonita através do método que mede o decaimento radioativo do urânio para o tório. Estes estudos fornecem importantes informações sobre a idade das cavernas e da paisagem ao redor. As stalagmites, em particular, podem representar importantes arquivos paleoambientais, fornecendo informações importantes sobre as mudanças climáticas que ocorreram na região da caverna no passado.

2.5 Paleontologia

As cavernas têm, há longos tempos, se destacado como excelentes locais para a existência e preservação de material arqueológico e paleontológico. O homem primitivo utilizava as cavernas como abrigo, morada, ou mesmo como local para rituais. Ao contrário da cultura Maia, o homem primitivo brasileiro em geral não adentrava as cavernas, permanecendo na zona de entrada. Alguns dos mais importantes sítios arqueológicos do Brasil estão associados a cavernas. Basta lembrar as cavernas e abrigos do Parque Nacional da Serra da Capivara no Piauí, do vale do Peruaçu e da região de Lagoa Santa, em Minas Gerais. Pinturas rupestres e importantes vestígios de ocupação, como material lítico (instrumentos de pedra), cerâmico (como potes), restos alimentares e inclusive ossadas humanas e de animais são comumente encontrados.

Acredita-se que a ocupação humana no Brasil ocorreu há cerca de 12 mil anos atrás, embora existam locais que apresentem evidências ainda mais antigas. O homem primitivo, no entanto, continuou a utilizar as cavernas até a chegada dos primeiros colonizadores europeus. Algumas cavernas apresentam vestígios mais recentes, estudados pela arqueologia histórica, como ocupação e desenhos feitos por escravos, tropeiros, entre outros. Ou seja, cavernas podem apresentar relevância histórica.

Muitas cavernas brasileiras são, também, riquíssimas em material fóssil pertencente à fauna já extinta. Esta é a área de estudo da paleontologia. Ao

longo dos milênios, os rios subterrâneos e enxurradas foram carregando ossos de animais para o interior das cavernas. Na caverna, a salvo das chuvas, do vento, do sol e da ação de outros animais, os ossos foram preservados através de processos de fossilização que inclui, entre outros, o recobrimento por espeleotemas, ou a substituição do material do osso por substâncias minerais. Mas nem sempre é necessário haver transporte por rios. Alguns animais entravam nas cavernas por vontade própria, talvez em busca de água. Lá morriam e só viriam a ser localizados por espeleólogos após vários milênios.

Muito do que se conhece sobre a paleontologia de mamíferos do período Pleistoceno (o período geológico que vai de cerca de 1,6 milhão de anos até 10 mil anos atrás) provém de estudos em cavernas. Ainda há muito a descobrir. No entanto, é importante que, antes de remover um osso de uma caverna, seja efetuado um estudo dos processos que trouxeram o osso até aquele local, marcando-o precisamente no mapa da caverna. Apenas depois destes estudos deve haver a remoção do osso para o laboratório.

A fauna extinta encontrada em depósitos de cavernas é variada, abrangendo muitas espécies de grande porte. Entre estas podemos mencionar o mastodonte (tipo de elefante de grande porte), preguiça-gigante, macacos e tatus gigantes entre muitos outros. O homem conviveu com alguns destes animais durante um período relativamente curto. Por volta de 10 mil anos iniciou-se a extinção desta fauna tão particular, conhecida principalmente através de estudos em cavernas.

2.6 Recursos hídricos

A água é um importante recurso no carste. Em regiões áridas ou semi-áridas, como no nordeste brasileiro, as cavernas, na ausência de poços ou cisternas, representam o único local onde se pode acessar água (Figura 2.16). Conforme já mencionado, a paisagem cárstica caracteriza-se por fluxo de água subterrâneo, com reduzida expressão fluvial em superfície.



Figura 2.16. Entrada de caverna associada a poço artesiano. Serra do Ramalho, Bahia.

O movimento de água subterrânea no carste pode ser dividido em três componentes principais, de acordo com o tipo de porosidade e fluxo existente. A maior parte das regiões cársticas caracteriza-se por uma “Tripla Porosidade”, sendo esta representada pela matriz rochosa, fraturas e condutos.

A porosidade na matriz rochosa é, em geral, baixa em se tratando de rochas maciças, antigas e bem cristalizadas como os carbonatos brasileiros. No entanto, fácies algais, e outras variações litológicas podem criar zonas com maior porosidade. Estimativas realizadas em aquíferos cársticos do mundo mostram que a porosidade na matriz atinge valores entre 2 a 15% do pacote rochoso. A condutividade hidráulica na matriz será necessariamente baixa, entre 10^{-5} a 10^{-11} m/s. O fluxo na matriz será laminar, obedecendo a tradicional lei de Darcy, ou seja:

$$Q = KA_i \quad \text{onde:}$$

Q – vazão

K – condutividade hidráulica

A – área de fluxo

i – gradiente hidráulico

Fraturas são freqüentes em meios cársticos assim como planos de acamamento. No entanto, em relação ao volume total de rocha, a porosidade das fraturas é baixa, respondendo em média, por valores entre 0,1 a 0,01 %. Apesar disto, devido à continuidade lateral das fraturas, sua interconecção e

sua relação com os planos de acamamento, gerando zonas de maior permeabilidade, a condutividade hidráulica das fraturas se situará entre 10^{-3} a 10^{-6} m/s. O fluxo em fraturas pode ser laminar em alguns casos, mas não sendo o meio granular, este não obedecerá à lei de Darcy, podendo ser descrito pela lei de Hagen-Poiseuille:

$$Q = R^2 \gamma i A / 3\mu \quad \text{onde:}$$

R – raio hidráulico

γ – peso específico

μ – viscosidade

No entanto, o fluxo em fraturas muitas vezes se dará de forma turbulenta. Fraturas (ou planos de acamamento) alargadas recebem o nome de condutos. Em condutos, o fluxo turbulento predomina. A porosidade total representada pelos condutos em regiões cársticas é necessariamente variável. Porém, é claro que estes perfazem um volume nitidamente inferior ao das fraturas, visto que nem todas as fraturas são dissolvidas de forma a se transformarem em condutos. Estimativas realizadas em diversos aquíferos do mundo mostraram valores de porosidade entre 0,5 a 0,001 % do volume total da rocha. No entanto, por constituírem espaços vazios muitas vezes de grandes dimensões, os condutos possuem altíssima condutividade hidráulica, esta situando-se entre 10^{-1} a 10^{-5} m/s. Fluxo turbulento em condutos (ou fraturas) é descrito pela lei de Darcy-Weisbach:

$$Q = A(8Rgi/f)^{1/2} \quad \text{onde:}$$

g – aceleração da gravidade

f – fator de fricção

Todas as considerações acima efetuadas levaram em conta um fluxo totalmente na zona freática (ou seja, abaixo do nível do lençol, onde todos os espaços vazios estão tomados por água). No entanto, é bastante freqüente fluxo vadoso (devido a condutos no topo do lençol freático, ou suspensos

devido a zonas impermeáveis). Neste caso, o fluxo se dará em regime aberto, com uma zona aerada em sua porção superior, obedecendo a equações como a lei de Manning:

$$V = (1,49 R^{2/3} i^{1/2})/n \text{ onde:}$$

V – velocidade da água

n – coeficiente de “roughness”

Assim sendo, a tripla porosidade típica de regiões cársticas carbonáticas engloba modos de fluxo descritos por distintas leis da hidráulica, de modo que se torna bastante difícil qualquer caracterização de um aquífero cárstico. Muito embora a matriz rochosa seja responsável pela maior parte do volume de espaços vazios (mais de 90%), a maior parte do volume de água (mais de 90%) escoará através de condutos. A importância de cada um destes distintos tipos de porosidade será variável dependendo do aquífero. É também possível que condutos na zona freática passem a ser localizados na zona vadosa (ou vice-versa) devido ao rebaixamento induzido (ou natural) do aquífero. Deste modo a dinâmica hidráulica neste conduto se alterará significativamente dependendo da época do ano e das condições de recarga ou bombeamento.

Da mesma forma, um aumento repentino do gradiente hidráulico pode causar a transição entre um regime de fluxo laminar para turbulento, alterando o comportamento de fluxo. Estas considerações preliminares servem para ilustrar a incrível complexidade que pode advir do fluxo em aquíferos cársticos, justificando a individualização da hidrogeologia cárstica como uma disciplina “a parte”, não sujeita às leis normalmente aplicadas à hidrogeologia em meios porosos, ou em meios fraturados não solúveis. As principais zonas hidrológicas estão ilustradas na Figura 2.17.

Em regiões de arenitos ou quartzito predomina a porosidade de matriz, devido ao tipo de rocha constituir-se predominantemente por grãos de quartzo. Já em minério de ferro predomina o fluxo em fraturas, devido à baixa porosidade primária deste tipo de rocha.

Epicarste

Durante períodos chuvosos, com o aumento da recarga no aquífero cárstico, ocorre um efeito de retenção temporária das águas que percolam pelo solo em direção ao rocha carbonática. Elas são retardadas pela capacidade pontual de absorção dos calcários. Fica então formado um “lençol freático” suspenso na zona de contato entre o carbonato

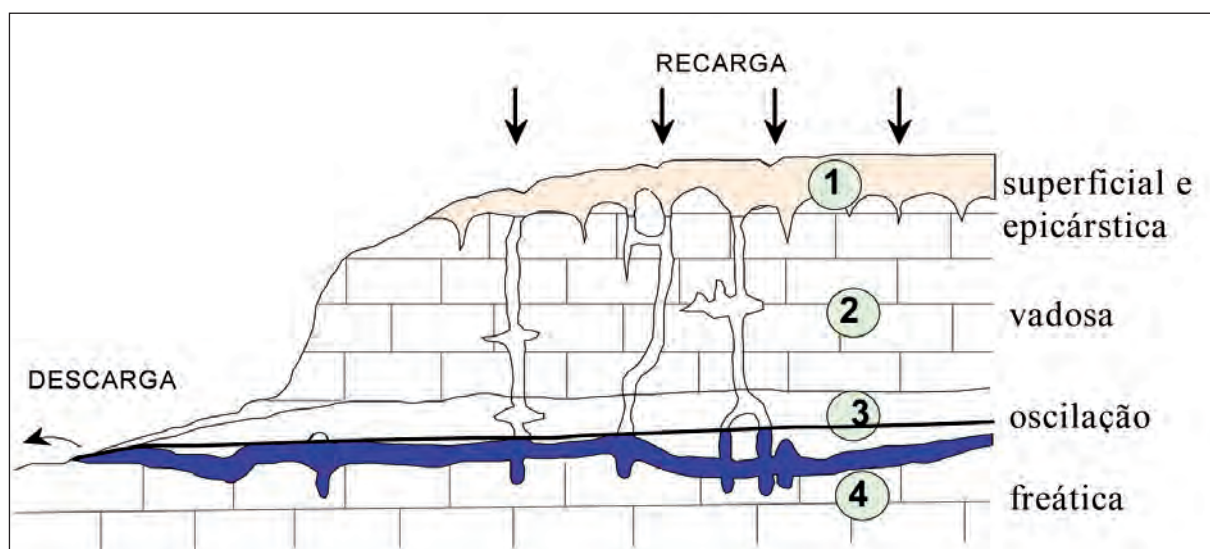


Figura 2.17. Zonas hidrológicas no carste: 1 - zona superficial e epicárstica, onde a água escoia superficialmente ou percola pelo solo, alterita ou fissuras alargadas no calcário; 2 - zona vadosa, onde a água circula livremente pelos condutos, sob a ação da gravidade; 3 - zona de oscilação do nível freático, onde os condutos apresentam-se alternadamente seco e inundado; 4 - zona freática, onde os condutos estão totalmente ocupados por água.

e a rocha. Esta zona, que abrange também os primeiros metros da rocha carbonática, é denominada zona epicárstica. O aquífero “temporário” assim formado drenará rapidamente para as fraturas mais abertas, formando cones de rebaixamento. Durante épocas de chuva é importante considerar a influência do aquífero epicárstico na gênese de feições superficiais, como dolinas. Ele representa um corpo hídrico de considerável potencial de armazenamento, que retardará a infiltração de água, criando uma zona em que a oscilação do lençol será rápida, podendo criar gradientes hidráulicos elevados, induzindo a colapsos. Salienta-se, também, que devido a já citada capacidade de armazenamento da zona epicárstica, a resposta de eventuais piezômetros à recarga pluviométrica pode ser retardada.

Contaminação e direções de fluxo

Ao contrário de aquíferos em meio granular ou poroso, o fluxo em aquíferos cársticos pode ser bastante rápido, principalmente se o mesmo ocorrer em condutos. Devido a isto a capacidade de dispersão de eventuais poluentes é muito alta. A utilização de traçadores corantes (Figura 2.18) é uma técnica bastante difundida, e utilizada largamente para se determinar direções de fluxo em sistemas com fluxo turbulento. Conforme já realçado, o fluxo turbulento responde pela maior parte do volume de água circulante em um maciço calcário. Devido à impossibilidade de se obter uma visão detalhada da configuração dos condutos em profundidade, o que se obtém a partir de testes com traçadores é uma linha reta ligando o ponto de injeção do traçador ao ponto onde o mesmo foi detectado, sem levar em conta a sinuosidade da rota de fluxo. Portanto, as linhas de fluxo obtidas por traçadores são simplificações, muitas vezes não refletindo eventuais direções de fluxo inferidas através de potenciometria.

Fluxo laminar em fraturas, ou mesmo fluxo turbulento de regime lento, normalmente não podem ser detectados com traçadores, devendo-se adotar outra metodologia, como o uso de traçadores radioativos. Esta técnica é difícil do ponto de vista



Figura 2.18. Utilização de traçador corante (rodamina) em ressurgência nos Estados Unidos.

analítico, além de serem necessários cuidados especiais quanto ao manuseio do material radioativo.

Traçadores são especialmente úteis para se checar modelos numéricos, confrontando direções obtidas no campo com direções inferidas pelos modelos. Os resultados obtidos muitas vezes diferem marcadamente do inferido pelos modelos, propiciando a calibração destes.

Para a correta gestão de regiões cársticas e cavernas é importante evitar a colocação de lixo ou resíduos diversos próximos a cavernas ou pontos de absorção de águas pluviais, como dolinas. Uma vez que adentrem o sistema cárstico podem se dispersar rapidamente, dificultando sua detecção e remediação.

2.7. Protocolo mínimo para avaliação e aprovação de estudos geoespeleológicos

Para a avaliação da qualidade de estudos ambientais na área de geoespeleologia recomendamos, em linhas gerais, o seguinte encaminhamento:

a) Checagem do caminhamento da prospecção

A importância desta etapa deriva do fato de que, caso o caminhamento não seja suficiente, corre-se o risco de não haver identificação de cavernas relevantes. Deve-se checar se a malha de caminhamento (esforço) é suficiente e se as principais feições favoráveis a cavernas foram percorridas, assim como auferir se áreas de maior potencial foram alvo de caminhamento mais detalhado.

b) A localização das cavernas foi efetuada com precisão?

É importante que seja utilizado um GPS de precisão para que se tenha a localização exata da caverna e seu posicionamento em relação ao empreendimento, pois irá permitir determinar seu perímetro de proteção, muitas vezes essencial para o futuro planejamento do empreendimento.

c) O mapeamento da caverna apresenta suficiente precisão?

O mapa é a carteira de identidade e o CPF da caverna. É a partir dele que todos os estudos são realizados. De sua qualidade depende também a qualidade dos dados geoespeleológicos e bioespeleológicos. Recomenda-se, no caso de cavernas inseridas na ADA, um mapeamento no mínimo em nível BCRA 5C, embora o ideal seja nível BCRA 5D ou superior. Para cavernas que não serão diretamente impactadas pelo empreendimento pode-se aceitar mapas em grau de precisão inferior.

d) Foram definidos corretamente os enfoques local e regional?

A definição da Unidade Geomorfológica (enfoque local) e da Unidade Espeleológica (enfoque regional) é essencial para a consecução dos estudos de relevância. Esta determinação deve ser calcada em parâmetros geológicos e fisiográficos. Em algumas áreas estes enfoques já estarão definidos e referenciados por estudos anteriores. Mas em áreas pouco trabalhadas cabe aos consultores envolvidos a proposição dos enfoques, sempre respeitando o disposto na legislação corrente.

e) Foi observada a inserção geomorfológica da caverna?

Observar se o relatório de geoespeleologia abordou a relação da caverna com a paisagem que a circunda. É importante destacar se a caverna está associada a uma dolina, sumidouro, se posiciona-se em alta, média ou baixa vertente, se está associada a uma área de pastagens ou florestas, se encontra-se em base de escarpa, etc. O posicionamento geomorfológico é importante pois permite inserir a gruta como elemento geográfico de uma paisagem cárstica.

f) A litologia e estruturas geológicas foram registradas?

A atual legislação exige que a relevância das cavernas seja realizada levando em consideração a litologia em que a caverna se insere. A correta determinação da litologia é, pois, absolutamente essencial. Para tanto deve-se consultar mapas geológicos e efetuar caracterização no campo. As estruturas geológicas porventura presentes também devem ser registradas e, quando possível, fotografadas.

g) Houve detalhada caracterização da morfologia e da gênese da caverna?

Conforme discutimos, a morfologia da caverna, tanto em relação a seu padrão morfológico quanto às microformas (espeleogens) é extremamente importante para se auferir a relevância das cavernas. O padrão é normalmente determinado pela análise do mapa, sendo essencial um bom mapeamento. Observações de campo permitem complementações e a descrição das microformas. Considerações acerca da gênese da caverna devem também ser apresentadas, estando embasadas em uma detalhada descrição no relatório.

h) Houve caracterização da sedimentação clástica e química?

A origem (alóctone, autóctone) e tipo (granulometria, litologia, etc) da sedimentação clástica devem ser alvo de detalhada descrição. Da mesma forma os espeleotemas devem ser descritos em relação à sua origem, tipologia, dimensão e beleza estética. A determinação da mineralogia depende de análises destrutivas e, portanto, devem ser realizadas com cautela. Recomenda-se que seja efetuada coleta apenas em casos em que haja dúvidas sobre a mineralogia ou no caso de provável mineral raro ou pouco comum. A avaliação do potencial paleontológico também deve ser efetuada, tendo como base observações superficiais ou escavações de trincheira-teste.

i) Houve descrição dos aspectos hidrológicos?

A presença de rios subterrâneos e lagos devem ser consideradas, pois constituem elementos importantes no contexto da caverna. No Brasil, muitos destes

corpos hídricos possuem caráter sazonal, ocorrendo apenas durante a estação chuvosa. A percolação de águas na caverna, responsável pela geração de muitos espeleotemas, também varia bastante de acordo com as chuvas. A presença de condensação e principalmente, a influência dos fatores hidrológicos na gênese da caverna, espeleotemas e espeleogens devem ser descritas em pormenor.

j) A análise final de relevância contemplou todos os itens exigidos pela legislação?

A análise de relevância consiste em sintetizar todos os aspectos mencionados anteriormente e aplicá-los à legislação vigente, buscando definir a importância da caverna em relação ao enfoque local e regional. É importante que seja elaborada uma síntese descritiva sobre cada caverna. Essencial é um banco de dados atualizado contendo as cavernas em escala local e regional a serem consideradas como amostra comparativa. Durante a análise de relevância recomenda-se que sejam construídas tabelas de modo a facilitar o entendimento do analista que, nem sempre, conhece todas as cavernas mencionadas. Os dados coletados em campo também devem ser apresentados, permitindo checagem e perenização das informações.

2.8 Referências bibliográficas

- AULER, A.S. **Lakes as a speleogenetic agent in the karst of Lagoa Santa, Brazil.** Cave and Karst Science 21: 105-110, 1995.
- AULER, A.S.; Smart, P.L. **The influence of bedrock-derived acidity in the development of surface and underground karst: evidence from the Precambrian carbonates of semi-arid northeastern Brazil.** Earth Surface Processes and Landforms 28: 157-168, 2003.
- FORD, D.C.; EWERS, R.O. **The development of cave systems in the dimensions of length and depth.** Canadian Journal of Earth Sciences 15: 1783-1798, 1978.
- KARMANN, I; SÁNCHEZ, L.E. **Distribuição das rochas carbonáticas e províncias espeleológicas do Brasil.** EspeleoTema 13: 105-167, 1980.
- LOWE, D.J. **The origin of limestone caverns: An inception horizon hypothesis.** PhD thesis, Manchester Metropolitan University, 1992.
- McFARLANE, M.J.; TWIDALE, C.R. **Karstic features associated with tropical weathering profiles.** Zeitschrift fur Geomorphologie Suppl. Bd. 64: 73-95, 1987.
- PINHEIRO, R.V.L.; MAURITY, C.W. **As cavernas em rochas intempéricas da Serra dos Carajás (PA) – Brasil.** Anais 1. Congresso de Espeleologia da América Latina e do Caribe, p. 179-186, 1988.
- PALMER, A.N. **Origin and morphology of limestone caves.** Geological Society of America Bulletin 103: 1-21, 1991.
- Pasini, G. **Nota preliminare sul ruolo speleogenetico dell'erosione "antigravitativa".** Le Grotte d'Italia 4 (1): 75-88, 1967.
- PILÓ, L.B.; AULER, A.S. **Cavernas em minério de ferro e canga de Capão Xavier, Quadrilátero Ferrífero, MG.** O Carste 17: 92-105, 2005.
- RENAULT, P. **Contribution a l'étude des actions mécaniques et sédimentologiques dans la spéléogenèse.** Annales de Spéléologie 23 : 529-596, 1968.
- RIBEIRO, D.T. **Enriquecimento supergênico de Formações Ferríferas Bandadas: Estruturas de colapso e desordem.** Tese de doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2003.
- WORTHINGTON, S.R.H. **Karst hydrogeology of the Canadian Rocky Mountains.** PhD thesis, McMaster University, 1991.
- WORTHINGTON, S.R.H.; Ford, D.C. **High sulfate concentration in limestone springs: An important factor in conduit initiation?** Environmental Geology 25: 9-15, 1995.

3 PROSPECÇÃO ESPELEOLÓGICA, TOPOGRAFIA E ESPELEOMETRIA DE CAVERNAS

3.1 Prospecção espeleológica

Vitor Moura

**Grupo Bambuí de Pesquisas Espeleológicas
/ Instituto do Carste**

3.1.1 Introdução

A prospecção espeleológica envolve todos os trabalhos, desenvolvidos em escritório e em campo, que levam ao reconhecimento e caracterização inicial do conjunto de ocorrências espeleológicas de uma área. Na etapa de prospecção as cavernas são encontradas, localizadas geograficamente, cadastradas e caracterizadas. O sucesso desta etapa exploratória, que consome muitos recursos financeiros e tempo das equipes de trabalho, depende de um planejamento estratégico adequado, de uma execução objetiva e metódica.

Dentro das décadas de atuação dos grupos de espeleologia brasileiros a prospecção sempre foi parte das expedições, revelando grandes descobertas. Mas a rotina dos licenciamentos ambientais criou uma demanda mais exigente. Para estes trabalhos é necessária uma prospecção mais planejada, profunda e adaptada às exigências da avaliação ambiental.

3.1.2 A importância do trabalho de prospecção espeleológica

Dentro de um processo de licenciamento ambiental a prospecção assume um papel pioneiro e decisivo. Uma boa prospecção possibilita o desenvolvimento de todas as etapas subsequentes envolvidas neste tipo de trabalho, permitindo um correto planejamento, por exemplo, das etapas subsequentes de topografia, estudos de bioespeleologia, geoespeleologia e outros. Em relação ao planejamento e avaliação de empreendimentos com impactos sobre o conjunto espeleológico de uma área a prospecção pode, no decorrer dos seus trabalhos, determinar ajustes no plano diretor destes empreendimentos.

Nesta etapa é possível identificar conflitos e determinar soluções para um melhor planejamento, visando uma melhor identificação e controle dos impactos ambientais que serão gerados.

Por outro lado, uma prospecção deficiente compromete todas as etapas seguintes dentro de um licenciamento ambiental, levando a um conhecimento impreciso e incompleto em relação ao conjunto espeleológico de uma área. Estes erros geram normalmente desperdício de recursos financeiros, de recursos humanos e necessidade de revisões nos estudos ambientais.

3.1.2.1 Etapas metodológicas envolvidas

Uma boa prospecção não pode ser feita nem somente em escritório, através de pesquisas bibliográficas e técnicas remotas, nem somente em campo, com o caminhamento pelas áreas alvo, mas deve combinar as duas formas de trabalho. A seguir são descritas, de forma sucinta e didática, as etapas metodológicas básicas que devem compor, idealmente, um trabalho de prospecção espeleológica. Esta sequência metodológica pode variar em cada trabalho, de acordo com os objetivos, informações disponíveis, limitações e outros fatores..

Levantamento de informações existentes

No início de um trabalho de prospecção é fundamental saber o que já foi levantado na área de estudo. Esta etapa envolve uma pesquisa em fontes diversas, que guardam informações sobre o conjunto espeleológico já reconhecido na área em questão. As informações de interesse podem estar contidas em livros, artigos científicos em periódicos especializados, estudos técnicos e ambientais anteriores, mapas topográficos, mapas temáticos, em cadastros espeleológicos e outras fontes. Informações importantes sobre a ocorrência de cavernas podem ainda ser veiculadas em informações orais, por pessoas que moram ou trabalham na área em questão.

Atualmente os cadastros espeleológicos são instrumentos indispensáveis para a pesquisa espeleológica e registro das ocorrências. Estas bases

de dados são dinâmicas, o que significa que uma prospecção deve considerar as ocorrências espeleológicas registradas na área e, após a conclusão do trabalho, alimentar os bancos de dados com as novas ocorrências identificadas. No Brasil ainda existem muitos dados imprecisos e conflitantes em todos os cadastros, mas a realização contínua de novos estudos espeleológicos é um dos principais instrumentos para a consolidação e revisão destes bancos de dados. Os cadastros hoje em funcionamento no Brasil são:

- Base de dados do CECAV, disponível em <http://www4.icmbio.gov.br/cecav>
- CNC – Cadastro Nacional de Cavernas, da SBE – Sociedade Brasileira de Espeleologia, disponível para acesso de associados em <http://www.sbe.com.br/cnc>
- CODEX – Cadastro Nacional de Cavernas, da Redespeleo Brasil, disponível em <http://www.redespeleo.org/>

O levantamento da documentação cartográfica disponível normalmente envolve pesquisa em cartas topográficas, mapas geológicos, mapas geomorfológicos, mapas pedológicos, fotos aéreas, ortofotos e imagens de satélite. Estes instrumentos são de grande importância tanto para a situação espacial das áreas de influência direta do empreendimento em questão, ou seja, a Área Diretamente Afetada (ADA) e a Área de Influência Direta (AID), quanto para o reconhecimento de feições geomorfológicas, geológicas e pedológicas com potencial para ocorrência de cavernas. Principalmente as imagens, como as fotos aéreas, ortofotos e imagens de satélite são de grande utilidade para a diferenciação de classes de vegetação, áreas urbanizadas, áreas de cultivo, de solo exposto, hidrografia e outros aspectos. Recentemente este conjunto de referência cartográfica incluiu as imagens de satélite, com

diversas escalas e resoluções, como um poderoso e definitivo instrumento para os trabalhos de prospecção. Rapidamente estas imagens tomaram papel central dentro dos trabalhos, mas seu uso não exclui, por exemplo, um mapa topográfico ou um mapa geológico como outro importante instrumento de reconhecimento do terreno e do potencial espeleológico de uma área. É importante que todo o conjunto de bases cartográficas tenha escala compatível com a proporção do empreendimento, permitindo a visualização adequada do seu plano diretor e das suas áreas de influência.

A figura 3.1 mostra a comparação entre um mapa topográfico e uma imagem de satélite, de uma mesma área. O mapa topográfico representa de forma eficiente o relevo e feições geomorfológicas típicas como as dolinas, já a imagem de satélite representa melhor as diferenças de vegetação, edificações e estradas. Metodologicamente o ideal é combinar todos os recursos disponíveis para a visualização do terreno.

Atualmente podem ser gerados mapas topográficos, mapas hipsométricos¹ e modelos digitais de elevação (MDE) em escalas adequadas a partir de imagens, por exemplo, da SRTM (Shuttle Radar Topographic Mission) e do Aster (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) (Parma, 2007; Cruz et al., 2005). Estas novas ferramentas auxiliam a visualização do relevo e devem ser utilizadas em conjunto com as imagens de satélite, tanto para o planejamento, quanto para a execução dos trabalhos de prospecção.

Avaliação de potencial espeleológico

A partir da pesquisa de informações existentes sobre o conjunto espeleológico de uma área a equipe de trabalho tem em mãos as informações básicas para avaliar o seu potencial espeleológico. Para esta avaliação o ideal é elaborar uma análise combinando as seguintes informações:

¹ Os mapas topográficos trazem informações sobre o relevo, principalmente através da representação das curvas de nível, já os mapas hipsométricos trazem uma classificação com base nas faixas de altimetria numa determinada área.

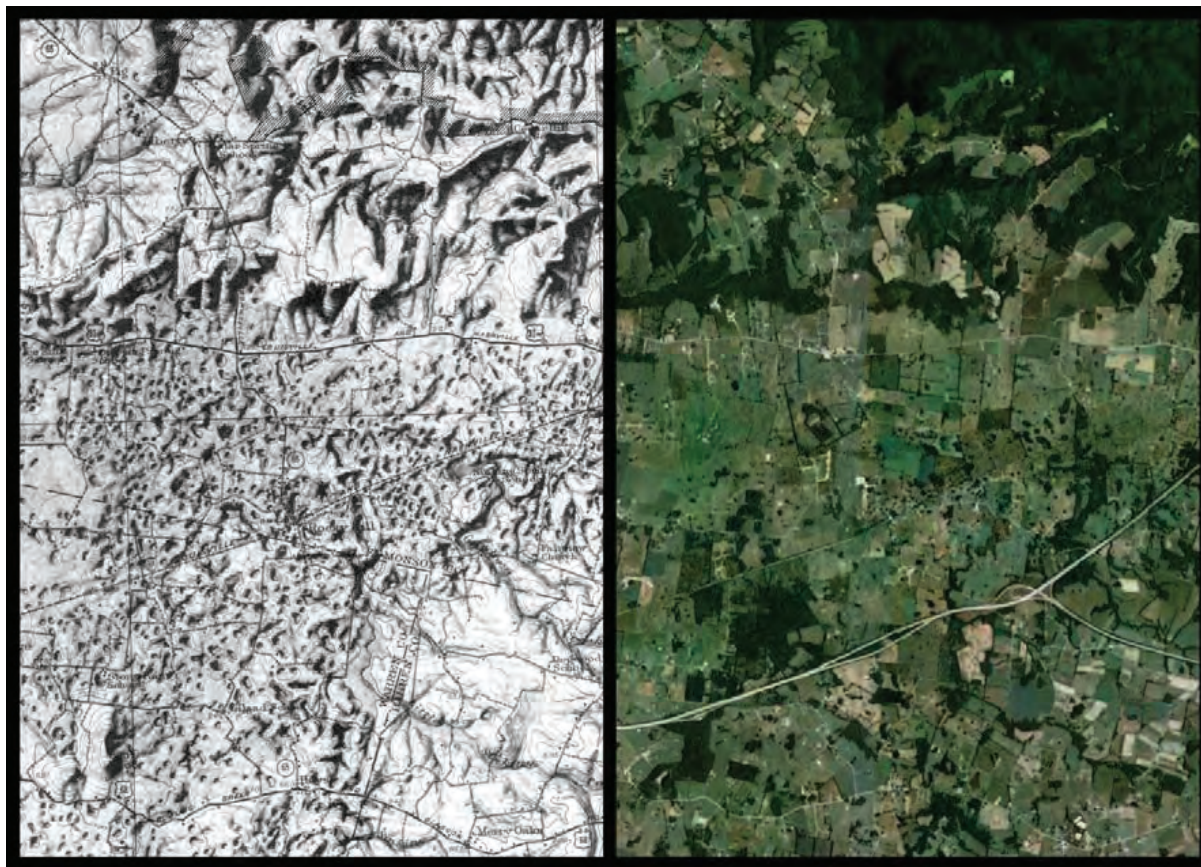


Figura 3.1: Comparação entre mapa topográfico sombreado, à esquerda (Cvancara, 1995) e imagem de satélite, à direita (Google Earth™, acesso em 28-06-2010). As imagens abrangem a mesma área a sul do Mammoth Cave National Park, Kentucky – USA.

- ocorrências registradas em levantamentos espeleológicos anteriores
- estudos ambientais e trabalhos científicos anteriores
- mapas topográficos, hipsométricos e modelos digitais de elevação
- imagens de satélite
- mapas geológicos
- mapas geomorfológicos
- mapas pedológicos

Com base neste conjunto de documentos a equipe do trabalho de prospecção deve avaliar então o potencial espeleológico da área. Dentro de uma mesma área devem ser delimitadas zonas com alto, médio e baixo potencial de ocorrências espeleológicas, gerando um mapa temático de potencial espeleológico. Este passo é de grande utilidade para definir a estratégia de prospecção.

Nas figuras de número 3.2 a 3.5 (nas páginas

seguintes) é exemplificado um conjunto de documentos cartográficos de uma área fictícia de estudo na APA Carste de Lagoa Santa, considerando as áreas de influência direta de um empreendimento de extração de calcário, também fictício.

Definição da estratégia de prospecção

Uma vez definidas as zonas de potencial espeleológico esta informação deve ser cruzada com a situação, ou contexto do empreendimento a ser licenciado. Normalmente as áreas focais da prospecção são a ADA e a AID, pois estão relacionadas com a influência direta do empreendimento a ser licenciado. Nesta etapa é fundamental uma representação espacial desta situação de influência em base cartográfica de escala compatível com a área de estudo. A prospecção espeleológica só pode ser planejada e executada devidamente com a definição e representação espacial precisa das áreas de influência do empreendimento e do seu plano diretor.

A definição lógica da estratégia de prospecção espeleológica é concentrar esforços primeiramente

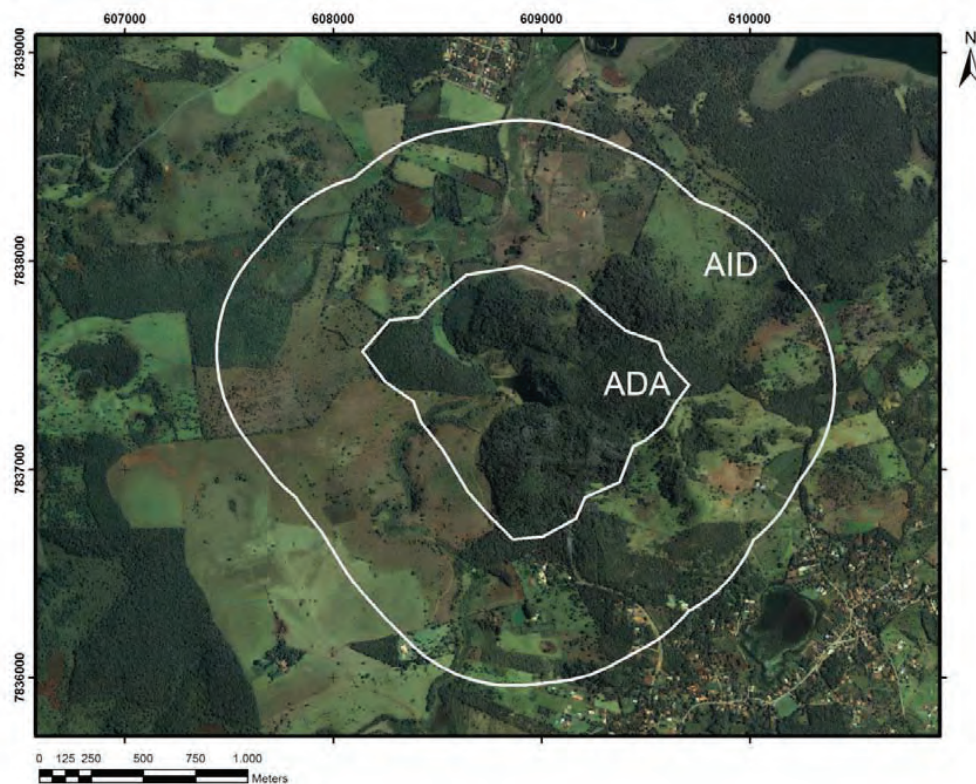


Figura 3.2: Imagem de satélite mostrando uma área fictícia de estudo, localizada ao sul da Lagoa do Sumidouro, parcialmente incluída no Parque Estadual do Sumidouro, municípios de Lagoa Santa e Pedro Leopoldo - MG. São mostrados os perímetros da ADA e AID de um empreendimento, também fictício, de extração de calcário.

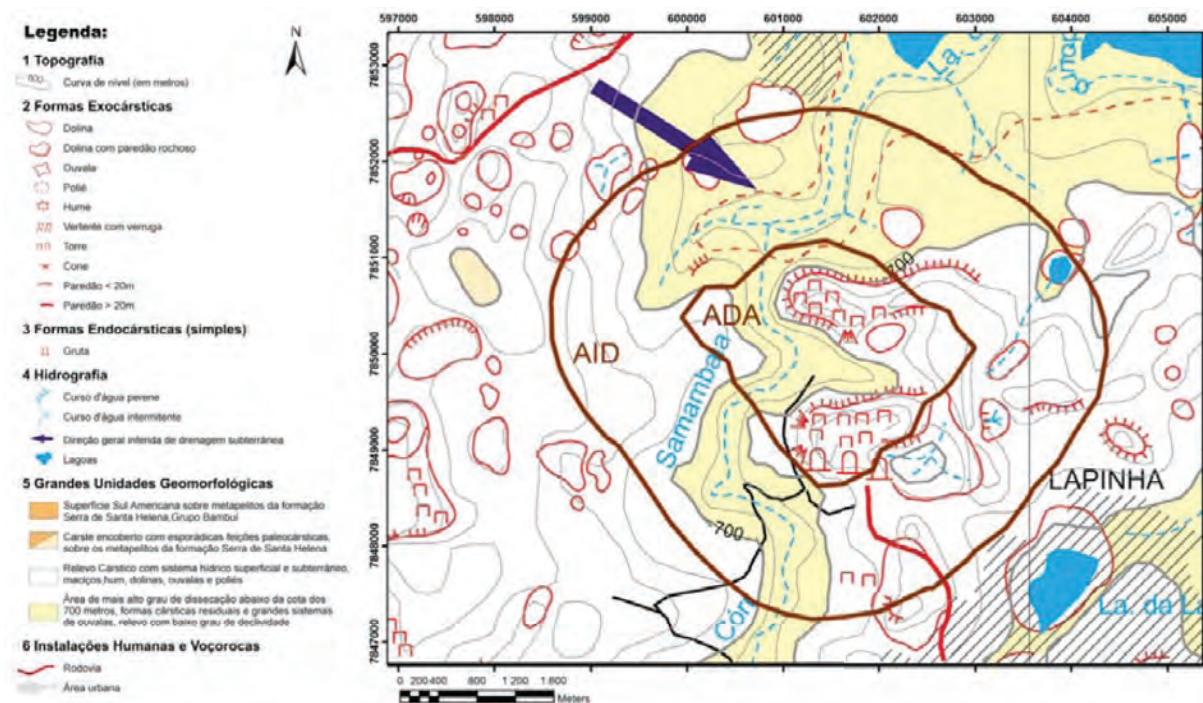


Figura 3.3: Porção do mapa geomorfológico, correspondendo da área fictícia de estudo (CPRM, 1998), notar que neste mapa é mais fácil a identificação das formas do relevo e feições com potencial de ocorrência de cavernas, como paredões e dolinas.

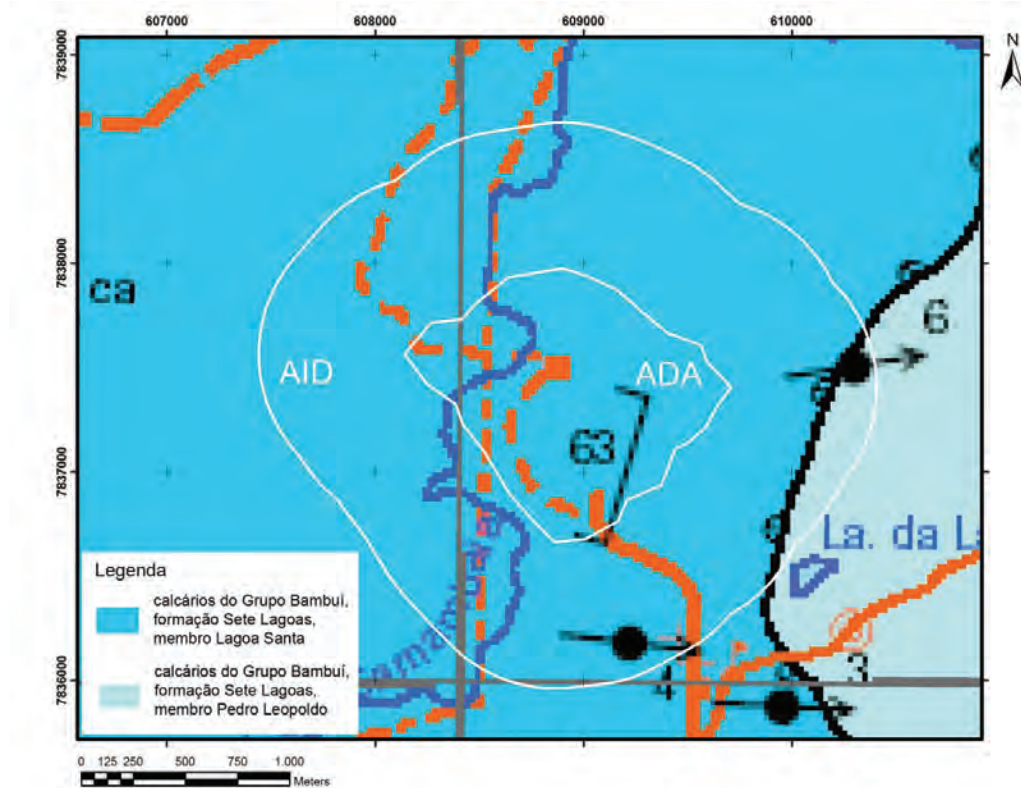


Figura 3.4: Porção do mapa geológico, correspondente à área fictícia de estudo (CPRM, 1992), em toda a área de influência do empreendimento fictício o mapa indica presença de calcários do Grupo Bambuí.

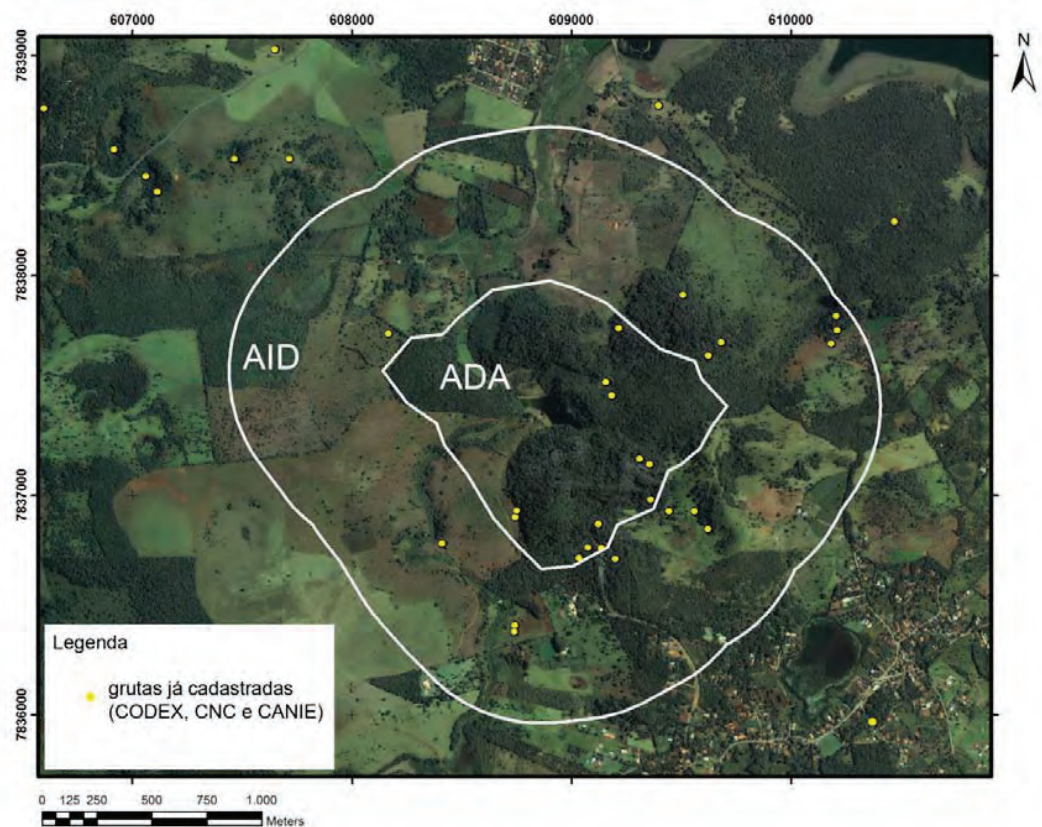


Figura 3.5: Imagem de satélite da área fictícia de estudo, com as cavidades registradas no três cadastros disponíveis (CANIE, CNC e CODEX).

na ADA, executando uma malha de caminhamen-
to mais densa, com objetivo de identificar o maior
número possível de ocorrências, em caráter de le-
vantamento exaustivo. A densidade da malha de ca-
minhamento é variável, em função principalmente
das características de visualização, de relevo e po-
tencial espeleológico da área. Por exemplo, numa
área de mata a malha de caminhamen-
to deve ser mais densa, ou seja, com quadrantes menores, do
que em uma área de campo aberto, com mais fa-
cilidade de visualização de feições propícias para
ocorrências de cavernas. Na ADA a meta deve ser
levantar 100% das ocorrências espeleológicas, ain-
da que este percentual amostral seja impossível
de ser garantido em função de dificuldades de

visualização, de caminhamen-
to, características mor-
fológicas de entradas de cavernas, encobrimento
por vegetação e outros fatores naturais. Nas de-
mais áreas de influência de um empreendimen-
to, como na AID, a estratégia de prospecção pode
assumir uma malha de caminhamen-
to gradativamente menos densa, admitindo um percentual
amostral mais baixo. A figura 3.6 ilustra esta grada-
ção de densidade de malha de prospecção e per-
centual amostral, em relação às áreas de influência
de um empreendimento.

A determinação dimensional da densidade da
malha de prospecção e percentual amostral a ser
atingido em cada área varia de caso a caso, mas é
fundamental que a metodologia da prospecção

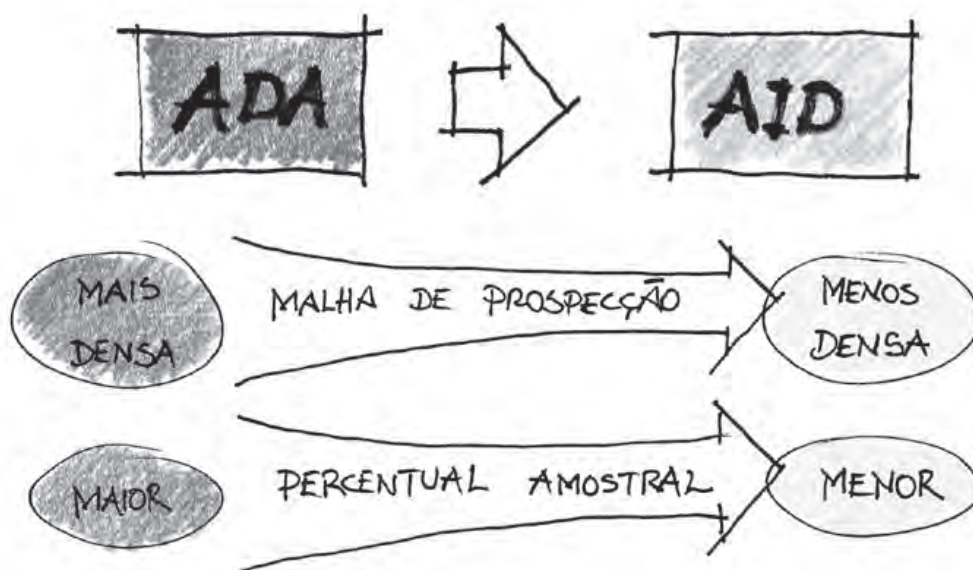


Figura 3.6: Esquema de gradação entre as áreas de influência de um empreendimento em relação à densidade da malha de prospecção e percentual amostral dentro do conjunto espeleológico da área de estudo.

espeleológica determine estes valores, justifican-
do através da exposição dos critérios adotados para
esta determinação.

A figura 3.7 ilustra, na área fictícia de estudo, as
demarcações da ADA e AID com as respectivas ma-
lhas de prospecção. Neste exemplo didático foi ado-
tada uma malha de prospecção com quadrantes de
50x50 metros para a ADA, e de 150x150 metros para
a AID. Na estratégia de prospecção exemplificada
as malhas de prospecção devem ser sobrepostas

com o mapa de potencial espeleológico, indicando
quais quadrantes são prioritários para o caminha-
mento. Na figura 3.7 foi simulada a gradação entre
os quadrantes das malhas de prospecção. Os qua-
drantes em vermelho representam áreas com alto
potencial para ocorrências espeleológicas, em la-
ranja, estão simulados os quadrantes com poten-
cial intermediário e em amarelo as áreas com baixo
potencial espeleológico. Um procedimento meto-
dológico semelhante foi utilizado em CPRM (1995).

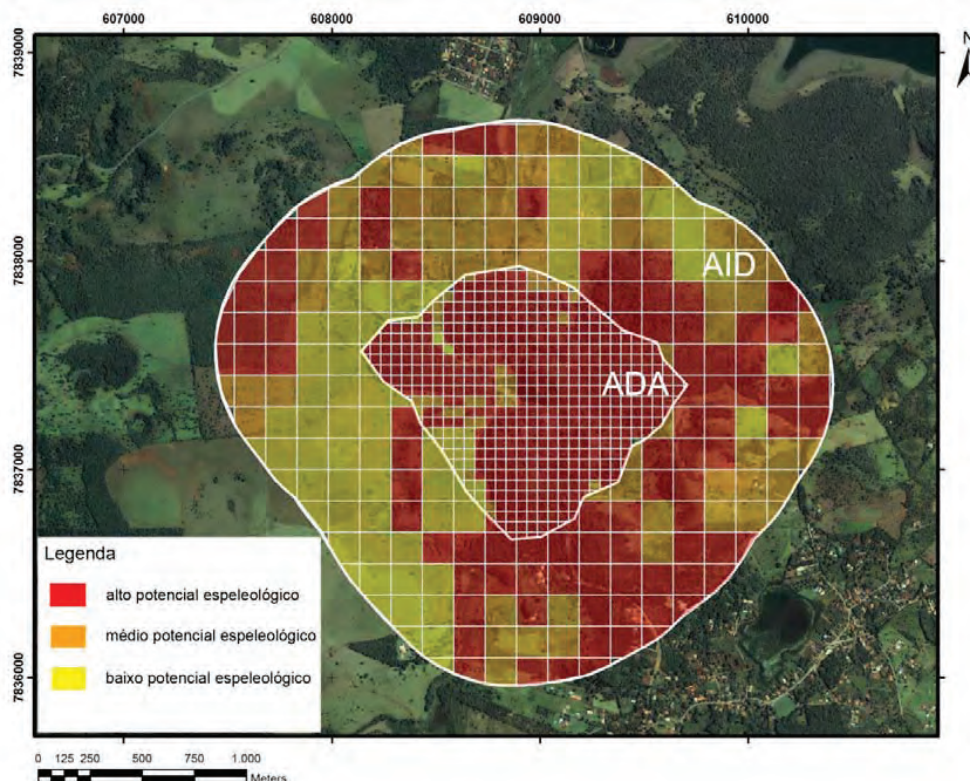


Figura 3.7: Imagem de satélite da área de estudo fictícia com as malhas de prospecção exemplificadas na ADA e AID, as cores indicam a gradação de potencial espeleológico.

Trabalho em campo

De acordo com variáveis como número de equipes de campo, tempo previsto para o trabalho, limitações de caminhamento e outras, deve ser definido um roteiro básico de caminhamento dando prioridade para a ADA, seguindo depois para a AID. Em todas as áreas deve ser priorizado o caminhamento prospectando áreas de maior potencial espeleológico, seguindo posteriormente para as áreas de potencial inferior. A figura 3.8 (na página seguinte) exemplifica um caminhamento desenvolvido a partir desta estratégia. Neste exemplo o caminhamento é mais denso na ADA e menos denso na AID, em ambas as áreas foram priorizados os quadrantes vermelhos, de alto potencial espeleológico.

De acordo com as orientações contidas em CECAV(2009) os caminhamentos realizados em campo devem abranger toda a área afetada pelo empreendimento, contemplando todas as feições geomorfológicas típicas associadas a cavernas. Estes caminhamentos devem ser registrados em campo e comprovados dentro do relatório. Nas atividades em campo é fundamental a elaboração

de uma ficha de cadastro padronizada, que deve ser utilizada para cada cavidade identificada, contendo os seguintes dados:

- registro das coordenadas geográficas das cavidades existentes, obtidas com equipamento de GPS, em graus decimais, utilizando datum WGS 84, a partir da captura de sinais advindos de um mínimo de 4 unidades bem distribuídas na constelação dos satélites, no(s) ponto(s) onde localiza(m)-se a(s) base(s) topográfica(s) "zero" da(s) entrada(s) da cavidade.
- denominação local, município, nome da fazenda ou da região em que se insere a cavidade;
- dados de identificação do proprietário da área onde a caverna está inserida;
- altitude;
- topografia detalhada da cavidade;
- projeção horizontal da área de influência da cavidade (mínimo 250 metros);
- descrição das entradas e formas de acessos;

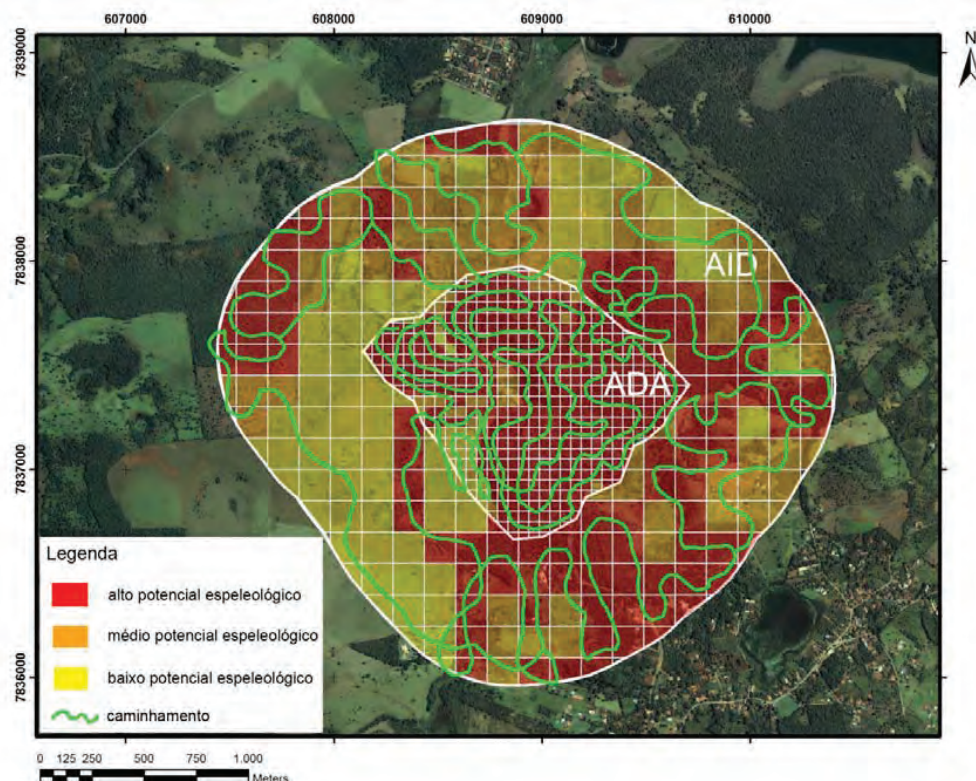


Figura 3.8: Imagem de satélite da área fictícia de estudo com as malhas de prospecção exemplificadas na ADA e AID, as cores indicam a gradação de potencial espeleológico. Nesta figura foi marcado, em verde, um caminhamento exemplificado, mais denso na ADA e menos denso na AID.

- classificação da caverna quanto aos aspectos hidrológicos e morfológicos;
- registro fotográfico.

Tratamento, interpretação e apresentação dos resultados

Após a conclusão da etapa de campo da prospecção os dados obtidos devem ser tratados e interpretados, visando a apresentação lógica dos resultados e conclusões da prospecção espeleológica, em forma de relatório. Nesta etapa, além do uso da informação textual, tabelas explicativas, documentação fotográfica e diagramas, é importante utilizar uma base de representação cartográfica adequada. A escala desta representação cartográfica deve ser compatível com a área de estudo, em áreas muito extensas pode ser gerado um mapa geral de articulação e mapas secundários, em escala maior. Normalmente utiliza-se como base uma imagem de satélite, onde é representada a contextualização do empreendimento, o caminhamento e as cavidades identificadas. Para a representação dos resultados

pode ser elaborado um conjunto de mapas temáticos, de acordo com os objetivos de representação dos resultados.

Os cuidados com esta etapa são justificáveis, pois a partir do relatório a prospecção espeleológica vai ser avaliada. Estes resultados serão a base de todos os estudos subsequentes, que irão compor o diagnóstico ambiental. Com este resultado podem ser planejados e realizados os estudos de geoespeleologia, bioespeleologia, arqueologia, paleontologia e outros. Também para a avaliação do plano diretor do empreendimento e suas implicações ambientais a prospecção espeleológica constitui a base.

Como avaliar uma prospecção espeleológica?

A forma mais racional e adequada para avaliação de uma prospecção espeleológica não é simplesmente a análise dos resultados finais, ou seja, a análise das fichas de cadastro, do mapa de caminhamento e das ocorrências espeleológicas identificadas. Para atingir uma avaliação adequada destes trabalhos o ponto central a ser analisado deve ser a metodologia

adotada. Analisando-se a metodologia é possível medir se o trabalho em questão utilizou uma base bibliográfica e cartográfica adequada, se considerou os levantamentos existentes, cadastros espeleológicos, estudos ambientais preexistentes e se, a partir disto, definiu adequadamente o potencial espeleológico da área e uma estratégia adequada de trabalho para o contexto do licenciamento.

3.2 Topografia e espeleometria de cavidades naturais

Texto adaptado do livro "Mapeamento de Cavernas - Guia Prático. Rubbioli, E. & Moura, V."

Ézio Rubbioli

Grupo Bambuí de Pesquisas Espeleológicas

3.2.1 Introdução

O mapa espeleológico é fundamental para o entendimento da sua forma, das suas proporções, das direções das galerias, dos obstáculos existentes, da relação com a superfície e da localização das entradas, entre outras funções a que se presta. O mapa é a prova concreta de uma exploração, indicando os locais atingidos e as possibilidades de continuções, além dos dados espeleométricos (medidas da extensão e do desnível). Serve ainda como base para qualquer estudo científico (nas áreas de biologia, geologia etc.). No caso de cavidades abertas ao turismo o mapa é um importante instrumento para o planejamento de rotas e estruturas de proteção/visitação, bem como para o monitoramento das intervenções realizadas e do estado de conservação das cavernas. No campo das análises e licenciamentos ambientais, em minerações e em outros empreendimentos em áreas com ocorrências de

cavernas, o mapeamento sistemático é um importante instrumento de conhecimento do potencial espeleológico da área. Neste caso, a documentação das cavidades é fundamental para a avaliação dos possíveis impactos ambientais sobre elas.

Aspectos que devem ser levados em consideração na análise da topografia espeleológica:

Precisão: quando se fala em topografia, a maioria das pessoas associa a atividade aos instrumentos corriqueiramente utilizados no mapeamento de superfície, como teodolito, o nível e a estação total. Contudo, dentro de uma caverna, a leveza, robustez, estanqueidade e baixo custo do equipamento são características essenciais. As bússolas e clinômetros que atendem a estas necessidades e que são adotados atualmente na topografia espeleológica têm uma precisão muito menor. É claro que, em condições especiais ou para atender a objetivos específicos, podem ser utilizados instrumentos de alta precisão, como a estação total, mas isso ainda está longe de ser a realidade do dia-a-dia do espeleólogo.

Morfologia subterrânea: o interior de uma caverna possui uma variedade e complexidade de formas dificilmente encontradas na paisagem externa. É praticamente impossível representar todas estas feições em um mapa. Principalmente quando se trata de uma cavidade extensa.

Dificuldade de acesso e limitação de tempo: Alguns lugares dentro de uma caverna estão tão distantes, ou são tão difíceis de serem atingidos, que os deslocamentos até a área a ser mapeada consomem a maior parte do tempo da equipe. Nestas situações o mapeamento deve adotar uma metodologia que concilie a eficiência com a precisão. O mesmo acontece em situações em que a equipe não dispõe de muito tempo para efetuar o mapeamento. Muitas vezes é preferível concluir rapidamente todo o mapeamento ainda que o mesmo não seja extremamente preciso. Um mapa extremamente preciso e detalhado de uma caverna de grandes proporções e de difícil acesso pode consumir anos para ser concluído. As limitações e objetivos do mapeamento devem ser avaliados em cada caso.

Dificuldades internas: as condições em que são realizados os mapeamentos nem sempre são ideais.



O frio, o cansaço e a fome fazem parte do cotidiano de uma exploração. Com isso, o sistema de topografia, o equipamento e até mesmo o nível de detalhamento devem ser adequados a todas estas dificuldades. Isto é importante inclusive para a segurança da equipe.

3.2.2 Métodos de levantamentos topográficos em caverna

Não seria exagero afirmar que a espeleotopografia encontra adeptos em todas as regiões do mundo onde se exploram cavernas, sendo a principal ferramenta para se documentar uma cavidade e essencial para qualquer tipo de pesquisa. Embora a variedade morfológica do mundo subterrâneo, aliada a fatores externos (disponibilidade de tempo, recursos humanos e objetivos diversos), tenha levado à criação de metodologias diferentes até mesmo dentro de um mesmo país, a essência do mapeamento espeleológico permanece inalterada. Em linhas gerais, *os levantamentos consistem em estabelecer uma série de pontos dentro da caverna, interligados de forma que seja possível saber a posição relativa de cada um em relação a um referencial pré-determinado (uma entrada, por exemplo) e em relação aos limites da cavidade (paredes, piso e teto). Estes pontos são o que chamamos de bases topográficas.* Mas antes de entrarmos na parte prática da topografia, algumas definições devem ser consolidadas:

Bases ou estações: são os pontos que escolhemos como referência para os levantamentos topográficos. Eles podem ser fixos, estando situados em elementos da própria caverna, como paredes, teto e espeleotemas, ou serem “flutuantes”, ou seja, não estando marcados fisicamente em nenhuma feição do espaço interno da caverna. É importante sempre avaliar o impacto que a marcação de bases fixas, que não deixa de ser um tipo de depreciação, irá causar sobre as cavernas. É comum ver belos conjuntos de espeleotemas com marcas de fuligem ou números de bases escritos à tinta. O uso de tintas, fuligem e incisões sempre causa impactos. Por outro lado, um pedaço de papel ou fita de algodão é facilmente deslocado e apodrece rapidamente. Consideramos a melhor opção o uso de

fitas de material sintético, escritas com canetas de retro-projetor, que possuem tinta resistente à água, as quais podem ser fixadas com o auxílio de pequenos blocos. Depois de terminado o mapa as fitas duram ainda um bom tempo e podem ser recolhidas. Assim, elimina-se o impacto que seria produzido por outras formas de marcação de bases.

Visada: é o segmento de reta que une duas bases. Normalmente uma visada é definida pelas medidas de distância, em metros, de azimute e de inclinação, em graus.

Linha de trena: é a sequência das visadas que ligam as diversas bases de uma topografia. Funciona como o esqueleto da topografia.

Azimute: é o ângulo, projetado no plano horizontal, da visada em relação ao norte magnético. O instrumento utilizado para se efetuarem estas leituras é a bússola e os seus valores podem ser estabelecidos em graus (0 a 359°) ou grados (0 a 399). As que utilizam graus correspondem à imensa maioria dos equipamentos disponíveis. Uma leitura de 0° indica que a orientação da visada corresponde à do norte magnético.

Inclinação: é o ângulo, projetado no plano vertical, da visada em relação a um plano horizontal. Seus valores são medidos em graus por um instrumento chamado clinômetro, e podem variar entre -90° a + 90°, sendo que a leitura 0° significa que a visada é horizontal. Os valores positivos indicam visadas em auge e os negativos, em declive. No clinômetro geralmente existem duas escalas, uma em graus e a outra em percentuais, que correspondem à tangente do ângulo. É muito importante assegurar que o instrumentista observe sempre a escala em graus.

3.2.2.1 Instrumentos

Cartas topográficas, imagens de satélite e ortofotocartas: São recursos importantes na exploração e estudo detalhado de áreas com potencial espeleológico, possibilitando identificação geográfica da gruta. Podemos dividir as bases cartográficas em dois grandes grupos: as imagens e as representações gráficas. O primeiro grupo consiste basicamente em imagens de satélite e fotos aéreas que são

nada mais que vistas espaciais da superfície terrestre e que, no caso de fotografias aéreas, apresentam a vantagem uma visão tridimensional da superfície – estereoscopia. As fotos aéreas são caras, normalmente apresentam escalas muito ampliadas e defasadas no tempo. O seu uso requer o apoio de um mapa geográfico, uma vez que não são georeferenciadas (não possuem a malha de coordenadas) e nem possuem uma escala precisa. Já as imagens de satélite encontram-se em plena evolução, sendo cada vez mais precisas e acessíveis. Para se ter idéia, o custo do km² de uma imagem de acervo do satélite Quick Bird, com 60cm de resolução espacial (atinge uma escala visual até 1:1000) se inicia em US\$16,50. As técnicas de processamento digital de imagens de satélites também podem ser úteis para a prospecção de cavernas, permitindo a localização de dolinas e a identificação de litologias propícias à formação de cavernas.

A carta topográfica é uma representação gráfica da morfologia externa - baseada na interpretação de fotos aéreas - contendo curvas de nível, hidrografia, estradas, etc. Contudo, boa parte do território nacional não possui mapas em escalas compatíveis com as necessidades espeleológicas, que deveriam ser de no mínimo 1:50.000.

A ortofotocarta, ou simplesmente ortofoto, é um tipo de imagem aérea que fornece uma projeção em escala precisa, eliminando distorções que aparecem nas fotos aéreas. Estas podem conter curvas de nível, indicação das coordenadas e limite de municípios. São particularmente úteis na exploração e na prospecção espeleológica, uma vez que permitem a identificação das feições cársticas (como as fotos e imagens de satélite) em uma escala bastante detalhada (1:10.000). Contudo, a sua cobertura se restringe a poucas áreas do Brasil (figura 4.2).

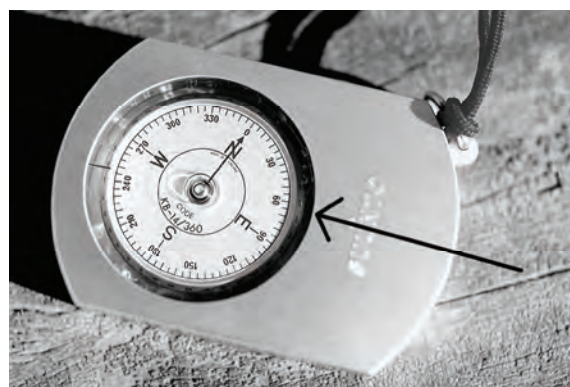
Como complemento dos levantamentos espeleológicos, devem ser utilizados ainda os mapas geológicos, que permitem identificar as áreas com litologias e feições específicas.

Receptor GPS (Global Positioning System): Cada vez mais utilizado para navegação, é um aparelho ligado a um sistema mundial de posicionamento

geográfico, que recebe informações de satélites e calcula posições sobre a superfície terrestre. Com ele é possível fixar geograficamente, por exemplo, a entrada de uma gruta através das coordenadas. Atualmente, além da localização das cavernas, o GPS vem sendo utilizado para realizar o mapeamento das trilhas de acesso às regiões, a diferentes entradas de cavernas, clarabóias etc, aumentando ainda mais o potencial de exploração das regiões cársticas. Antes de usar o GPS certifique-se de que o instrumento esteja configurado corretamente.

Bússola: Fornece o azimuth. Na realidade existem dois tipos básicos de bússolas: o primeiro grupo é formado por instrumentos dotados de uma agulha magnetizada que gira sobre um eixo, indicando o ângulo em relação ao norte em uma escala fixa ao corpo do aparelho (limbo). O segundo grupo, largamente utilizado nas cavernas, são as bússolas de limbo móvel, ou seja, a escala (que possui a forma de um disco) gira sobre o eixo e indica o azimuth através de um visor fixo. Os modelos mais comuns são das marcas Suunto, Sisteco e Silva, e consistem em uma caixa de alumínio (ou plástico) envolvendo um recipiente plástico onde o disco imantado gira livremente. Este “recipiente” é totalmente hermético e cheio de um líquido viscoso que impõe movimentos mais lentos do disco (ao contrário das bússolas “secas” – exemplo: Brunton - onde a agulha oscila livremente e demora a se estabilizar).

Como as bússolas sofrem interferência dos



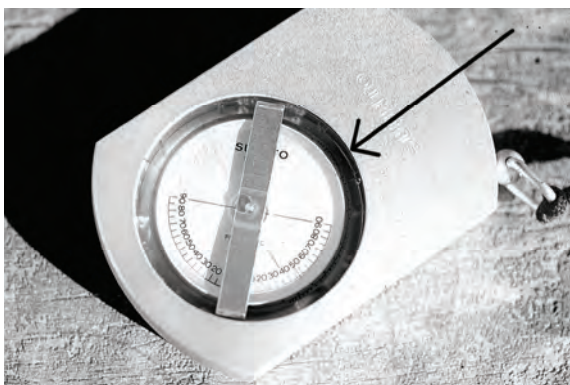
campos magnéticos, todo instrumentista deve verificar se alguma parte do seu equipamento causa desvios no aparelho. Pilhas e partes metálicas ou até mesmo rochas que contenham hematita

costumam causar erros significativos nas leituras.

Normalmente as bússolas utilizadas em cavernas possuem graduações de 0,5 graus e muitas delas marcam valores diretos e invertidos (ou seja, a visada defasada de 180°). Este recurso é particularmente útil no caso de leituras invertidas, em que o instrumentista troca de posição com o ponta de trena (os motivos que justificam esta inversão de posições serão tratados mais adiante). Também deve-se atentar para que a bússola seja calibrada para o Brasil (zona 3 - *Southern Equatorial Zone*). Todas estas marcas de bússolas citadas são de fabricação européia, e somente sob encomenda conseguimos instrumentos calibrados.

Clinômetro: Fornece a inclinação, em graus positivos ou negativos. Os fabricantes, detalhes construtivos, cuidados e utilização são similares aos das bússolas. A diferença principal é que este instrumento deve ser lido na posição vertical; além disso, não sofre interferência dos campos magnéticos. Normalmente apresenta duas escalas: em graus (de +90° a -90°) e percentual (+150% a -150%). Os valores utilizados na topografia sempre são em graus.

Trena: Com ela se determina a distância, em metros



e centímetros, de cada visada. Normalmente são utilizadas trenas de poliéster, reforçadas com fibra de vidro, com comprimentos variando de 20 a 50 metros, do tipo que ficam alojadas em um rolo de plástico ou as trenas a laser. Atualmente os instrumentos de medição através de taqueometria (conhecidos como trenas a laser) tornaram-se bastante acessíveis em termos de preço e resistentes às condições severas de umidade e impacto tornando-se

o padrão da maior parte dos levantamentos realizados nos últimos. Contudo, devem ser tomados cuidados adicionais na sua utilização, uma vez que os erros de leitura são difíceis de ser percebidos em campo. É também fundamental que o instrumento utilizado possua uma mira a laser que identifique o local exato onde está sendo feita a leitura.

Caderno de croquis e planilha de anotação: É onde, a lápis, é feito o croquis e são anotados os dados da topografia. Em algumas situações são utilizadas cadernos à prova d'água, feitos de poliéster. Dependendo da metodologia adotada e da disponibilidade da equipe, o croquis e a anotação podem ser desempenhados por pessoas diferentes. Neste caso a planilha de anotações deve ser formatada anteriormente, inserindo campos para as medidas a serem efetuadas. Já o caderno de croquis deve possuir folhas lisas ou quadriculadas (que facilitam o desenho, como veremos mais adiante).

3.2.2.2 A equipe

Como veremos mais adiante, a qualidade do mapa topográfico de uma caverna depende da conjunção de vários aspectos, que vão desde a escolha do equipamento e da metodologia utilizada até o tipo da caverna. Contudo, cabe à equipe a responsabilidade principal pelo resultado final. O entrosamento, a habilidade e a experiência de cada um, particularmente, e da equipe como um todo, são fatores decisivos. Até mesmo funções que, teoricamente, exigem um conhecimento menor (como a de anotador, por exemplo) quando não desempenhadas de forma criteriosa podem comprometer todo um mapeamento.

Normalmente uma equipe de topografia é formada por 3 a 5 espeleólogos, que desempenham funções pré-estabelecidas.

Croquista: A principal responsabilidade do croquista é a coordenação geral dos trabalhos. Normalmente é o mais experiente da equipe, definindo o caminho a ser percorrido, orientando o posicionamento das bases, definindo o ritmo da topografia e procurando manter o entrosamento da equipe. Elabora o esboço da caverna, representado suas

feições principais através de plantas, cortes e perfis, além de todos os detalhes que irão compor o mapa final, tais como espeleotemas, drenagens, posição das bases topográficas, etc.

Instrumentista: Responsável pela leitura da bússola e do clinômetro (azimute e inclinação, respectivamente). Esta tarefa exige concentração e atenção, uma vez que influencia diretamente a precisão dos levantamentos. É recomendável que as leituras sejam feitas pelo menos duas vezes antes de se anunciar o valor definitivo (em caso de discrepância, deve-se repetir o processo quantas vezes forem necessárias). Pessoas com problemas de visão ou mesmo as que usam óculos podem encontrar dificuldade na leitura dos instrumentos.

Ponta de trena: Apesar de ser uma função que exige menos experiência do que as demais, um bom ponta de trena, que esteja ciente de suas responsabilidades e que aplique com atenção a metodologia correta, tornará mais fácil o trabalho de todos, agilizando sensivelmente o andamento da topografia. Esta função consiste em marcar e medir a distância entre as bases. O ponta de trena deve ter sempre em mente, na hora de escolher o local para uma base, o conforto e a facilidade na leitura dos instrumentos e o caminhar da topografia, tendo em mente o local escolhido para a base seguinte.

Anotador: Responsável pela anotação dos dados de cada visada além das “características” da base, que são as medidas de distância entre a base e o teto/piso da galeria (alturas) e as paredes (laterais). À medida que as informações são repassadas, o anotador deve repeti-las em voz alta para que a equipe tenha ciência de que os valores foram escutados e anotados corretamente. Erros nas anotações são muito comuns e, muitas vezes, são difíceis de serem corrigidos, comprometendo a confiabilidade do mapa.

3.2.2.3 Dentro da caverna - metodologias, suas vantagens e desvantagens

Como já foi dito anteriormente, a espeleotopografia consiste basicamente na determinação de uma sequência de pontos (chamados de bases

topográficas – ou simplesmente bases) unidos por meio de vetores (chamados de visadas e determinados através da leitura da distância, do azimute e da inclinação) que irão percorrer todas as galerias da caverna. A partir desses pontos são feitas medidas de largura e altura, além de anotados todos os detalhes básicos (com o auxílio do croquis) para a confecção de um mapa. Os instrumentos e as funções de uma equipe não sofrem grandes variações, e a maior parte dos espeleólogos adota uma metodologia muito parecida.

Método das Bases Flutuantes

Embora a metodologia da topografia seja bem simples, alguns procedimentos podem ser adotados a fim de garantir uma maior precisão, maior eficiência ou mesmo para cumprir algum objetivo específico. Dentre todas as possíveis inovações, o posicionamento das bases talvez seja o item que permite a maior variedade de opções. Para um levantamento expedito, sem muito rigor e compromisso com futuras continuções, pode-se adotar o método das *bases flutuantes*. Neste caso a posição de uma base fica “solta” no espaço, sendo algo próxima dos olhos do instrumentista. A leitura é feita diretamente na direção do capacete do ponta de trena buscando manter a mesma altura em relação ao piso para evitar possíveis desvios na inclinação. A sequência dos trabalhos é feita com o deslocamento do instrumentista para a posição do ponta de trena, que avança, por sua vez, na direção da continuação da galeria. Como é muito difícil respeitar perfeitamente a posição da base ao longo das visadas, os erros acabam sendo maiores.

O *Método das Bases Flutuantes* foi largamente utilizado em importantes cavernas de Goiás e de São Paulo na década de 70 e no início dos anos 80.

Caso os levantamentos tenham a pretensão de chegar a níveis mais confiáveis com relação à precisão, a primeira coisa que se deve procurar é garantir o posicionamento preciso das bases. Para tanto, existem diversos métodos e, com certeza, é difícil definir o mais correto, uma vez que a qualidade dos levantamentos vai depender de uma conjunção de fatores que vão desde a qualidade

dos equipamentos utilizados até a experiência e a capacidade da equipe. Contudo, vamos citar as alternativas mais comuns, buscando sempre elucidar as possíveis vantagens e restrições de cada metodologia.



O Método das Bases Flutuantes, descrito anteriormente, tem como principal vantagem a agilidade na execução da topografia. Além disso, o desenvolvimento linear da cavidade pode ser obtido através da simples soma das distâncias na caderneta de anotações, uma vez que a maioria das bases é posicionada no centro das galerias. O ponto fraco deste método é a baixa precisão das medidas de distância, azimute e inclinação, uma vez que a posição das bases não pode sofrer variações ao longo das leituras.

Método das Bases Fixas

Neste caso, as bases topográficas são posicionadas diretamente sobre elementos naturais da caverna.

Uma saliência na parede, um bloco ou até mesmo um espeleotema podem servir de amarração, garantindo uma posição confiável e permanente. Uma vez definido o ponto, este é marcado e identificado, permitindo a sua utilização em vários momentos da topografia. As distâncias entre a base e as paredes, o piso e o teto são medidas, permitindo a localização espacial da base em relação à galeria. Este método exige a utilização de bússolas de leitura direta (tipo Suunto ou Silva), uma vez que o instrumento deve ser lido o mais próximo da base. As vantagens deste sistema são a rapidez e a sua praticidade, uma vez que pode ser utilizado em qualquer tipo de caverna (com a exceção de condutos submersos). Em contrapartida, o instrumentista pode ter que se sujeitar a posições, às vezes, não muito confortáveis para a leitura dos instrumentos, o que a torna bastante suscetível a erros. Além disso, existe um desgaste físico maior, dependendo do tipo de cavidade (muitas vezes as leituras são feitas com o instrumentista deitado e se contorcendo para chegar próximo à base marcada). Quando o instrumentista está habituado a esse sistema, acaba adotando “artifícios” para facilitar as leituras, sem o comprometimento da precisão.



Como maior vantagem do Método das Bases Fixas podemos citar a maior precisão na medição das distâncias e dos ângulos e a possibilidade de se retornar facilmente a pontos específicos da topografia para se refazer algum trecho problemático, já que todas as bases são marcadas. Porém este método, por vezes, perde a vantagem da precisão ao colocar o instrumentista em situações extremamente

desconfortáveis e difíceis, o que prejudica a qualidade geral da topografia.

Método das Bases Flutuantes medidas com Prumo

A utilização do prumo é um sistema fácil e engenhoso de se criar uma base fixa sem depender da existência de elementos naturais da caverna. Nesta abordagem é utilizado um par de fios de prumo com marcações ou nós pré-determinados pelo instrumentista conforme posições confortáveis para a sua leitura (em pé, sentado, deitado). O prumo é utilizado em conjunto pelo instrumentista e pelo ponta de trena - cada qual com um prumo com marcações idênticas. Na hora de serem feitas as leituras, os prumos são posicionados na mesma graduação (altura do piso) e a leitura dos instrumentos é feita na sua extremidade superior, enquanto este está posicionado exatamente em cima da base, que é marcada e identificada com fita no chão. Com isso temos a garantia de que as bases estão posicionadas a uma mesma distância do piso, além da colocação de um ponto fixo no chão da caverna. No caso de uma nova visada utilizar a mesma base, o prumo é novamente posicionado, não sendo necessário adotar a mesma altura da visada anterior (pode-se adotar uma altura mais adequada ao novo trecho a ser topografado). É recomendável também que sejam criadas bases fixas nas paredes ou em outro local mais protegido da caverna, principalmente nas bifurcações e nos condutos laterais, uma vez que as marcações no piso estão muito susceptíveis a deslocamentos acidentais.

Este método mostra-se bastante preciso e eficiente, contudo encontra algumas limitações que dependem das características da gruta. Locais com água (principalmente em trechos fundos ou com correnteza) ou abismos comprometem a aplicabilidade do sistema. Nestes casos o método das bases fixas pode ser utilizado em conjunto com o prumo. Outro fator a ser considerado é que, embora o conceito do prumo crie condições para uma topografia mais precisa, o andamento da equipe torna-se um pouco mais lento, já que o prumo deve ser posicionado exatamente em cima da base e o instrumento, exatamente em cima do prumo, a cada visada.

Este método exige mais prática e atenção do instrumentista, que deve, ao mesmo tempo, observar o posicionamento do prumo e o local da visada.

Método do Tripé

Outro artifício para melhorar a precisão da topografia é a utilização do tripé como suporte dos instrumentos (bússola e clinômetro). Apesar de pouco difundido, este método já foi utilizado em importantes cavidades brasileiras, produzindo mapas muito precisos e detalhados.

A leitura é feita a partir de um ponto escolhido para a montagem do tripé. O instrumentista direciona a visada para uma base posicionada perto do chão e indicada por um ponto luminoso (com um LED, vela ou algo similar). Este procedimento exige que a base do tripé esteja nivelada para que a bússola possa girar livremente. Assim como nas "bases fixas" a distância de cada base (a base onde está o instrumentista e a base do ponta de trena) até o piso é diferente e cada uma deve ser medida, pois será necessária para o cálculo da inclinação da galeria. A primeira corresponde à altura do tripé, enquanto a outra pode ser considerada como zero, pois fica a poucos centímetros do piso da caverna. O andamento da topografia é feito deslocando-se o tripé para a base seguinte, onde, com o auxílio de um prumo, fica garantida a posição dos instrumentos exatamente em cima do ponto marcado no piso.

O método do tripé não é recomendável em cavernas alagadas, em abismos ou em trechos com teto muito baixo. Também exige uma série de cuidados adicionais, o que e torna a topografia mais lenta e minuciosa. Além do mais, poucas bússolas podem ser acopladas a um tripé (o modelo mais usado nestes casos é a Brunton). Sua utilização é recomendada somente em casos onde a precisão seja fundamental.

Observação sobre a tabela:

A precisão de uma topografia depende dos equipamentos adotados. Contudo, a forma como estes são utilizados (ou seja, a metodologia) pode interferir nos possíveis erros cometidos. Com isso,

Tabela comparativa entre os métodos topográficos

Método	Precisão	Erros	Eficiência	Restrições	Indicações
Bases flutuantes	Baixa	Grandes	Alta	Nenhuma	Grutas pequenas, que podem ser mapeadas em uma única jornada, ou quando o tempo é escasso.
Bases fixas	Média	Médios	Alta	Nenhuma	Aplicável em qualquer tipo de, principalmente nas mais complexas e nas que exijam um trabalho prolongado
Prumo	Média	Pequenos	Média	Algumas	Grutas sem rios caudalosos, lagos profundos ou abismos.
Tripé	Alta	Pequenos	Baixa	Muitas	Grutas sem rios caudalosos, lagos profundos ou abismos. Indicado para trabalhos que exijam uma maior precisão.

os mapeamentos que utilizam os mesmos equipamentos podem ser mais ou menos susceptíveis a erros, dependendo de como os instrumentos são empregados.

3.2.3 Graus de precisão

A determinação da precisão do levantamento topográfico é importante, pois torna possível que se determine a fidedignidade do mapa em relação à cavidade trabalhada, estabelecendo parâmetros para comparar a precisão e o detalhamento de um mapa espeleológico. Existem dois sistemas de classificação, o da *British Cave Research Association* (BCRA) e o da *Union Internationale de Spéléologie* (UIS). O sistema BCRA, mais antigo, obteve larga aceitação no meio espeleológico internacional e é o mais utilizado no Brasil. O método UIS, até então pouco difundido, está sendo objeto de novas discussões e uma

reformulação completa objetivando uma adequação às novas tecnologias e métodos topográficos. Provavelmente, em um futuro próximo, a classificação da UIS será o novo padrão mundial para definição da precisão espeleotopográfica.

Segundo o método BCRA podem ser distintos sete graus de precisão para a linha central da topografia e quatro classes de precisão para o detalhamento das galerias.

No Brasil, a maioria esmagadora dos levantamentos situa-se entre os graus 2 e 4, e raramente atingem a classe D, com relação aos detalhes das galerias. Isto é normal e aceitável, principalmente em um país onde o número de cavernas a mapear supera largamente o número de espeleólogos disponíveis para tanto. Algumas poucas grandes cavernas estão mapeadas em grau 5, sendo que, ao que nos consta, apenas duas grandes cavernas

Tabela 1: graus BCRA de precisão para linha de trena

Grau 1.	Esboço de baixa precisão, sem medições tomadas em campo
Grau 2.	A ser usado, somente se necessário (ver nota 7), para descrever um esboço com precisão intermediária entre os Graus 1 e 3.
Grau 3.	Levantamento magnético de baixa precisão. Ângulos horizontal e vertical medidos com precisão $\pm 2,5^\circ$ e distâncias medidas com precisão ± 50 cm; erro de posição da base menor que 50 cm.
Grau 4.	A ser usado, somente se necessário (ver nota 7), para descrever um levantamento que, apesar de mais preciso que o Grau 3, não tenha alcançado os requisitos do Grau 5.
Grau 5.	Levantamento magnético. Ângulos horizontal e vertical medidos com precisão $\pm 1^\circ$, distâncias medidas com precisão de 1 cm e erro de posição da base menor que 10 cm.
Grau 6.	Levantamento magnético com precisão maior que a de Grau 5 (ver nota 5).
Grau X.	Levantamento topográfico utilizando-se teodolito ou Estação Total ao invés de bússola (ver notas 6 e 10).

Notas sobre a tabela 1:

- 1 A tabela acima é um sumário e deve ser utilizada apenas para facilitar a memorização; as definições dos graus de topografia mencionados acima devem ser usadas apenas em conjunto com estas notas.
- 2 Em todas as situações é necessário que se use o “espírito” destas definições, sem que se as siga ao “pé-da letra”
- 3 Na obtenção do Grau 3 é necessário o uso do clinômetro.
- 4 Na obtenção do Grau 5 é essencial que os instrumentos estejam calibrados. Todas as medidas devem ser tomadas de um ponto inserido em uma esfera com diâmetro de 10 cm e centrada na base topográfica.
- 5 Uma topografia de Grau 6 exige que a bússola e o clinômetro sejam lidos no limite possível de sua precisão, $\pm 0,5^\circ$. Erros de posição da base topográfica devem ser menores que $\pm 2,5$ cm, o que torna necessário o uso de tripés ou outra forma de se fixar o ponto, em todas as bases topográficas.
- 6 Uma topografia de Grau X deve incluir no desenho notas descritivas dos instrumentos e das técnicas utilizadas, além de uma estimativa da provável precisão da topografia quando comparada com as topografias de Grau 3, 5 ou 6.
- 7 Os Graus 2 e 4 são usados somente quando, durante o processo da topografia, as condições geofísicas tenham prejudicado a obtenção dos requisitos para o Grau superior mais próximo e a retopografia seja inviável.
- 8 Organizações espeleológicas estão autorizadas a reproduzir as Tabela 1 e 2 em suas publicações, não sendo necessária permissão da BCRA para isso. Entretanto, as tabelas não podem ser reproduzidas sem estas notas.
- 9 O Grau X é apenas potencialmente mais preciso que o Grau 6. Não se deve esquecer que o teodolito/Estação Total é um instrumento de precisão complexo, cujo manejo requer treinamento específico e prática regular a fim de que não sejam inferidos sérios erros durante a sua utilização.
- 10 Para obtenção do Grau 5, na plotagem do desenho, as coordenadas da topografia devem ser calculadas e não desenhadas a mão com régua, escalímetro e transferidor.

Tabela 2. graus BCRA para registro de detalhes de conduto

CLASSE	
A	Detalhes das galerias baseados na memória.
B	Detalhes das galerias estimados e anotados na caverna.
C	Medidas de detalhe realizadas apenas nas bases topográficas.
D	Medidas de detalhe realizadas nas bases topográficas e entre elas, de modo a representar mudanças morfológicas na galeria.

Notas sobre a Tabela 2:

- 1 A precisão dos detalhes dos condutos deve ser similar à precisão da linha de trena.
- 2 Normalmente, apenas uma das seguintes combinações deve ser usada na graduação da topografia: 1A; 3B ou 3C; 5C ou 5D; 6D; XA, XB, XC ou XD.

brasileiras estão mapeadas a nível 6D: a Gruta do Convento, em Campo Formoso (BA), e a Lapa Nova, em Vazante (MG).

Graduação de mapeamento da UIS *(Versão em português: Rubens Hardt)*

No XV Congresso Internacional de Espeleologia, ocorrido em Kerrville (EUA) em 2009, o Grupo de Trabalho "Topografia e Mapeamento", da comissão de informática da UIS, discutiu os sistemas de graduação de mapeamento britânico (BCRA) e australiano (ASF), o uso destes, suas limitações e possíveis melhorias para uso internacional pela UIS. A grande maioria dos presentes concordou que o uso de um sistema de graduação no mapeamento espeleológico é necessário para informar ao usuário sobre a acurácia esperada do mapa.

Após uma animada discussão, foi verificado que o sistema de graduação padrão da ASF se aproxima muito das expectativas do grupo e que este poderia ser complementado para o uso pela UIS. As tabelas a seguir apresentam a graduação, a acurácia de detalhes, informações adicionais, e uma explicação que auxilia o entendimento do significado das tabelas.

A nova nomenclatura padrão seria "UIS 4-2-BC", o que significa uma topografia de grau 4, detalhes do mapa 2, e qualificações adicionais B e C.

A graduação atual não é válida para topografia subaquática, pois as técnicas, materiais e dificuldades podem variar bastante. Se uma indicação deve ser dada, deve-se colocar "Equivalente a graduação UIS 4-2-BC".

As faixas de graduação da UIS não devem ser especificadas no mapa. Se o conduto principal da cavidade foi mapeado com o uso de teodolito, e as passagens laterais no grau 4, a graduação a ser indicada, na maioria das vezes, é aquela que representa a maioria das passagens. Na maioria das vezes, será a graduação menor. Se porções laterais insignificantes (jamais a única conexão de dois mapas de alta qualidade) da caverna foram mapeadas em um grau inferior, a graduação maior pode ser usada.

Especialmente para grandes cavernas, detalhes referentes a como o mapa foi compilado devem constar na descrição escrita da cavidade. Lá, também, possíveis desvios da graduação geral podem ser explicados. Técnicas para minimizar erros de fechamento de poligonais (loops), técnicas utilizadas para medição e outros detalhes adicionais podem ser adicionados na descrição escrita.

Graduação de topografias

Grau	Descrição	Precisão			Acurácia Esperada
		Distância	Bússola	Clino	
-1	Nenhum mapa disponível	-	-	-	-
0	Não graduado	-	-	-	-
1	Esboço de memória, sem escala	-	-	-	-
2	Mapa compilado de anotações, esboços e estimativas feitas na caverna. Nenhum instrumento utilizado.	-	-	-	-
3	Direções medidas com bússola, distâncias medidas por corda passos ou dimensões corporais. Desníveis significativos estimados.	0,5 m	5°	-	10%
4	Topografia com bússola e trena, usando estações fixas escolhidas deliberadamente. Desníveis medidos por clinômetro ou pelos componentes horizontal e vertical.	0.1 m	2°	2°	5%
5	Topografia feita com Bússola e trena. Direções e inclinações por instrumentos calibrados, distâncias por trena de fibra ou metálica, ou por taqueometria.	0.05 m	1°	1°	2%
6	Topografia ou triangulação usando instrumentos calibrados, montados em tripés, para direção e inclinação. distância por trena calibrada, taqueometria precisa ou DistoX.	0.02 cm	0.25°	0.25°	1%
X	Topografia feita com teodolito ou meios comparáveis.	variável			variável

Graduação dos detalhes do mapa

- o Não graduado
- 1 Esboço de memória. Sem escala, mas com indicação aproximada das proporções.
- 2 Detalhes de anotações, esboço e estimativa de dimensões feitas na caverna
- 3 Detalhes de desenhos feitos na caverna. O desenho não tem de estar em escala, dimensões das passagens pode ser estimada. Detalhes significativos devem ser desenhados com acurácia suficiente.
- 4 Detalhes dos desenhos feitos na caverna em escala, baseados nas medidas de detalhes significativos com respeito aos pontos de topografia, normalmente no mínimo de grau 4. Todos os detalhes de interesse espeleológico devem ser mostrados com acurácia suficiente de forma a não ser apreciado o erro em função da escala do mapa. Dimensões das passagens medidas.

Sulfixos de qualificação

- A Nada foi feito para obter uma segurança adicional de acurácia.
- B Fechamento de poligonais (loops) ajustados.
- C Topografia baseada em instrumentos e pessoal checados e corrigidos os efeitos de possíveis anomalias.
- D Topografia verificada e corrigida por meios eletromagnéticos.
- E Dados da topografia não foram transcritos manualmente, mas transferidos por meios eletrônicos.
- F Entradas foram medidas precisamente.

Notas adicionais

Grau 1: Apenas para propósitos de cadastro: Significa que o mapa da caverna ainda não foi desenhado.

Grau 0: Apenas para propósito de cadastro. Se uma topografia não é graduada, a qualidade não pode ser assegurada. Isto é frequentemente válido para mapas históricos ou antigos.

Grau 3: Um clinômetro Silva ou comparável, meios relativamente simples sem leituras precisas qualificam para o grau 3. Mapeamento com medições cabeça a cabeça dos topógrafos são qualificadas como grau 3. Medidas com topofil qualificam para grau 3 ou 4.

Grau 4: Medidas com topofil podem qualificar para o grau 4 se as visadas da topografia não forem muito longas e cuidados forem tomados para ler corretamente os dados. Tendas a laser podem ser utilizadas para graus 4 e 5. Para se atingir o grau 4, estações fixas e re-encontráveis devem ser feitas. Não precisam ser necessariamente nas paredes; pontos feitos com aparelhos montados em tripés com uma distância definida acima do piso são também aceitas.

Grau 5: Distro X, DUSI ou instrumentos similares devidamente calibrados atingem o grau 5. Se a medida de distância for calibrada, o conjunto atinge grau 6. Se não estiverem calibrados, devem ser graduados como grau 1. Topofil utilizado para poços verticais podem atingir o grau 5. De forma a alcançar o grau 5, as coordenadas da topografia devem ser calculadas (coordenadas xyz, não podem ser coordenadas polares desenhadas com escala e transferidor).

Grau X: Os modelos de teodolito e outros equipamentos similares podem variar, assim como as técnicas de medição. No entanto, todas as topografias de grau X devem incluir, na descrição escrita da caverna, a descrição das técnicas e instrumentos utilizados, bem como uma estimativa da provável acurácia da topografia.

Detalhamento do mapa de grau 4. A principal diferença entre o grau 3 e o grau 4 é que, para se obter o grau 4, o desenho deve ser feito em escala dentro da caverna, seja por cálculo/reportagem das distâncias no papel, ou por desenhos em saídas de computadores de topografias prévias.

Sufixo C: O sufixo C designa bússola, clinômetro e pessoal checado para evitar anomalias. Anomalias magnéticas nas bússolas, anomalias de inclinação no clinômetro e anomalias de visão entre pessoas são relativamente comuns. Para se alcançar o grau 5, todos os instrumentos devem ter sido calibrados. Grau 5 e sufixo C é, portanto, redundante.

Sufixo D: Usado para informar que posições chave de passagens foram localizadas por rádio ou outros métodos de forma a definir a posição absoluta da topografia com respeito a superfície.

Sufixo E: Designa dados transferidos eletronicamente dos instrumentos (DistroX, etc.), eliminando possíveis erros de transcrição.

Sufixo F: Será usado tanto em mapas que representam cavernas diferentes (para indicar que as entradas foram medidas precisamente) ou em mapas de cavernas que contenham dados XYZ absolutos de uma grade. Sem qualquer informação adicional na parte escrita, é assumido que a técnica de medição utilizada para localizar as entradas foram feitas no mínimo de acordo com a graduação que foi utilizada na caverna. Determinação da entrada da caverna a partir de mapas qualifica para graus 1 a 3 (para mapas de alta qualidade); topografia de superfície para graus 3 a 6, e leituras de GPS de grau 3 a X, dependendo do instrumento e métodos utilizados, disponibilidade de satélites, etc. De forma a alcançar o sufixo F, a posição da entrada da caverna deve ser determinada por uma topografia de superfície de, pelo menos, grau 4, ou por uma boa leitura de GPS, ou meios comparáveis.

3.2.4 Convenções cartográficas e a leitura de mapas

2.4.1 Tratamento dos dados

Após o levantamento de campo, os dados referentes às visadas são inseridos em softwares específicos para levantamentos espeleológicos. Existem atualmente diversos softwares que podem ser utilizados. O objetivo desta fase é gerar um arquivo vetorial com a exata representação tridimensional das visadas e bases da topografia, a chamada linha de trena da caverna. Para tanto, esses programas verificam e distribuem os erros de fechamento de poligonais gerando um gráfico vetorial tridimensional com locação de cada base e visada, normalmente em formato .plt ou .dxf. Além disso, a análise destes dados permite verificar se ocorreram erros grosseiros e calcular o real grau atingido pela topografia. Exemplos de programas específicos para

topografia de cavernas: Surverx, Compass, Smaps e On Station, entre outros.

1º passo - Transferência dos dados da planilha de anotações

As distâncias, azimutes e inclinações de cada visada são transcritos para uma “tabela” específica (opcionalmente pode-se inserir as medidas laterais de cada base). A maioria dos programas possui recursos que facilitam esta inserção de dados, como a autonumeração da seqüência de bases e a adição de prefixos ou sufixos. Também é possível, neste momento, inserir dados relativos à declinação magnética, à equipe e às funções desempenhadas por cada membro dela.

2º passo – Tratamento dos dados

A principal vantagem desses programas é a possibilidade de visualizar, quantificar, corrigir e distribuir os eventuais erros cometidos na topografia. Logicamente isso só ocorre em locais onde tenham sido feitas poligonais fechadas, ou seja, onde a linha de trena tenha criado um segmento fechado. Nesta etapa deve ser feita uma avaliação geral dos levantamentos realizados no campo, analisando, principalmente, erros grosseiros que possam ter ocorrido de forma pontual (como anotações erradas, visadas invertidas ou erros de leitura nos instrumentos). Para facilitar esta análise, podem-se fazer simulações desconectando-se poligonais para verificar a variação dos erros. Caso necessário, deve-se corrigir em campo (refazer parte da topografia) os erros mais grosseiros. A maioria dos programas permite uma visualização tridimensional da linha de trena, possibilitando a rotação deste gráfico, além de recursos adicionais como níveis em cores diferentes, numeração de bases e profundidades.

3º passo – Exportação da linha de trena

Uma vez conferidos os dados e verificados os erros é hora de transformar a linha de trena em um arquivo .dxf ou .plt que seja compatível com os programas de desenho como o Micro Station, CAD ou Corel. Esta linha de trena será a base dos mapas em planta, dos perfis e dos cortes.

3.2.4.2 O desenho final

Quando temos o arquivo com a chamada linha de trena da caverna na verdade temos o “esqueleto tridimensional” de um corpo. O desenho final irá transformar esses dados com base nas informações contidas no croquis. Portanto, quanto melhor e mais claro o croquis melhor será a definição do mapa da caverna.

Existem diversos programas de desenho utilizados para finalizar as topografias. Daremos aqui as linhas gerais de trabalho em dois programas bastante utilizados atualmente para este fim: o CAD (Micro Station ou Autocad) e o Corel-Draw (ou Adobe Illustrator). O primeiro grupo é formado por programas mais específicos para o desenho técnico e a cartografia. Recursos de medidas de distância, área e dados georeferenciados estão disponíveis, permitindo uma base cartográfica mais precisa e compatível com outros programas. Em contrapartida, são softwares pouco “amigáveis”, e caros. O Corel-Draw é uma boa opção para quem valoriza os recursos artísticos e a facilidade de operação. Contudo, a facilidade de desenhar um mapa diretamente no computador vai depender muito do conhecimento que se tem sobre o programa. A prática e as tentativas são a melhor forma de se aprender. Certamente cada mapa traz uma certa dose da individualidade do desenhista.

O CAD ou Corel servem para desenhar em proporção real todas as informações contidas no croquis, as linhas de paredes, as entradas, os rios, lagos, pisos e espeleotemas, entre outras feições. Ambos funcionam com base no conceito de camadas (*layers*), sendo que cada camada pode ser associada a uma futura espessura de linha na impressão, uma cor diferenciada ou alguma parte específica do mapa. Assim, os contornos das galerias, os detalhamentos e as legendas podem ser representados em *layers* diferentes. Além disso, cada *layer* pode ser selecionado para visualização em tela (ou não) e para ser impresso (ou não). Uma boa organização em camadas é imprescindível para um bom mapa, legível e útil.

A espessura das linhas auxilia muito na

interpretação do desenho. É recomendável trabalhar com linhas mais grossas para o contorno e usar linhas mais finas para formações e detalhes.

- Contornos de paredes – linhas mais grossas.
- Feições importantes como entradas, rios e lagos – linhas médias.
- Desníveis abruptos e suaves, tipos e formas de pisos (pequenos blocos, desmoronamentos, áreas com sedimentos, capas estalagmíticas) – linhas finas.
- Espeleotemas e outros detalhes – linhas finas.

Além disso, existem várias representações padronizadas que devem ser adotadas na confecção de um mapa, fazendo com que este se torne “compreensível” pela comunidade espeleológica. Ao ver uma mapa geográfico, por exemplo, qualquer pessoa associa imediatamente um curso d’água com as linhas azuis; o número nas curvas de nível com a altitude; e assim por diante. Nas cavernas acontece o mesmo. Alguns elementos como espeleotemas, blocos e drenagens possuem representações padronizadas que simplificam e tornam o mapa mais compreensível.

Já houve muitas tentativas de criar critérios unificados para a simbologia espeleológica. Contudo, um consenso ainda não existe e cada desenhista pode adotar os símbolos que achar mais convenientes para o tipo de gruta a ser representada. É claro, deve-se ter o bom senso de não “inventar” muitos padrões, o que tornaria o trabalho algo muito pessoal. A simbologia completa adotada pela UIS (União Internacional de Espeleologia) pode ser consultada em:

www.carto.net/neumann/caving/cave-symbols/cave_symbol.php?languageSelection=portuguese

3.2.4.3 Finalizando o mapa: escala, legenda, notas, etc.

Os mapas topográficos devem conter sempre a escala gráfica e a indicação do norte (geográfico ou magnético, com data), além das convenções utilizadas e uma legenda. A declinação magnética é o ângulo formado pelo NG e o NM, e seu valor é correto (ou válido) no centro da folha. As informações

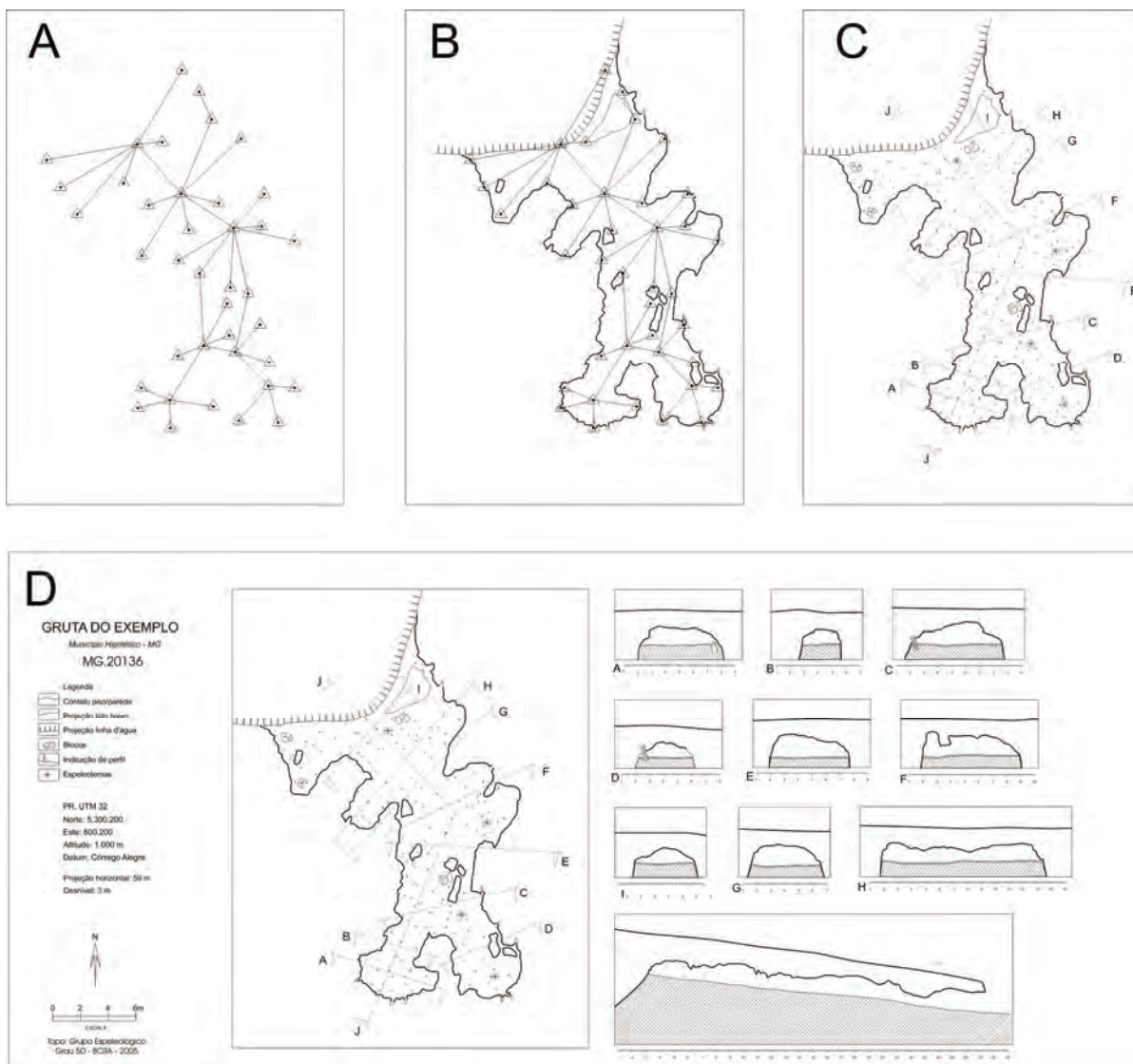
mínimas que devem ser colocadas na legenda do mapa espeleotopográfico são:

- Nome da caverna.
- Município.
- Sigla do estado.
- Número do cadastro.
- Coordenadas - geográficas (latitude, longitude, altitude) ou UTM (incluindo o DATUM).
- Grau de precisão topográfica (UIS ou BCRA).
- Extensão (desenvolvimento linear e/ou projeção horizontal) indicando se foi usado o método da continuidade ou da descontinuidade (explicado no capítulo seguinte).
- Desnível.
- Autores da topografia (equipe ou grupo espeleológico).

- Data da topografia.
- Quadro de convenções ou indicação da simbologia utilizada no mapa.

Na legenda podem ainda ser acrescentadas informações adicionais, como:

- Área e volume da cavidade.
- Local (fazenda, bairro ou distrito).
- Referência do mapa utilizado como referência para as coordenadas, indicando a escala e o ano deste mapa.
- Equipe de topografia, com os nomes dos participantes do levantamento e da confecção da planta topográfica.
- Equipamentos utilizados.



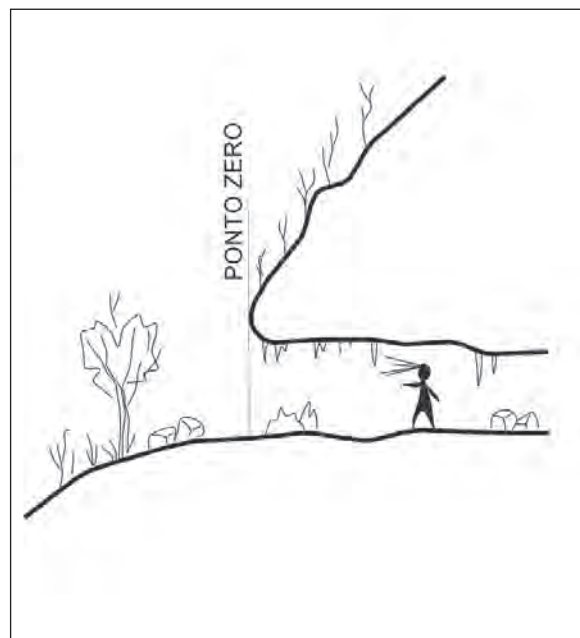
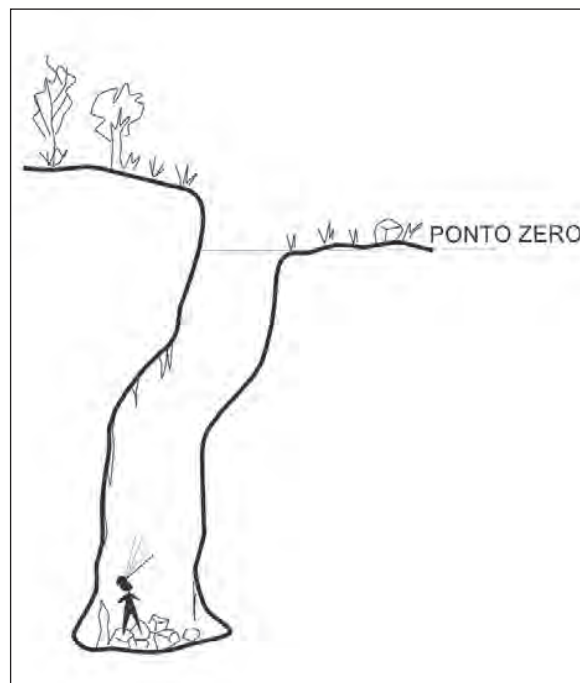
3.2.5 Medindo uma caverna – Espeleometria

Texto adaptado de AULER, A; RUBBIOLI, E. L. & BRANDI, R. 2001 - As Grandes Cavernas do Brasil, 224 p.

Uma vez pronto o mapa da caverna, certamente não é essencial, para a sua compreensão, proceder à medição da mesma. No entanto, da mesma forma que um escalador, ao chegar ao topo de uma montanha, possui o interesse natural em saber a altitude alcançada, o espeleólogo em geral se interessa em obter o tamanho da caverna ou a metragem percorrida. Infelizmente nenhum outro aspecto da espeleometria tem sido tratado com tanto desleixo. Um sem-número de técnicas têm sido utilizadas para se obter o tamanho final da cavidade, algumas pouco confiáveis do ponto de vista espeleométrico. O resultado final desta “confusão” espeleométrica é que a maior parte das cavernas não podem, de uma forma correta, ser dimensionalmente comparadas entre si. A título de consolo, vale dizer que não estamos sozinhos nesta indesejável situação, pois o mesmo ocorre no mundo inteiro, tendo sido ineficazes as tentativas de padronizar as técnicas de medição de cavernas.

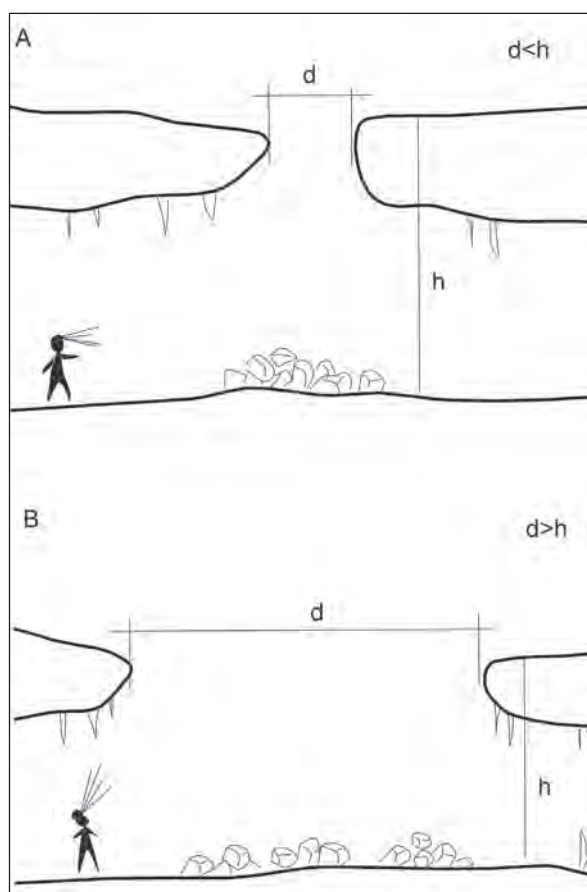
Inicialmente é necessário discorrer sobre dois critérios espeleométricos importantes, ambos aprovados após exaustivas discussões junto à comunidade espeleológica brasileira, estando em consonância com normas adotadas em outros países. O primeiro critério diz respeito ao ponto “o”, ou seja, o ponto a partir do qual uma caverna se inicia. Isto é importante principalmente em relação a cavernas verticais, pois alguns abismos possuem bordas de diferentes alturas, e nem sempre o local onde se amarra a corda (e se inicia a topografia) constitui o local apropriado do ponto de vista espeleométrico. No caso de abismos, o Ponto “o” é representado pelo plano horizontal que se insere totalmente dentro da boca do mesmo. Em outras palavras, deve-se adotar sempre a borda mais baixa. O critério é aplicável também a grutas horizontais, utilizando-se neste caso um plano vertical.

Dolinas e clarabóias são comuns no carste brasileiro, onde o grande volume das cavernas e a pequena espessura do carbonato favorecem o



abatimento do teto. Nas cavernas formadas pelo Rio São Mateus, em São Domingos (GO), existe uma dolina com cerca de 10 m de profundidade e 150 m de comprimento que obstrui o conduto do rio, forçando os exploradores a percorrer este trecho no exterior. Em outra situação distinta, na Gruta do Janelão, em Januária/Itacarambi (MG), ocorrem algumas dolinas (ou clarabóias) com cerca de 170 m de profundidade e algumas dezenas de metros de comprimento. A norma adotada diz que, caso

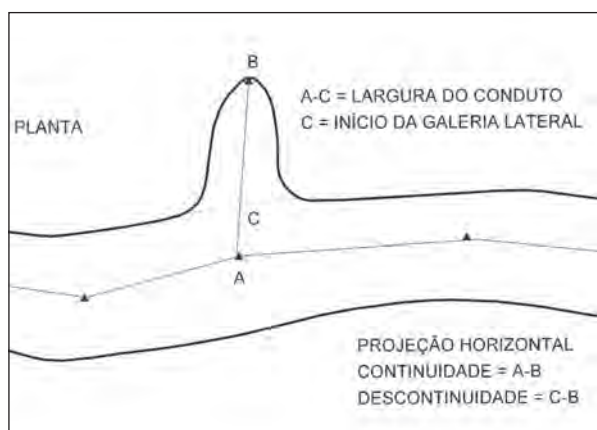
a dolina seja mais profunda do que extensa (sempre considerando o maior comprimento), ela não segmentará a cavidade em duas cavernas distintas. Ao contrário, caso possua o comprimento maior do que a profundidade, causará a divisão da cavidade em duas grutas distintas. Assim sendo, a já citada dolina sobre o Rio São Mateus segmentou a caverna nas grutas São Mateus III e São Mateus-Imbira, ao passo que a Gruta do Janelão permanece como uma cavidade única.



Outro importante critério espeleométrico merece detalhamento. Quando da topografia de galerias que se ramificam a partir de um conduto principal, a distância obtida pela trena normalmente incluirá também um componente total ou parcial da largura do conduto principal. Assim sendo, caso consideremos a distância total (A-B), estaremos incluindo nesta também parte da largura do conduto maior, pois a galeria lateral se inicia apenas no ponto C. O *princípio da descontinuidade* reza que esta distância (A-C) deve ser descontada, pois

de forma contrária estaríamos sistematicamente incluindo larguras de condutos em todas as ramificações (que é o que dita o princípio da continuidade). Parece claro que o método da descontinuidade é o mais correto do ponto de vista espeleométrico, muito embora seja trabalhoso, pois o componente “largura” deve ser medido e descontado em cada interseção, motivo pelo qual muitos espeleólogos optam por fornecer o desenvolvimento total (adotando a continuidade) através da simples soma das visadas. A diferença entre desenvolvimentos medidos pelos princípios da descontinuidade e da continuidade pode ser grande, principalmente em cavernas com condutos amplos, onde o componente largura é maior, ou em cavernas com muitas galerias laterais, que é o caso das várias cavernas labirínticas brasileiras.

Parece consenso que a maneira mais correta de comparar o tamanho de cavernas seja através do volume total das galerias. Devido à quase total ausência deste tipo de informação quanto às gru-



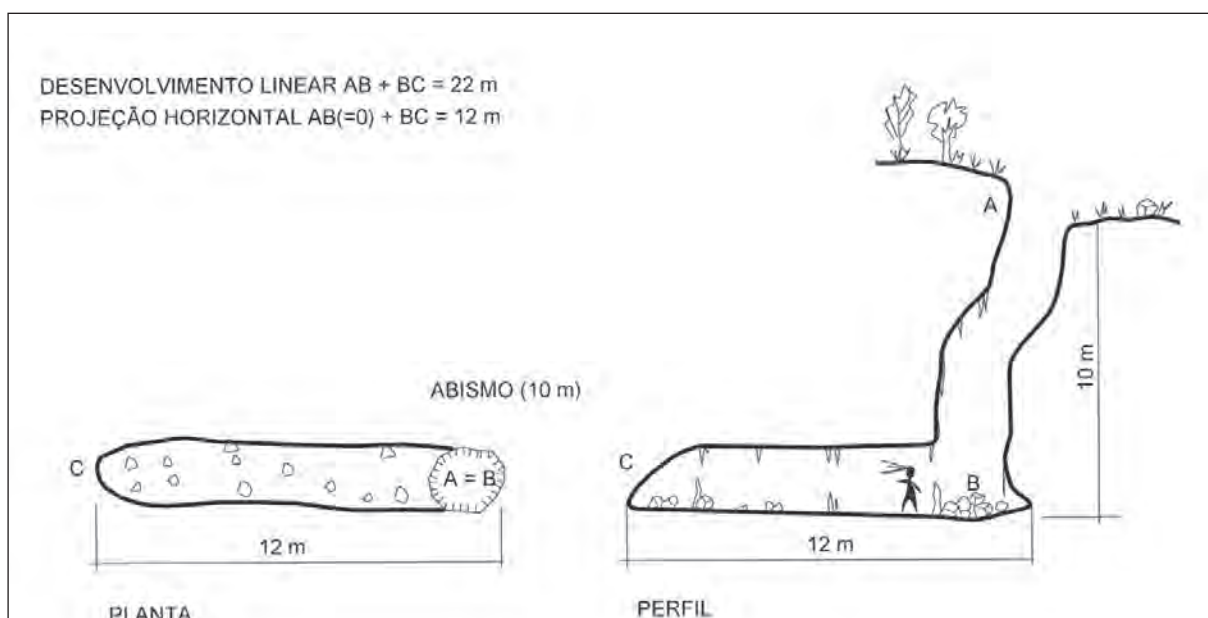
tas brasileiras, é necessário que recorramos ao *comprimento da caverna*, dado pela soma das galerias, e ao *desnível*. O cálculo do desnível é simples, sendo fornecido pela diferença de nível entre o piso mais alto da caverna e o piso mais baixo. Obedecendo-se aos critérios espeleométricos acima, este parâmetro não oferece problemas, sendo utilizado de maneira uniforme pelos espeleólogos brasileiros.

O cálculo da extensão, comprimento, ou desenvolvimento da caverna, por outro lado, tem merecido abordagens diversas por parte de nossa

comunidade espeleológica. Utilizam-se, atualmente, duas formas para se obter o desenvolvimento de uma caverna. A primeira delas é denominada “*projeção horizontal*” e consiste em medir o comprimento das galerias projetadas em um plano horizontal. Os comprimentos são somados sobre a planta da caverna com o auxílio de uma régua, de um escalímetro ou de um curvímetro, ou então sobre a tela do computador com o auxílio de um programa apropriado.

Outro método bastante usado no Brasil consiste em somar as distâncias conforme estas são medidas na caverna, ou seja, inclinadas de acordo com o perfil dos condutos. O desenvolvimento extraído segundo este método recebe o nome de “*desenvolvimento linear*”. Uma caverna que compreenda um conduto vertical com, por exemplo, 10 m de profundidade, o qual dê acesso a uma galeria perfeitamente horizontal com 10 m de extensão teria, pelo método da projeção horizontal, apenas 10 m de desenvolvimento (pois os 10 m verticais seriam iguais a zero em planta). Pelo método do desenvolvimento linear, esta mesma caverna teria o dobro da metragem, ou seja, 20 m. O desenvolvimento de uma caverna, quando medido pelo método do desenvolvimento linear, será sempre superior ao valor da sua projeção horizontal. No caso de cavernas verticalizadas, esta diferença pode ser significativa.

Idealmente, o desenvolvimento linear deveria ser obtido segundo o “eixo da galeria”. Este termo, um tanto quanto obscuro, sugere que, em caso de galerias inclinadas, a medição devesse ocorrer segundo a linha de maior declividade. No caso de curvas acentuadas, por outro lado, as medidas deveriam ser tomadas aproximadamente nas porções centrais das mesmas, de acordo com o raio de curvatura do conduto. É claro que a identificação do “eixo da galeria” nem sempre é fácil, e por isto a grande maioria dos desenvolvimentos medidos no Brasil (e provavelmente no mundo) adotam o conceito menos rigoroso do “caminhamento da topografia”. Neste caso, basta obter o total medido em trena, seja na própria caderneta de campo ou através de programas de computador. Fica evidente que o desenvolvimento linear obtido desta forma pode seguir um trajeto muito descolado do eixo da galeria, zigzagueando por entre blocos abatidos, saltando de uma margem a outra de um rio ou evitando trechos de teto mais baixo, seguindo a tendência natural de uma equipe de mapeamento, que sempre procura os locais mais convenientes para marcar as bases. Em alguns casos, portanto, o desenvolvimento linear resulta em valores muito superiores aos obtidos pelo método mais conservador da projeção horizontal. O desenvolvimento linear, entretanto, reflete o caminhamento real da



equipe quando do mapeamento, muito embora diferentes equipes muito provavelmente venham a adotar caminhamentos diferentes.

Infelizmente algumas medidas de desenvolvimento linear reportadas na literatura espeleológica brasileira têm sido obtidas de forma pouco criteriosa. Por vezes, medidas de irradiação ou de poligonal fechada são incorporadas ao desenvolvimento final da caverna. Esta forma, um tanto quanto “relaxada” de se obter a extensão de uma cavidade muito provavelmente ocorra em outras cavidades brasileiras de menor porte, as quais seriam passíveis de detecção apenas se submetidas a rigorosas medições através do método da projeção horizontal.

3.2.6 As maiores cavernas e dimensões notáveis

O Brasil é um país rico em diversidade paisagística. Podemos encontrar cenários distintos como florestas, desertos, cadeias de montanhas e praias ao longo dos seus 8.514.876 km². E com as grutas não poderia ser diferente. Praticamente todos os Estados brasileiros possuem cavernas e, quase todas as litologias onde é possível se formar cavidades, encontram exemplos notáveis em nosso território. Só para se ter uma idéia da importância do patrimônio espeleológico do Brasil, uma das maiores grutas do mundo (18º - Toca da Boa Vista) está situada no sertão da Bahia. O maior desnível em caverna de quartzito fica no Amazonas (Abismo Gui Collet) e a segunda mais extensa cavidade nesta litologia é a Gruta do Centenário, em Minas Gerais. Além disso, também detemos o recorde mundial para cavernas em canga além de várias cavidades notáveis pela grandiosidade de suas galerias, beleza cênica ou importância científica. E se analisarmos as áreas com potencial para novas descobertas, percebemos que ainda há muito a ser revelado, principalmente quando falamos de litologias não carbonáticas como os quartzitos, arenitos, minério de ferro e granito.

Contudo as diferenças existentes entre as várias regiões do país indicam que os estudos comparativos da morfologia das cavidades devem ser

de feito de forma cuidadosa e com critérios bem definidos. A maior caverna do Rio Grande do Sul (Gruta do Salto Ventoso), por exemplo, possui somente 250 metros de extensão. Se comparada com as grutas da Bahia, percebemos que este estado possui pelo menos 50 cavidades quatro vezes maiores que isso, ou seja, com mais de 1 km de extensão. Mas isso não significa que a sua importância seja menor, principalmente se analisada sob a ótica regional. Ela é a maior cavidade de uma região cárstica e a sua importância neste contexto é a mesma que a Toca da Boa Vista tem no estado da Bahia.

Ao analisarmos outras litologias as diferenças são ainda mais acentuadas. A maior caverna em minério do ferro do Mundo não seria digna de destaque se comparada com a extensão das grutas de calcário de vários estados brasileiros. E o mesmo se aplica ao analisarmos os volumes, desnível e outros aspectos espeleométricos.

3.3 Referências bibliográficas

AULER, A.; RUBBIOLI, E.; BRANDI, Roberto. **As Grandes Cavernas do Brasil**. Belo Horizonte: Grupo Bambuí de Pesquisas Espeleológicas, 2001. 227p.

BARROS, R.S.; CRUZ, C.B.M.; REIS, R.B.; COSTA JÚNIOR, N.A. Avaliação do modelo digital de elevação do SRTM na ortorretificação de imagens Landsat 7 – Área de aplicação: Angra dos Reis – RJ. In: **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO**, XII., 2005, Florianópolis. Anais... São Paulo: INPE, P.3997-4004, 2005.

CECAV. **Orientações básicas aos órgãos licenciadores de meio ambiente para a realização de estudos espeleológicos**. Brasília: CECV/ICMBio, 2009. Disponível em: <http://www4.icmbio.gov.br/cecv/index.php?id_menu=256>. Acesso em 29 jun. 2010.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS - CPRM. **Levantamento geológico da região de Sete Lagoas - Lagoa Santa - MG, escala 1:50.000**. Belo Horizonte: CPRM, . [Relatório interno/inédito/Projeto Vida], 1992.

_____. **Espeleologia: inventário de cavidades naturais, região de Matozinhos - Mocamboiro**. Belo

Horizonte: CPRM, v.1 [Projeto Vida], 1995.

_____. **Espeleologia**: inventário de cavidades naturais, região de Matozinhos - Mocambeiro. Belo Horizonte: CPRM, v.2 [Projeto Vida, Inédito], 1995.

_____. **Mapa geomorfológico da APA Carste de Lagoa Santa – MG**; organizado por Helio Antonio de Sousa. - Belo Horizonte: IBAMA/CPRM, (Série APA Carste de Lagoa Santa - MG), 1998g.

CVANCARA, A. M. **A field manual for the amateur geologist: tools and activities for exploring our planet**. 2.ed.San Francisco: Jossey-bass, 1995. 335p.

PARMA, G. C. Processamento de imagem ASTER para obtenção do MDE e da imagem ortorretificada do Município de Palhoça, SC, Brasil. In: **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO**, XIII., 2007, Florianópolis. Anais... São Paulo: INPE, P.6019-6026, 2007.

RUBBIOLI, E.; MOURA, V. **Mapeamento de Cavernas – Guia Prático**. Belo Horizonte, Redespeleo Brasil, 2005. 93p.

SANCHEZ, L. E. **Avaliação de impacto ambiental: conceitos e métodos**. São Paulo, Oficina de Textos, 2006. 495p.

3.4 Agradecimentos

Luciana Alt – geoprocessamento e discussões sobre metodologia utilizada em prospecções espeleológicas.

Luís B. Piló, Thiago Lima e Roberto Casimiro – discussões sobre metodologia utilizada em prospecções espeleológicas.

Anexo 1 – Os números da espeleologia

Número de cavernas por estado (fonte: www.icmbio.gov.br/cecav)

REGIÃO	ESTADO	Nº CAV.
SUL	Rio Grande do Sul	7
	Santa Catarina	7
	Paraná	266
SUDESTE	São Paulo	441
	Minas Gerais	2.284
	Espírito Santo	8
	Rio de Janeiro	22
NORTE	Amazonas	7
	Pará	467
	Rondônia	13
	Roraima	
	Acre	
	Tocantins	547
	Amapá	
CENTRO-OESTE	Mato Grosso do Sul	151
	Mato Grosso	273
	Goiás	689
	Distrito Federal	48
NORDESTE	Bahia	435
	Sergipe	11
	Alagoas	
	Paraíba	5
	Pernambuco	2
	Rio Grande do Norte	267
	Maranhão	9
	Ceará	43
	Piauí	38
TOTAL		6.040

Anexo 1 – Os números da espeleologia - continuação

Maiores cavernas do Brasil

	Cavidade	Município	UF	Proj. Horiz
1	Toca da Boa Vista	Campo Formoso	BA	106.500
2	Toca da Barriguda	Campo Formoso	BA	33.300
4	Lapa Doce II	Iraquara	BA	16.500
3	Gruta do Padre	Santana/St. M. Vitória	BA	16.400
5	Boqueirão	Carinhanha	BA	15.170
6	Lapa do Angêlica	São Domingos	GO	14.100
7	Gruna da Água Clara	Carinhanha	BA	13.880
8	Lapa do São Mateus III	São Domingos	GO	10.610
9	Lapa de São Vicente I	São Domingos	GO	10.130
10	Lapa Doce I	Iraquara	BA	10.000
11	Lapa Convento	Campo Formoso	BA	9.200
12	Gruta Olhos D`água	Itacarambi	MG	9.100
13	Lapa dos Peixes	Carinhanha	BA	8.800
14	Gruna do Enfurnado	Coribe	BA	8.400
15	Lapa do Bezerra	São Domingos	GO	8.250
16	Gruta da Torrinha	Iraquara	BA	8.210
17	Lapa Sem Fim	Luislândia	MG	7.800
18	Lapa da Terra Ronca II - Malhada	São Domingos	GO	7.500
19	Gruna da Tarimba	Mambaí	GO	7.305
20	Gruta da Bananeira	Santana/St. M. Vitória	BA	7.000
21	Lapa dos Brejões I	Irece / M. Chapéu	BA	6.410
22	Gruta da Tapagem	Eldorado	SP	6.237
23	Lapa do São Bernardo - Palmeiras	São Domingos	GO	5.610
24	Gruta das Areias de Cima	Iporanga	SP	5.565
25	Lapa do São Mateus II / Imbira	São Domingos	GO	5.300
26	Gruna das Três Cobras	Ramalho	BA	5.300
27	Buraco do Cão-Talhão	Seabra	BA	5.200
28	Caverna de Santana	Iporanga	SP	5.040
29	Gruta Areado Grande III	Apiaí	SP	5.000
30	Gruta Azul - Pratinha	Iraquara	BA	5.000

Anexo 1 – Os números da espeleologia - continuação
Maiores cavernas do Mundo (fonte: www.caverbob.com)

	Cavidade	País	Extensão
1	Mammoth Cave System	U.S.A.	590.629
2	Jewel Cave	U.S.A.	233.081
3	Optymistychna (Optimisticeskaja)	Ukraine	230.140
4	Wind Cave	U.S.A.	214.429
5	Lechuguilla Cave	U.S.A.	206.946
6	Hoelloch	Switzerland	195.914
7	Fisher Ridge Cave System	U.S.A.	181.663
8	Sistema Ox Bel Ha	Mexico	180.038
9	Sistema Sac Actun (Nohoch Nah Chich)	Mexico	175.721
10	The Clearwater System (Gua Air Jerneh)	Malaysia	175.664
11	Siebenhengste-hohgant Hoehlensystem	Switzerland	156.000
12	Schoenbergssystem	Austria	130.190
13	Ozernaja	Ukraine	123.191
14	Bullita Cave System (Burke's Back Yard)	Australia	120.400
15	Shuanghe Dongqun	China	119.792
16	Sistema del Mortillano	Spain	114.000
17	Systeme de Ojo Guarena	Spain	110.000
18	Toca da Boa Vista	Brasil	107.000
19	Reseau Felix Trombe / Henne-Morte	France	105.767
20	Sistema del Gandara	Spain	103.558
21	HirlatzHoehle	Austria	97.280
22	Sistema Purificacion	Mexico	93.755
23	Sistema del Alto Tejuelo	Spain	92.883
24	Zolushka	Moldova/Ukraine	90.200
25	Gouffre de la Pierre Saint Martin	France / Spain	80.200
26	Easegill System	United Kingdom	75.000
27	Friars Hole Cave System	U.S.A.	73.288
28	Ogof Draenen	United Kingdom	70.000
29	Barenschacht	Switzerland	68.000
30	Reseau de l'Alpe	France	67.272

Anexo 1 – Os números da espeleologia - continuação

Dimensões notáveis

MAIORES SALÕES EM ÁREA (m²)

1	Salão do Coliseu	Garganta do Bacuparí	São Desidério (BA)	25.330
2	Salão do Canion	Gruta dos Brejões I	Irecê/M. do Chapéu (BA)	19.900
3	Salão da Clarabóia	Gruta dos Brejões I	Irecê/M. do Chapéu (BA)	19.700
4	Salão Caatinga	Toca da Barriguda	Campo Formoso (BA)	16.400
5	Salão dos Namorados	Terra Ronca II/Malhada	São Domingos (GO)	16.100
6	Salão Bitelo	Toca da Barriguda	Campo Formoso (BA)	16.000
7	Salão Desidério	B. do Inferno da Lagoa do Cemitério	São Desidério (BA)	14.730
8	Lago do Cruzeiro	B. do Inferno da Lagoa do Cemitério	São Desidério (BA)	12.860
9	Salão do Abatimento	Gruta da Água Suja	Iporanga (SP)	11.930
10	Salão Principal	Gruta da Laje Branca	Iporanga (SP)	11.860
11	Salão do Lago (1). Medição referente ao fundo do lago	Poço Encantado	Itaetê (BA)	11.300 ⁽¹⁾

Maior salão do mundo em área - Sarawak Chamber (Lubang Nasib Bagus, Malásia): 162.700 m²

MAIORES SALÕES EM VOLUME (m³)

1	Salão do Lago	Poço Encantado	Itaetê (BA)	320.000
2	Salão do Abatimento	Gruta da Água Suja	Iporanga (SP)	280.000
3	Salão Principal	Gruta da Laje Branca	Iporanga (SP)	170.000

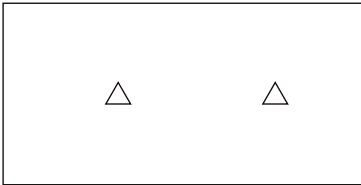
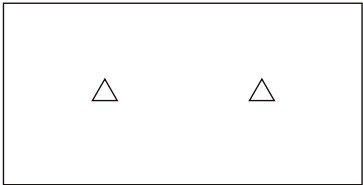
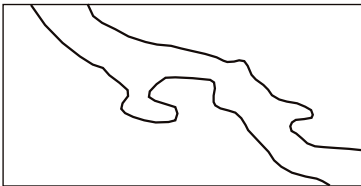
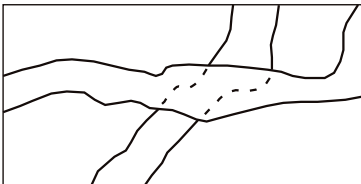
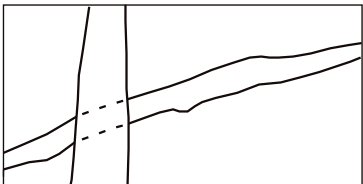
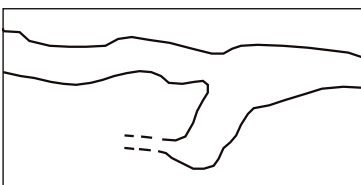
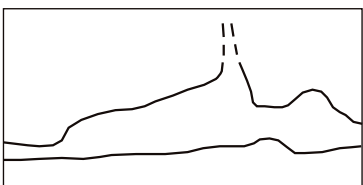
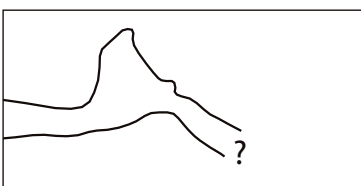
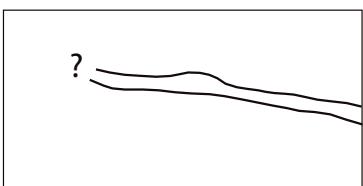
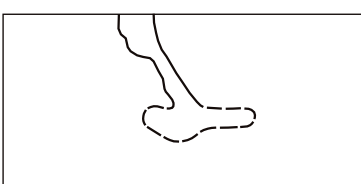
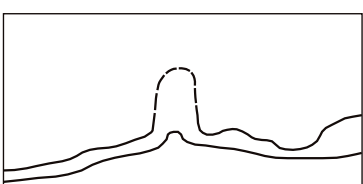
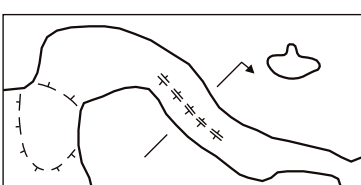
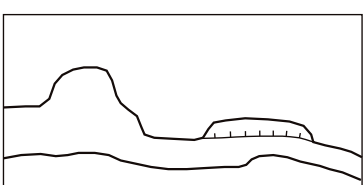
Maior salão do mundo em volume - Sarawak Chamber (Lubang Nasib Bagus, Malásia): 12.000.000 m³

MAIORES LAGOS SUBTERRÂNEOS EM ÁREA (m²)

1	Lago do Cruzeiro	B. do Inferno da Lagoa do Cemitério	São Desidério (BA)	12.860
2	Poço Encantado	Poço Encantado	Itaetê (BA)	3.670

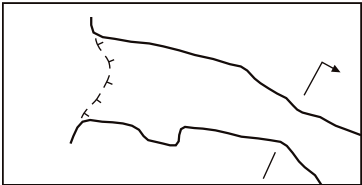
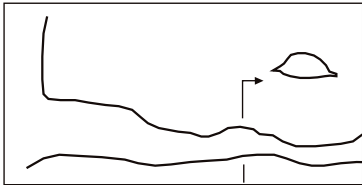
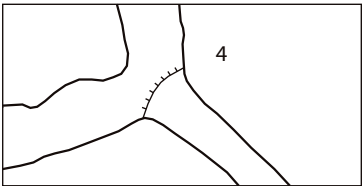
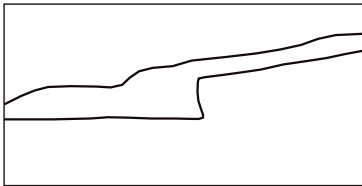
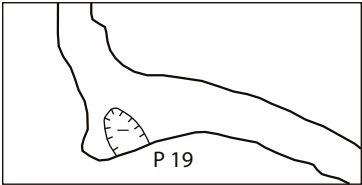
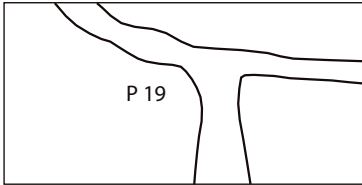
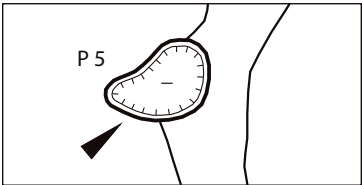
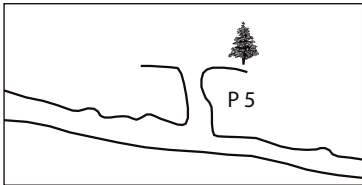
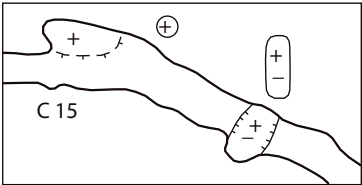
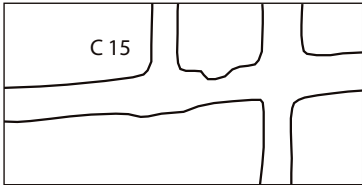
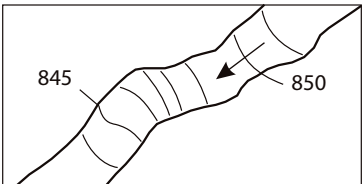
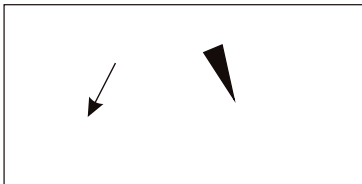
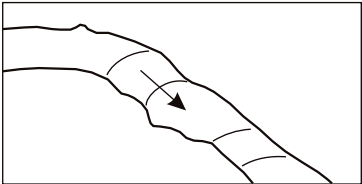
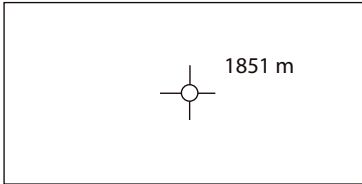
Maior lago subterrâneo do mundo em área – Drachenhauchloch (Namíbia): 24.770 m²

Anexo 2 – Simbologia de caverna da UIS: A lista definitiva (1999)

	Planta	Perfil
Bases topográficas		
Contorno da galeria		
Passagem inferior		
Continuação estreita		
Continuação possível		
Dimensão presumida		
Formação do teto		

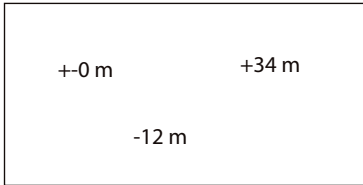
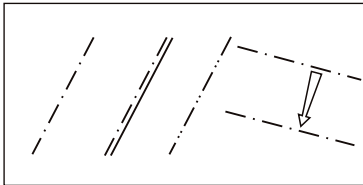
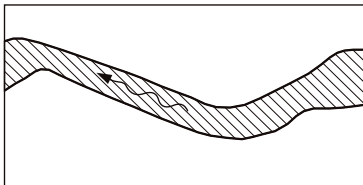
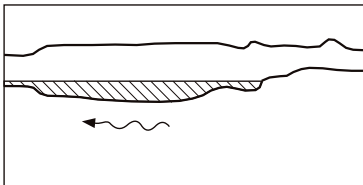
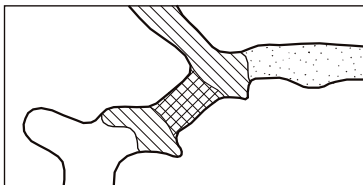
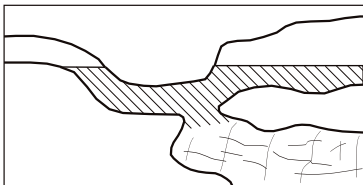
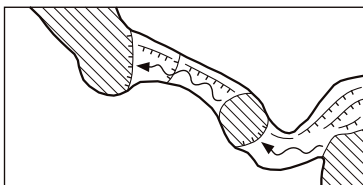
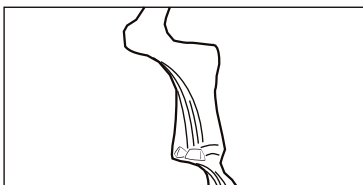
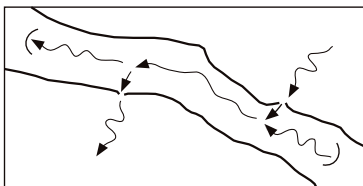
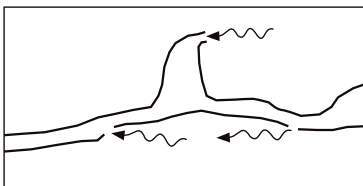
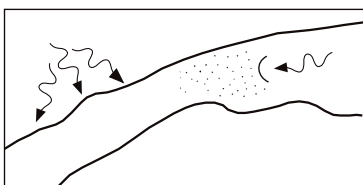
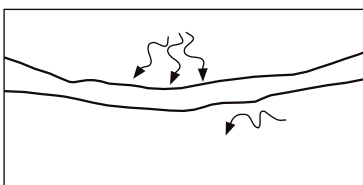
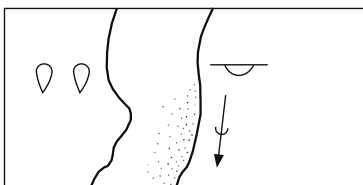
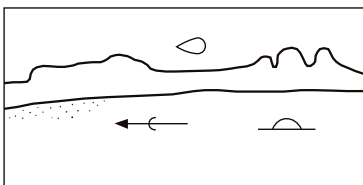
[Http://www.carto.net/neumann/caving/cave-symbols/](http://www.carto.net/neumann/caving/cave-symbols/)

Anexo 2 – Simbologia de caverna da UIS: A lista definitiva (1999) - continuação

	Planta	Perfil
Linha de gotejamento - Perfil		
Degraus		
Abismo		
Abismo aberto na superfície		
Chaminé/Chaminé-Abismos		
Curva de nível Seta de gradiente Seta de entrada		
Linhas de gradiente Altitude em relação ao nível do mar		

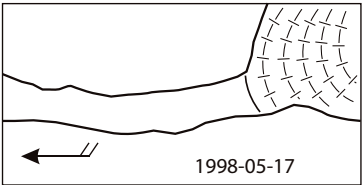
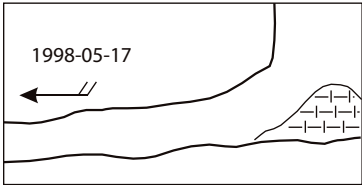
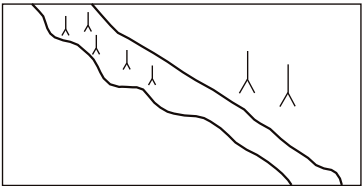
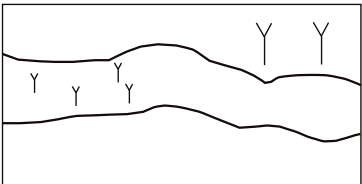
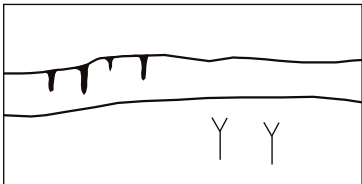
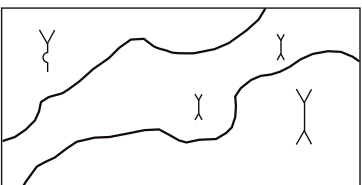
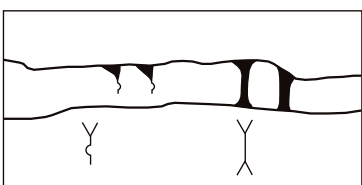
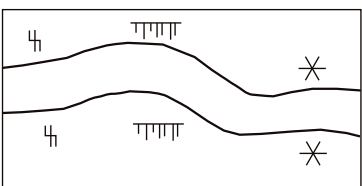
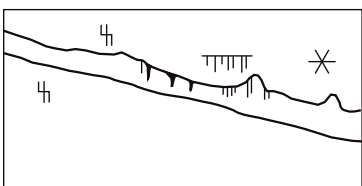
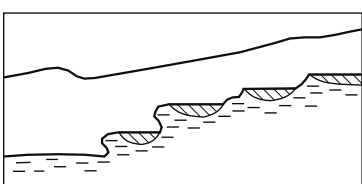
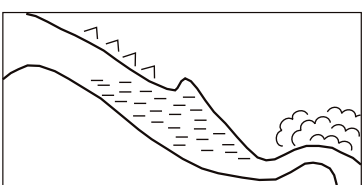
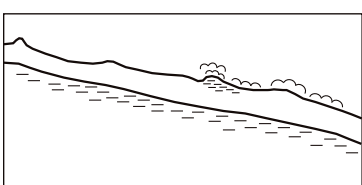
[Http://www.carto.net/neumann/caving/cave-symbols/](http://www.carto.net/neumann/caving/cave-symbols/)

Anexo 2 – Simbologia de caverna da UIS: A lista definitiva (1999) - continuação

	Planta	Perfil
Diferença de Elevação Fratura/Falha/Junta/Junta estratificada/Fratura inclinada		
Lago/Curso d'água		
Sifão		
Cachoeira - Cascata		
Nascente/Sumidouro		
Infiltração		
Scallops/Marmitas Direção do Paleo-fluxo		

[Http://www.carto.net/neumann/caving/cave-symbols/](http://www.carto.net/neumann/caving/cave-symbols/)

Anexo 2 – Simbologia de caverna da UIS: A lista definitiva (1999) - continuação

	Planta	Perfil
Corrente de ar/Gelo Neve - Geada		
Estalagmite		
Estalactite		
Cortinas/Colunas		
Helectites/Canudos Cristais (Flores)		
Travertino		
Concreção/Escorrimento Leite de lua		

[Http://www.carto.net/neumann/caving/cave-symbols/](http://www.carto.net/neumann/caving/cave-symbols/)

Anexo 2 – Simbologia de caverna da UIS: A lista definitiva (1999) - continuação

	Planta	Perfil
Norte Geográfico e Cartesiano Norte Magnético		
Blocos/Entulho		
Seixos		
Sedimento Clástico: Areia - Silte - Argila - Humus		
Parede coberta de Argila		
Guano		
Acampamento		

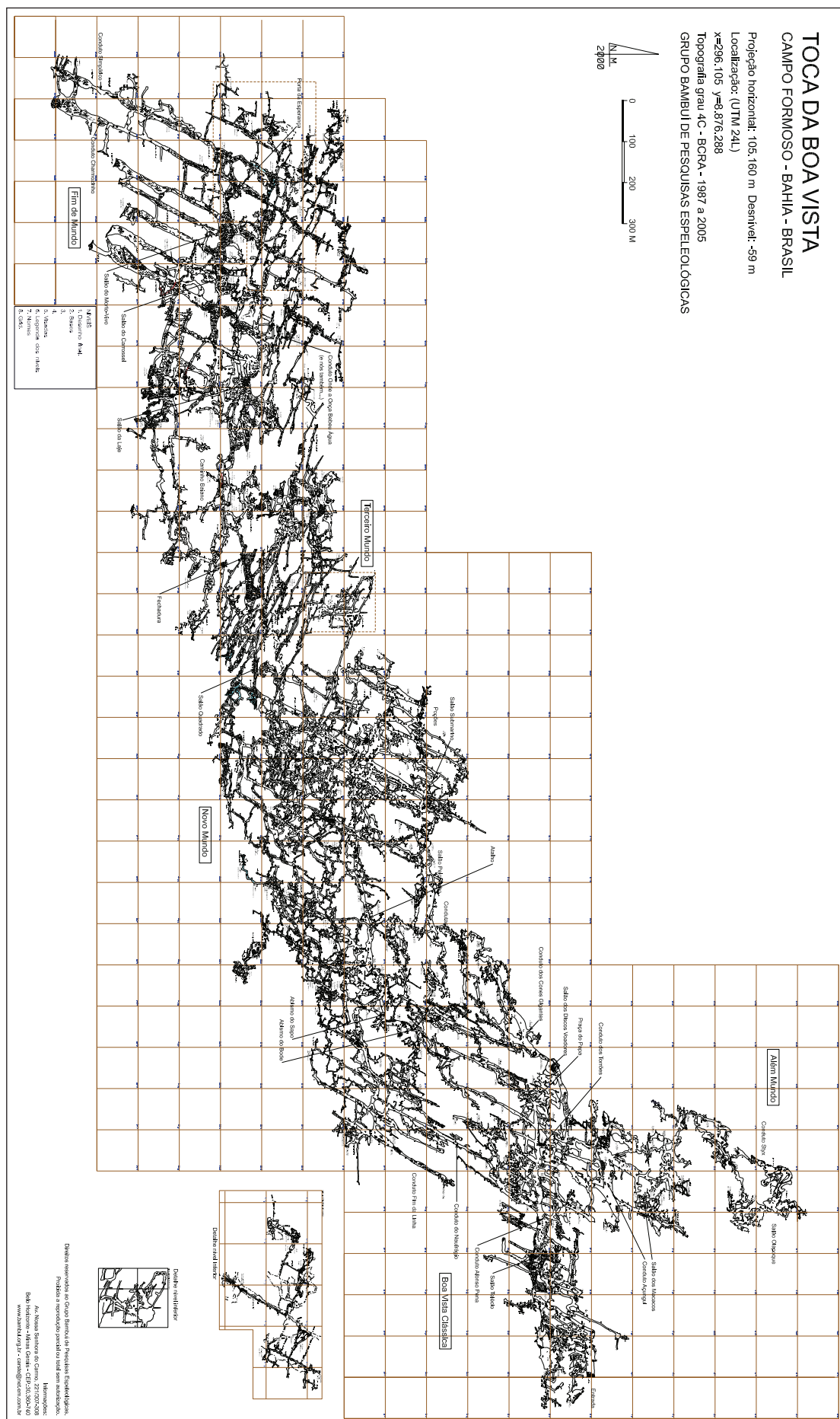
[Http://www.carto.net/neumann/caving/cave-symbols/](http://www.carto.net/neumann/caving/cave-symbols/)

Anexo 2 – Simbologia de caverna da UIS: A lista definitiva (1999) - continuação

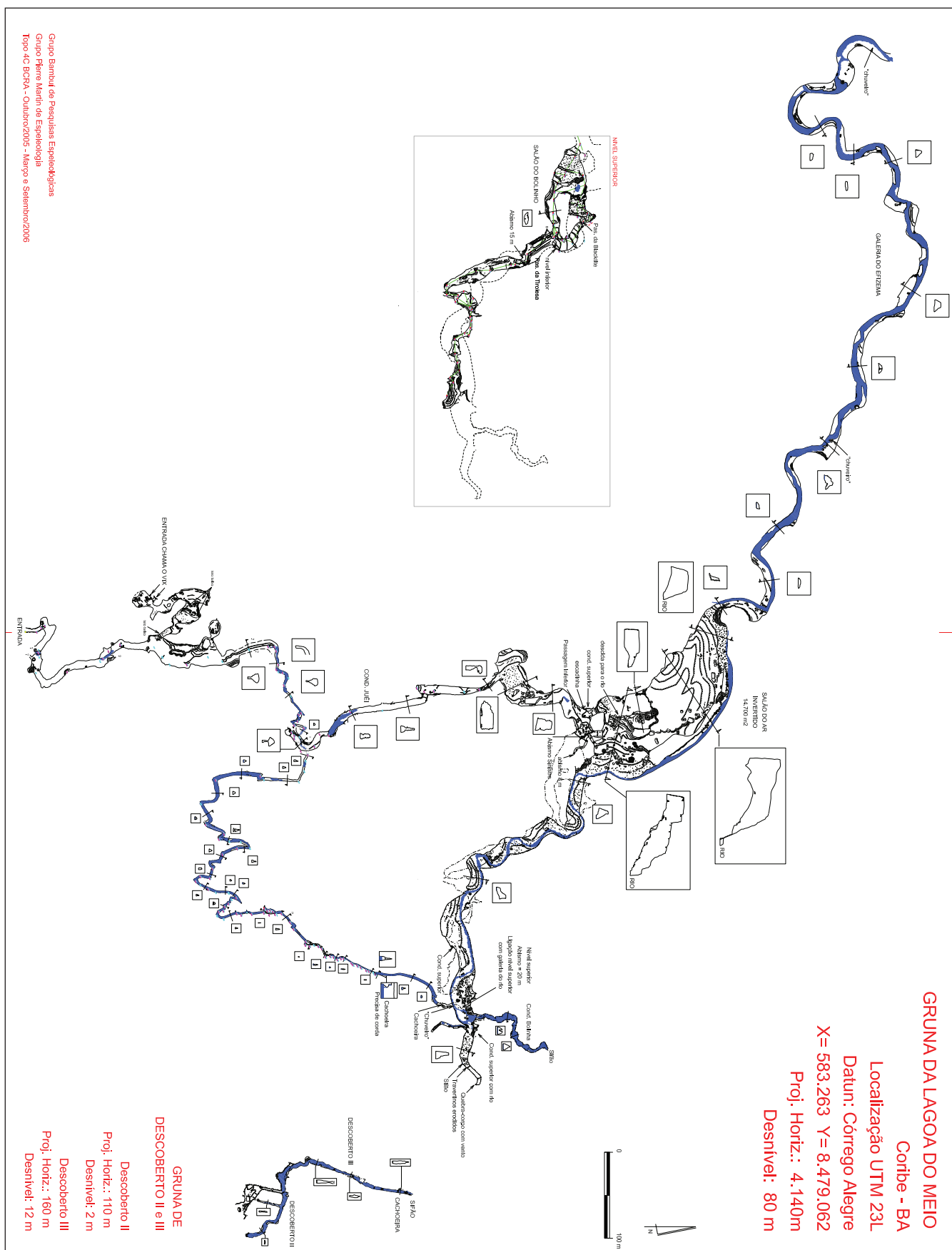
	Planta	Perfil
Anastomose/Lapiás		
Couve-flor/Disco		
Ossos		
Atividade Humana		
Altura do salão/galeria		

[Http://www.carto.net/neumann/caving/cave-symbols/](http://www.carto.net/neumann/caving/cave-symbols/)

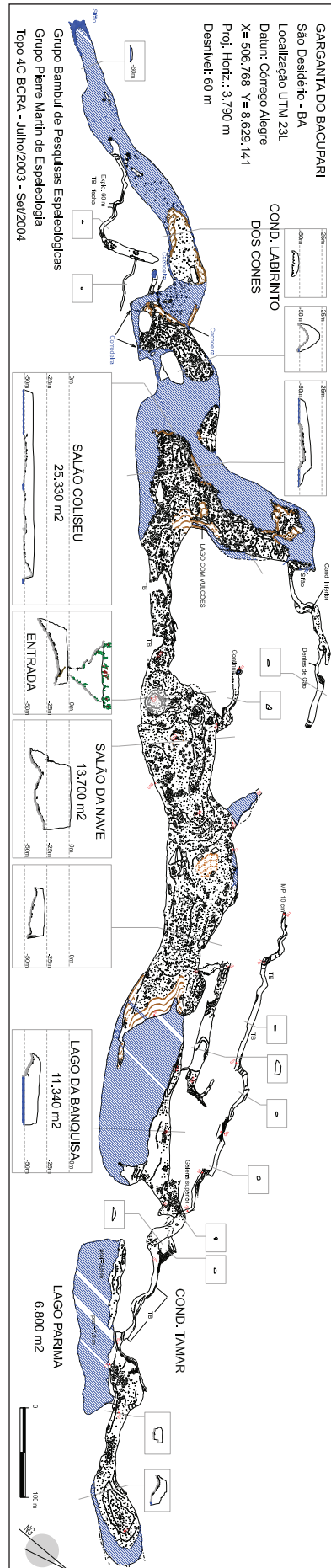
Anexo 3 – Mapas



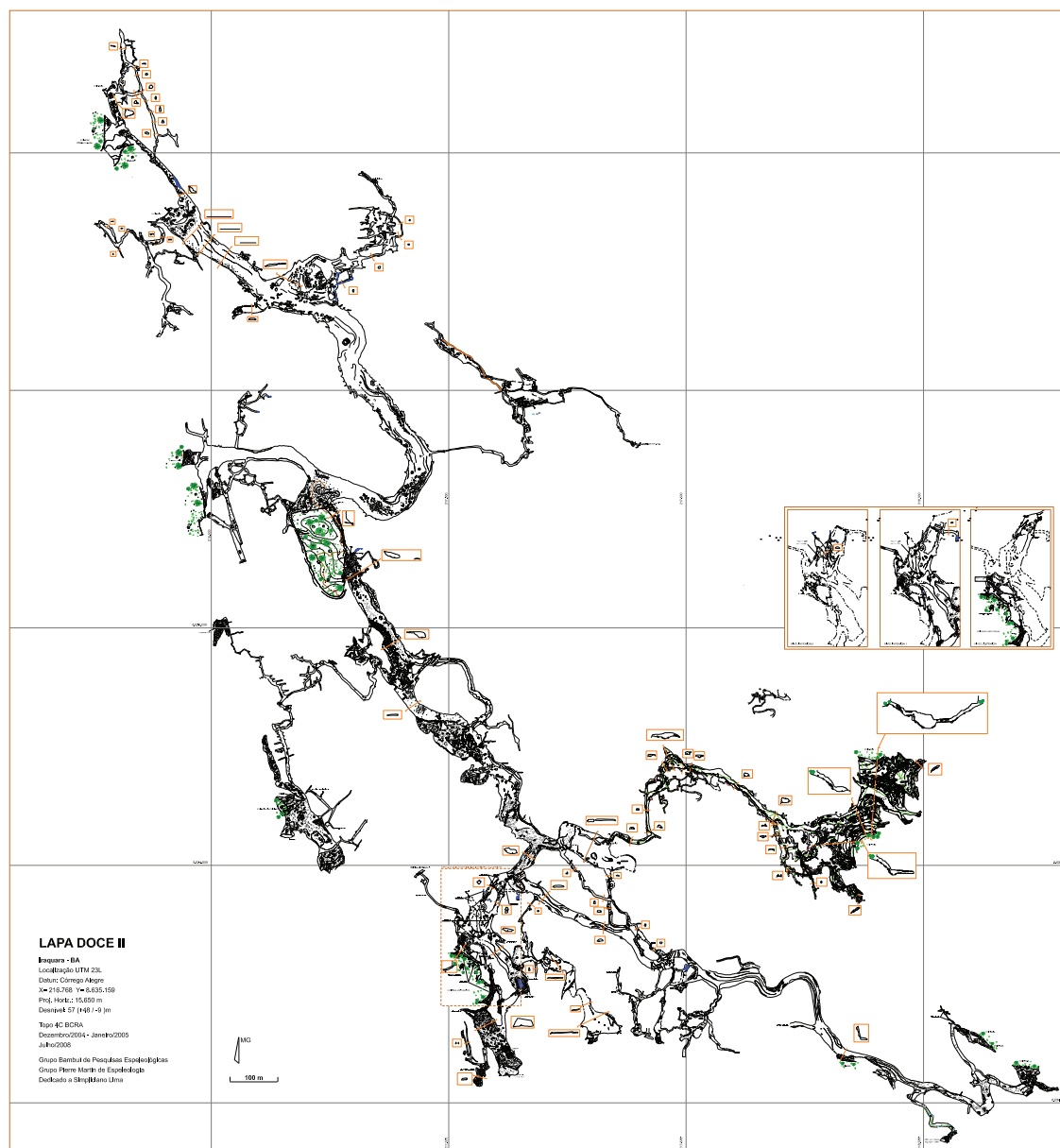
Anexo 3 – Mapas - continuação



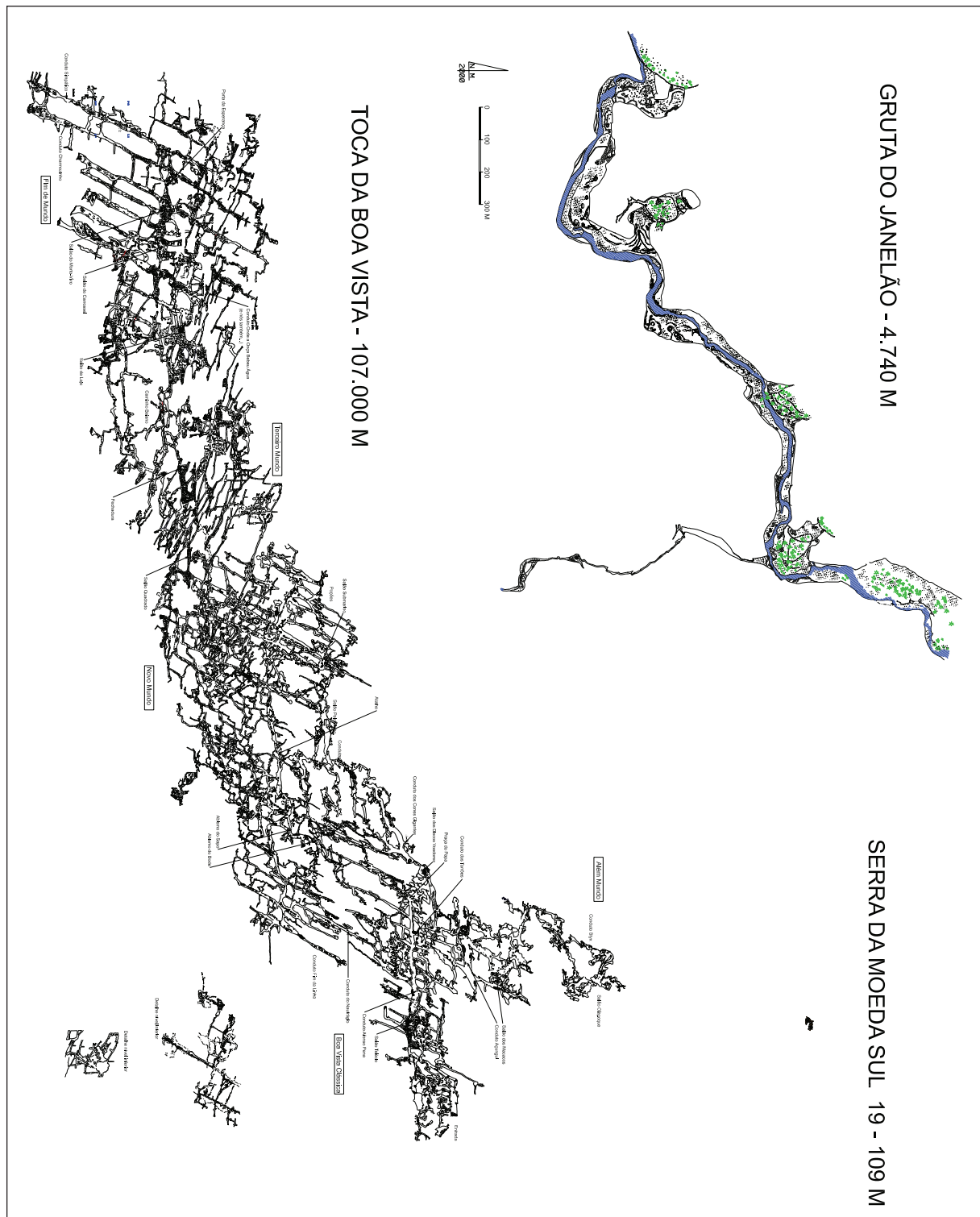
Anexo 3 – Mapas - continuação



Anexo 3 – Mapas - continuação



Anexo 3 – Mapas - continuação



4 BIOLOGIA SUBTERRÂNEA: CONCEITOS GERAIS E APLICAÇÃO NA INTERPRETAÇÃO E ANÁLISE DE ESTUDOS DE IMPACTO AMBIENTAL

RODRIGO LOPES FERREIRA

UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS

4.1 Cavernas: gênese e relevos associados

As cavernas, ou cavidades naturais subterrâneas, podem ser compreendidas como componentes de um sistema geológico denominado carste. Este sistema é caracterizado como um complexo dinâmico em constante modificação, principalmente pela ação da água que atua na formação, na moldagem e na deposição de variadas feições. Tal relevo desenvolve-se, principalmente, em rochas mais solúveis, como as de natureza carbonática (por exemplo, calcário e dolomito). Entretanto, tal relevo pode se desenvolver, mesmo em rochas menos solúveis, como quartzitos, granitos e basalto, dentre outras (Palmer, 1991, Sanchez 1992; Gilbert et al., 1994; Gillieson, 1996; Kohler, 2001).

O carste é, portanto, a unidade funcional de um emaranhado de aquíferos, em bacia de drenagem, com entrada e saída de água fluvial ou pluvial. A gênese e a evolução de uma paisagem cárstica dependem do padrão estrutural, do grau de solubilidade da rocha e da ação de fluxos de água, associados às características ambientais que determinam o funcionamento geológico e biológico de ambientes subterrâneos (Gilbert et al., 1994; Palmer, 1991, Sanchez, 1992). As feições cársticas são todas as formas de relevos ativos elaborados, sobretudo pelos processos de corrosão química e de abatimento (Kohler, 2001). Feições pseudocársticas são aquelas em que o processo dominante não é a dissolução da rocha ou processos de abatimentos, como cavernas de origem vulcânica, de depressões fechadas de origem glacial ou de movimentos tectônicos (Gillieson, 1996).

A morfologia cárstica abrange feições de dissolução (destrutivas), compreendendo formas superficiais (exocarste) e formas subterrâneas (endocarste).

No entanto, existem também feições construtivas, como os chamados espeleotemas, que compreendem quaisquer depósitos químicos formados no interior de cavernas. As formações exocársticas incluem formas como poliés, dolinas, maciços, torres, mogotes, lapiás e também formas fluviocársticas, tais como vales cegos, sumidouros, ressurgências, vales secos e cânions. Já o endocarste compreende uma considerável quantidade e variedade de cavidades subterrâneas, que se desenvolvem associadas às rochas (Kohler, 2001). Além disso, como compartimento intermediário, encontra-se epicarste, que corresponde, em geral, a um extenso volume subsuperficial que consiste de uma zona de intercâmbio entre o solo úmido e a rocha. Esse ambiente pode apresentar um sistema heterogêneo de fendas nas quais é retida a água proveniente da chuva por tempos variáveis, formando-se, assim, um aquífero suspenso (Camacho, 1992). Tal aquífero alimenta o gotejamento do teto das cavernas e é responsável, em grande parte, pela formação de espeleotemas e pela alimentação de muitos tributários vadosos (Trajano & Bichuette, 2006).

Lapiás são caneluras que sulcam o plano da rocha por meio de variados padrões, referindo-se aos mais recentes processos de corrosão de uma superfície cárstica. Poliés são caracterizados como depressões fechadas formando uma grande planície de corrosão que pode alcançar centenas de quilômetros; apresentam um fundo plano atravessado por um fluxo contínuo de água. Já as dolinas são depressões menores, geralmente de configurações circulares ou elípticas. Quando há uma união entre duas ou mais dolinas, forma-se, então, uma uvala. Os maciços diferenciam-se por serem grandes planaltos cársticos de centenas de quilômetros de extensão, com paredões recobertos por campos de lapiás, limitando, assim, as superfícies erosivas. Por fim, os mogotes e torres, assim como os maciços, são relevos positivos que compreendem morros residuais ou testemunhos de algumas dezenas de metros de altitude (Kohler, 2001).

O fluviocarste caracteriza-se por um curso de água com trechos em superfície e outros subterrâneos que direcionam a funcionalidade do carste. A água flui em um leito pelo vales cegos fechados, onde uma zona de recarga desaparece, através de um sumidouro, para tornar-se subterrânea, aflorando novamente em um ponto de descarga, por meio de nascentes ou ressurgências (Auler et al., 2001; Kohler, 2001; Camacho, 1992).

Dentro do ambiente subterrâneo, o curso d'água pode reaparecer, sendo assim denominado surgência. O fluviocarste aloja acima de seu nível atual, feições fósseis, não funcionais, como vales suspensos, cavernas e abrigos. Entre esses vazios endocársticos, as cavernas são os mais significativos (Kohler, 2001).

Geralmente, as cavernas iniciam sua formação na zona freática, área de infiltração vertical, onde a água inunda totalmente as fissuras da rocha, provocando a dissolução do perímetro dos condutos (zona de saturação). O rebaixamento natural do lençol freático permite a entrada de ar nesses espaços subterrâneos, caracterizando o início de processos vadosos, que continuam atuando na solubilização da rocha, entretanto, agora de forma direcional (determinada pela convergência dos fluxos de água subterrâneos). Cavernas vadosas podem ser percorridas por rios, mas a água não ocupa todo o perímetro da galeria. Nestes casos, haverá tendência de que o conduto seja escavado para baixo. Eventualmente, a caverna pode se tornar seca e se aproximar da superfície, sendo destruída pela erosão (Auler & Zogbi, 2005; Camacho, 1992).

As cavernas formadas na zona freática apresentam morfologia labiríntica, de formação lenta e circulação irregular, enquanto as cavernas vadosas apresentam fluxo direcional de água a partir de canais de convergência, geralmente com condutos únicos de morfologia meândrica ou submeândrica. Portanto, a morfologia dos condutos é controlada por uma hierarquia de influências, tais como localização, extensão, grau de solubilidade da rocha, distância entre ponto de recarga e descarga, distribuição do fluxo freático e vadoso e história morfo-dinâmica (Palmer, 1991; Guano Speleo, 2004).

Estima-se que o potencial espeleológico brasileiro possa superar mais de 100.000 cavernas (Auler, 2001), contudo, cerca de 7.000 encontram-se cadastradas (Auler, 2006). Minas Gerais abriga boa parte da maior província espeleológica brasileira (Grupo Carbonático Bambuí), fazendo com que este seja o estado que possui o maior número de cavernas. Grande parte delas localiza-se em áreas calcárias que sofrem grande pressão por parte de empresas mineradoras em função da utilização do carbonato de cálcio para a fabricação de cimento (Piló, 1999; Ferreira, 2004; Machado & Ferreira, 2005). Além de cavernas calcárias, em Minas também é encontrada formação de cavidades naturais em rochas, como quartzito, minério de ferro, arenito, granito e gnaiss, dentre outras, também ameaçadas, principalmente, por atividades de mineração e turismo.

4.2 O ambiente subterrâneo

Os ambientes subterrâneos compreendem extensas redes de espaços de diferentes dimensões e graus distintos de conectividade (Figura 4.1). As cavernas (macrocavernas), nesta perspectiva, compreendem somente os espaços de maior volume e dimensão, capazes de serem acessados pelo homem. No entanto, inúmeros organismos (especialmente invertebrados) são capazes de circular e mesmo estabelecer populações viáveis em espaços menores, como interstícios e fendas na rocha ou em seu contato com o solo. Desta forma, existe, desde a superfície até o interior de uma caverna, uma sucessão de habitats subterrâneos que se apresentam em diferentes configurações.

O primeiro tipo de “compartimento” de habitat compõe os chamados espaços intersticiais do solo, composto por pequenas fissuras e rachaduras associadas ao manto de intemperismo. Tal conjunto de habitats pode ser denominado **compartimento endógeno**, sendo acessado principalmente por organismos edafobiontes (que vivem no solo), que podem tanto acessar estes habitats por meio de suas minúsculas descontinuidades ou mesmo ativamente, por meio da escavação direta do solo (no caso de organismos fossoriais). O solo profundo, ao aproximar-se da rocha de embasamento, pode

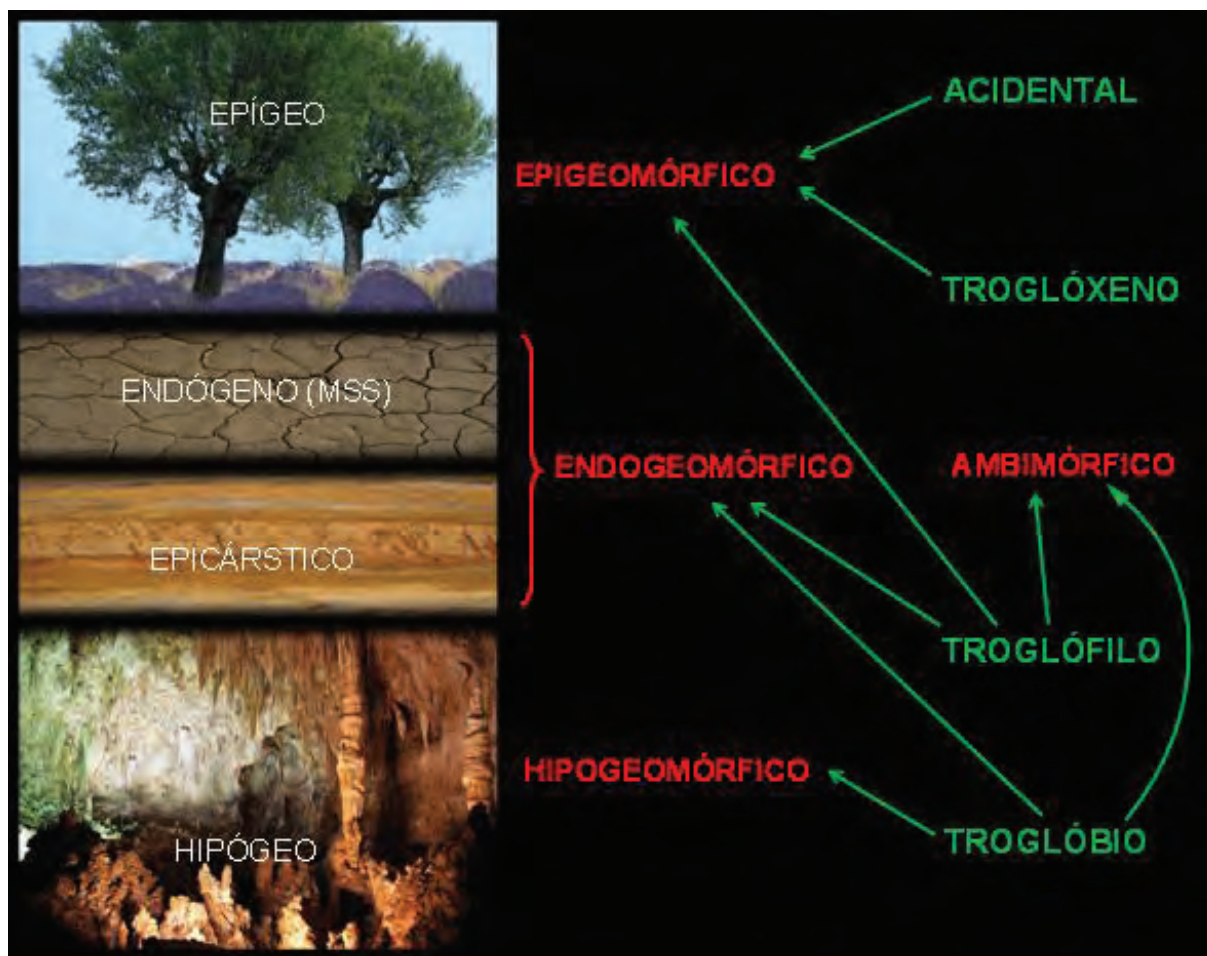


Figura 4.1: “Compartimentos” de habitats desde o sistema epígeo até uma macro-caverna. Em vermelho, as categorias de morfologia diferenciada mais frequentemente associada a cada compartimento e, em verde, as categorias ecológico-evolutivas de organismos associadas às suas morfologias preferenciais (ou mais frequentemente encontradas).

mesclar-se a um conjunto de fendas de maior calibre conformadas por descontinuidades na rocha ou mesmo espaços existentes entre blocos de rocha oriundos da própria fragmentação da porção mais superficial da rocha. Tal região, onde existe este contato do solo com rochas fragmentadas, recebe o nome de **meio subterrâneo superficial (MSS)**, que compõe uma variedade importante de habitats para inúmeras espécies. A rocha encaixante, por sua vez, pode possuir espaços gerados por descontinuidades da própria rocha que foram sendo progressivamente expandidos pela lenta ação da água solubilizando a rocha. Muitos destes espaços (em geral de volumes reduzidos) são capazes de estocar a água das chuvas que lentamente vão se escoando para porções mais profundas das rochas. Muitas vezes, estes habitats (diretamente associados

às rochas encaixantes) mantêm-se encharcados ou bastante úmidos por todo o ano, possibilitando o estabelecimento de diferentes populações (principalmente de invertebrados). Tal conjunto de habitats constitui o chamado epicarste. Alguns estudos realizados nos últimos anos têm revelado comunidades ricas, muitas vezes formadas por populações de espécies altamente especializadas a este modo de vida. Finalmente, os grandes espaços subterrâneos localizados sob esta região **epicárstica**, compreendem as chamadas macro-cavernas, podendo, este, ser considerado o habitat mais tipicamente **hipógeo**.

Cada um destes compartimentos possui características distintas, que, por sua vez, geram pressões seletivas diferenciadas que continuamente atuam sobre as populações das espécies residentes. Desta

forma, ao longo do tempo, a evolução vem produzindo morfologias que foram diferencialmente selecionadas em cada um destes compartimentos de habitats. A morfologia corpórea predominantemente encontrada em espécies de superfície, denominada **epigeomórfica**, compreende basicamente a elevada pigmentação tegumentar (primariamente como forma de proteção contra a radiação solar, e secundariamente como estratégias de atração sexual, aposematismo, camuflagem, dentre outras) e a manutenção de estruturas oculares bem desenvolvidas (já que a luz é uma importante pressão seletiva presente). Nos compartimentos endógenos e epicársticos, predomina uma morfologia denominada **endogeomórfica**, que se caracteriza pela redução das estruturas oculares e da pigmentação tegumentar (já que nestes compartimentos afóticos, a pressão da luz deixa de atuar na “manutenção” destas características). Tais organismos, entretanto, apresentam apêndices locomotores e sensoriais frequentemente não alongados, em função dos espaços de reduzido tamanho que configuram estes habitats. Finalmente, a morfologia que frequentemente evolui em espaços subterrâneos de maior volume (macrocavernas – ou sistemas hipógeos)

é chamada de **hipogeomórfica**, sendo caracterizada, além da tendência à redução da pigmentação tegumentar e dos olhos, pelo alongamento de apêndices (locomotores e sensoriais) (figuras 4.2 e 4.3). Tal alongamento, selecionado em “macro- espaços” aparentemente está ligado à compensação sensorial destes organismos, tendo em vista a inexistência de luz nestes habitats e também a uma maior facilidade de deslocamento pelos substratos das cavernas, muitas vezes encharcados. A cada uma destas morfologias, associam-se diferentes categorias de espécies que podem ser encontradas em cavernas, como será discutido à frente. Finalmente, existem organismos que apresentam morfologia **ambimórfica**, isto é, com características “mescladas” de outras morfologias.

Os ambientes externos, ou sistemas epígeos, são utilizados como base para a comparação das condições ecológicas prevalentes nos ambientes subterrâneos, chamados de sistemas hipógeos. Dessa forma, o meio cavernícola é caracterizado, principalmente, pela ausência permanente de luz, fazendo com que muitas das características bióticas e abióticas desses ambientes sejam influenciadas pela constância desta pressão ambiental.



Figura 4.2: O besouro cavernícola europeu *Leptodirus hochenwartii* exibindo morfologia tipicamente hipogeomórfica. Notar a ausência de olhos, a redução da pigmentação tegumentar e o alongamento de apêndices. Este foi o primeiro invertebrado troglóbico descrito pela ciência.



Figura 4.3: O peixe troglóbio *Stygichthys typhlops*, de Minas Gerais (região de Jaíba) exibindo morfologia tipicamente hipogeo-mórfica. Notar a ausência de olhos e a completa despigmentação tegumentar. Esta espécie compreende um dos peixes brasileiros mais modificados à vida subterrânea. Além disso, compreende uma espécie ameaçada. Foto: Rodrigo L. Ferreira ausência de olhos, a redução da pigmentação tegumentar a o alongamento de apêndices. Este foi o primeiro invertebrado troglóbio descrito pela ciência.

Geralmente, o ambiente físico subterrâneo varia menos que o ambiente epígeo circundante e os parâmetros ambientais caracterizam-se por permanecerem praticamente estáveis na maioria das cavernas (Poulson & White, 1969; Culver, 1982).

Em cavernas mais extensas, a temperatura é caracterizada por apresentar pouca oscilação nos locais mais distantes da entrada. Os valores de temperatura, geralmente, aproximam-se da média anual do ambiente epígeo (Barr, 1967; Barr & Kuehne, 1971). Já em cavernas menores, as variações são mais evidentes, devido à maior influência do meio externo. Além disso, o ambiente subterrâneo é caracterizado pela elevada umidade que, muitas vezes, tende à saturação (Poulson & White, 1969; Howarth, 1983). Dessa forma, o meio cavernícola pode ser caracterizado como um ambiente de elevada estabilidade ambiental, devido à ausência permanente de luz, e temperatura e umidade constantes (Poulson & White, 1969; Culver, 1982). Porém, tais condições não

são estáticas e podem sofrer alterações ao longo do tempo, dependendo de fatores como dimensão da caverna, localização, morfologia, e orientação das entradas, dentre outros.

Tradicionalmente, podem ser distintas três zonas ambientais caracterizadas pelas diferenças entre luminosidade, temperatura e distribuição de organismos (Camacho, 1992). São elas:

1. zona de entrada: é aquela onde a luz incide diretamente e tanto a temperatura quanto umidade relativa do ar acompanham as variações externas. É a região mais influenciada pelo meio epígeo;

2. zona de penumbra: há incidência indireta de luz e flutuações de temperatura menores quando comparadas às da zona de entrada. Sua extensão pode variar de acordo com a época do ano e a posição da entrada em relação ao sol;

3. zona afótica: região onde há absoluta ausência de luz e habitual tendência à estabilidade ambiental.

As comunidades aquáticas que vivem em lençóis freáticos ou cursos d'água tendem a se distribuir por todo o volume da água, desde que existam nutrientes (Ferreira & Martins, 2001). Segundo Trajano & Bichuette (2006), o ambiente aquático subterrâneo também pode ser diferenciado em três zonas ambientais:

1. horizonte superior da zona freática, que se conecta com a superfície por meio de fissuras inacessíveis pelas ressurgências, sumidouros, poços naturais ou cavernas;

2. zona de oscilação sazonal do lençol freático, caracterizada por riachos que secam em determinadas épocas do ano;

3. riachos permanentes em condutos abertos, não completamente preenchidos por água, como riachos no topo da zona freática e tributários na zona vadosa, situados nos níveis superiores da caverna e onde a circulação da água ocorre por gravidade.

Como as zonas de entrada de cavernas são regiões onde as variações ambientais são fortemente influenciadas pelo ambiente externo, fatores como luminosidade, temperatura e umidade também apresentam variações diárias e sazonais (Culver, 1982). Segundo Prous et al. (2004), regiões próximas às entradas demonstram gradientes de modificações estruturais, biológicas e físicas, criando uma zona de transição entre os sistemas epígeos e hipógeos. Dessa forma, a entrada de uma caverna pode ser considerada um ecótono. Essa região localiza-se em uma zona diferenciada pelo equilíbrio entre a disponibilidade de recursos (característica epígea) e pela estabilidade ambiental (característica hipógea). Tal fato indica que a zona de entrada pode funcionar como um filtro entre dois ambientes adjacentes, permitindo que somente organismos pré-adaptados possam atravessar e colonizar as cavernas.

4.2.1 A fauna cavernícola

Múltiplos critérios têm sido utilizados para a classificação dos organismos cavernícolas em função de suas características peculiares. Desde a primeira classificação, atribuída a Dane Schiodte, em 1849, inúmeras propostas e redefinições de termos foram feitas na tentativa de enquadrar a fauna cavernícola em categorias corretas (Camacho, 1992). Uma das classificações mais utilizadas é a do sistema Schinner-Racovitza (modificado em Holsinger & Culver, 1988), no qual as espécies cavernícolas podem ser enquadradas em três grupos:

1. os troglóxenos são os regularmente encontrados no ambiente subterrâneo, mas que, obrigatoriamente, devem sair das cavernas para completar seu ciclo de vida. Ocorrem, em geral, nas porções mais próximas às entradas, mas suas populações podem, eventualmente, também ocorrer em porções mais interiores. Muitos desses organismos são responsáveis pela importação de recursos alimentares provenientes do meio epígeo em cavernas, especialmente nas que são permanentemente secas. Tais espécies frequentemente possuem morfologia epigeomórfica (Figura 4.4);

2. os troglófilos são os organismos capazes de completar todo o seu ciclo de vida no meio hipógeo e ou epígeo. No meio epígeo, tanto os troglóxenos quanto os troglófilos, geralmente, ocorrem em ambientes úmidos e sombreados. Certas espécies podem, ainda, ser troglófilas sob certas circunstâncias e troglóxenas em outras (por exemplo, em cavernas que apresentam baixa disponibilidade de alimento). Tais espécies podem exibir diferentes morfologias (Figura 4.5);

3. os troglóbios restringem-se ao ambiente cavernícola e podem apresentar diversos tipos de especializações morfológicas, fisiológicas e no comportamento que, provavelmente, evoluíram em resposta às pressões seletivas presentes em cavernas e ou à ausência de pressões seletivas típicas do meio epígeo. Frequentemente,

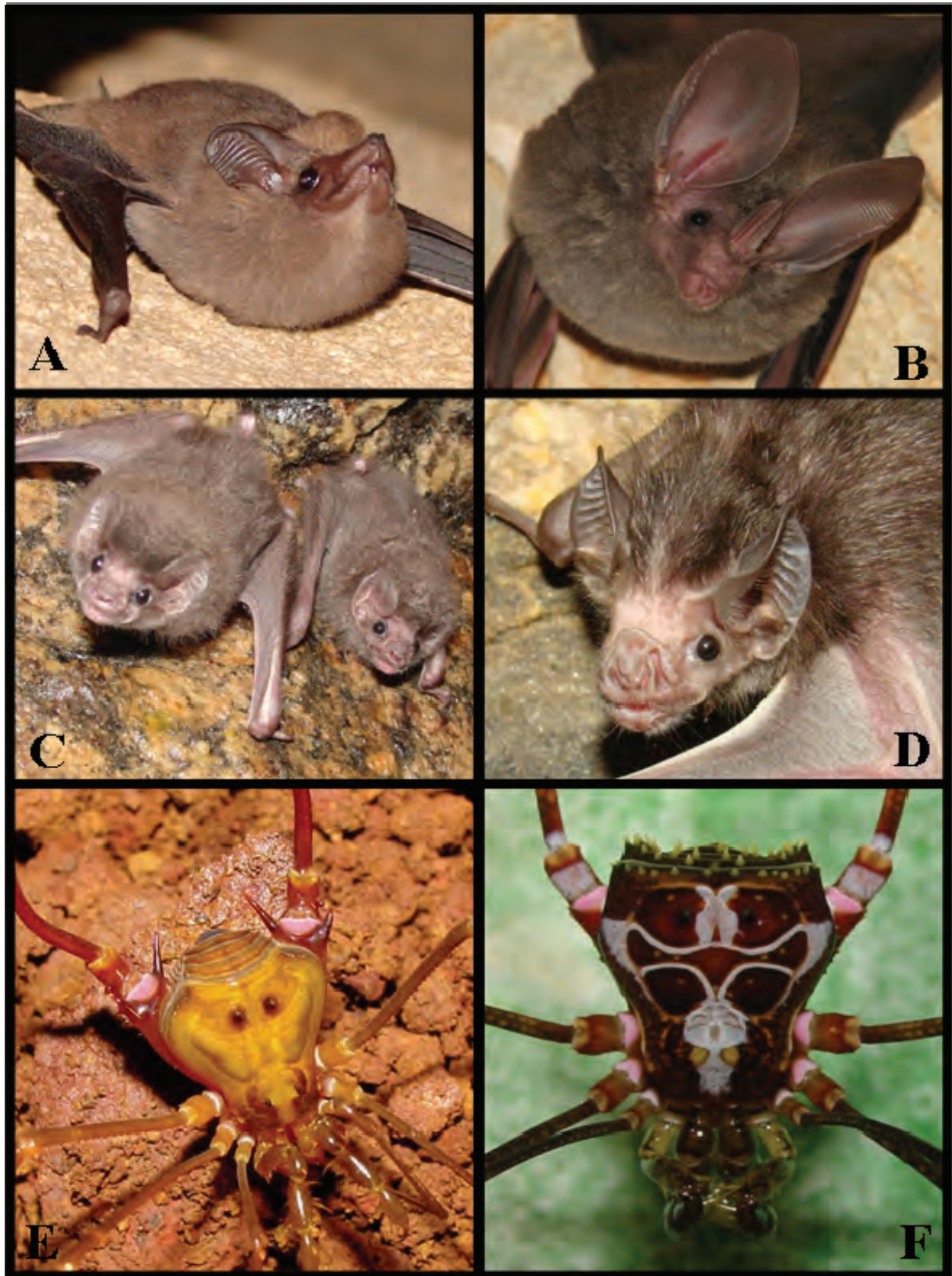


Figura 4.4: Algumas espécies troglóxenas encontradas no Brasil: A) *Peropteryx macrotis* (Embalonuridae), Domingos Martins, ES; B) *Chrotopterus auritus* (Phyllostomidae), Pains, MG; C) *Diphylla ecaudata* (Phyllostomidae), Venda Nova do Imigrante, ES; D) *Desmodus rotundus* (Phyllostomidae), Luminárias, MG; E) *Goniosoma vatrax* (Opiliones: Gonyleptidae), Nova Lima, MG; F) *Goniosoma* sp. (Opiliones: Gonyleptidae), Vargem Alta, ES. Fotos: Rodrigo L. Ferreira

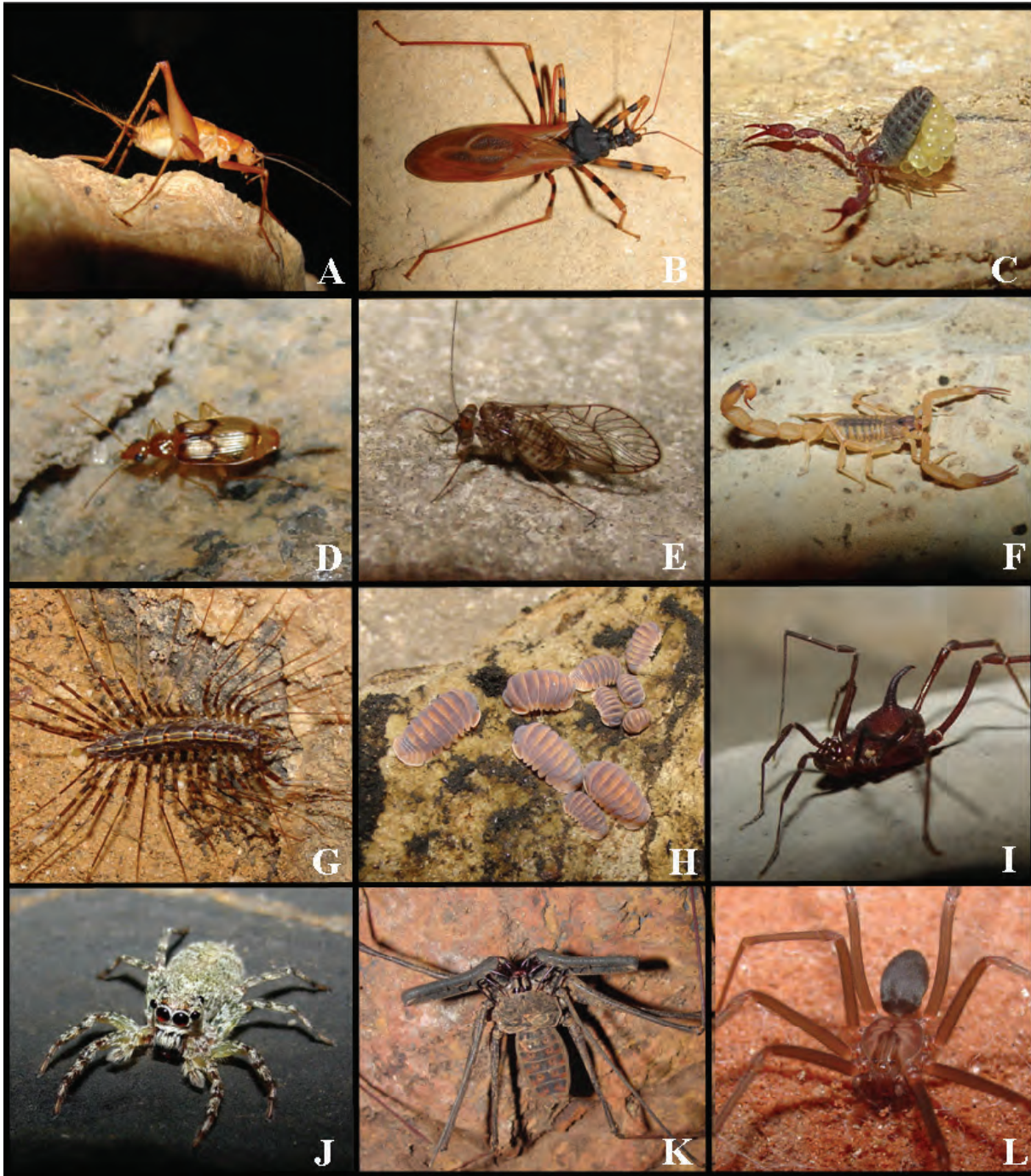


Figura 4.5: Algumas espécies troglófilas encontradas no Brasil: A) *Endecous* sp. (Ensiífera: Phalangopsidae), Cambuci, RJ; B) *Zelurus* sp. (Heteroptera: Reduviidae), Santa Luzia, BA; C) *Spelaeochnes* sp. (Pseudoscorpiones: Chernetidae), Pau Brasil, BA; D) Carabidae (Coleoptera), Afonso Cláudio, ES; E) Dolabellapsocidae (Psocoptera), Pains, MG; F) *Tytus* sp. (Scorpiones: Buthidae), Mossoró, RN; G) *Scutigermorpha* (Chilopoda), Pau Brasil, BA; H) *Venezillo* sp. (Isopoda: Armadillidae), Pau Brasil, BA; I) Gonyleptidae (Opiliones), Pau Brasil, BA; J) Salticidae (Araneae), Arcos, MG; K) *Heterophrynus longicornis* (Amblypygi: Phrynidae), Palmas, TO; L) *Loxosceles* sp. (Araneae: Sicariidae), Altinópolis, SP. Fotos: Rodrigo L. Ferreira

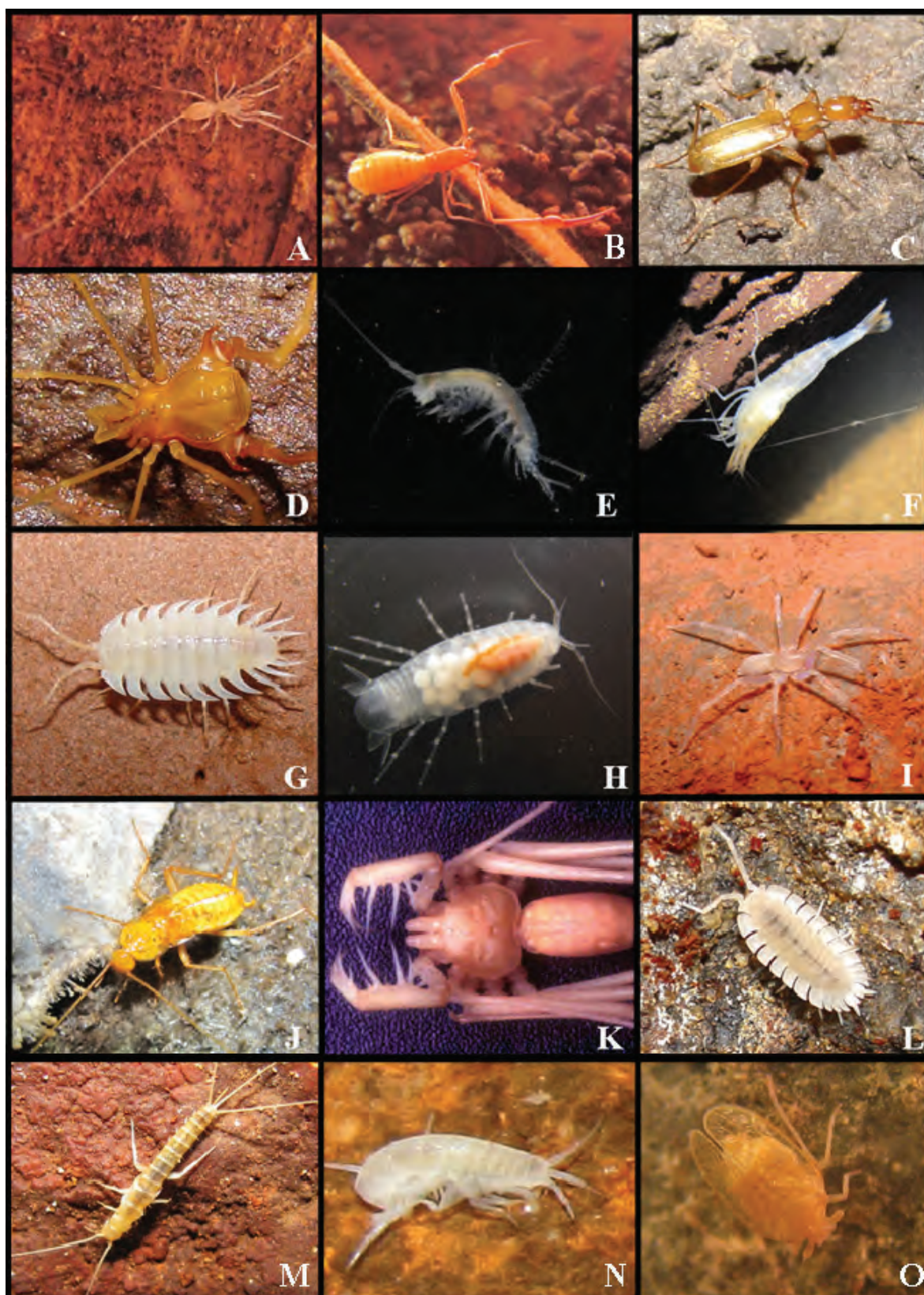


Figura 4.6: Algumas espécies troglóbias encontradas no Brasil (exceto letra F): A) *Eukoeneria maquinensis* (Palpigradi), Cordisburgo, MG; B) Neobisiidae (Pseudoscorpiones), Iuiú, BA (nova espécie); C) *Coarazuphium cessaima* (Coleoptera: Carabidae), Itaetê, BA; D) *landumoma uai* (Opiliones: Gonyleptidae), Itacarambi, BA; E) Amphipoda, Felipe Guerra, RN (nova família); F) *Troglocaris* sp. (Decapoda), Planina, Eslovênia; G) Styloniscidae (Isopoda), Iuiú, BA (nova espécie); H) Cirolanidae (Isopoda), Felipe Guerra, RN (novo gênero); I) *Lygroma* sp. (Araneae: Prodidomidae), Nova Lima, MG (nova espécie); J) *Lithoblatta camargoi* (Blattodea), Iraquara, BA; K) *Charinus* sp. (Amblypygi: Charinidae), Carinhanha, BA (nova espécie); L) Trachelipodidae (Isopoda), Santa Tereza, ES (novo gênero), M) *Coletinia brasiliensis* (Zygentoma: Nicoletiidae), Campo Formoso, BA; N) *Spelaegammarus trajanoae* (Amphipoda: Bogidiellidae), Várzea Alta, BA; O) Kinnaridae (Homoptera), Felipe Guerra, RN (novo gênero). Fotos: Rodrigo L. Ferreira

nesses organismos, observa-se uma tendência à redução das estruturas oculares, da pigmentação e ao alongamento de apêndices, especialmente aqueles de função sensorial. Além destas características morfológicas, tais espécies também podem exibir especializações fisiológicas, como a tendência à redução da taxa metabólica basal, dentre outras. Tais espécies frequentemente possuem morfologias variáveis, sendo que os chamados “troglóbios recentes” tendem a possuir morfologias endogeomórficas ou ambimórficas e os “troglóbios avançados”, morfologias hipogeomórficas (Figura 4.6);

A figura 4.7 ilustra as principais modificações encontradas e uma espécie troglóbia, (especialmente naquelas consideradas “troglóbios avançados”, nas quais se destacam morfologias tipicamente hipogeomórficas). A espécie da figura corresponde a um homóptero da família Cixiidae encontrado em uma caverna ferruginosa do quadrilátero ferrífero. Indivíduos troglóbios desta família são comumente encontrados em tubos de lava, principalmente nas ilhas Canárias e Hawaii. Como são fitófagos, tais organismos associam-se a raízes que interceptam galerias de cavernas. Tais raízes são freqüentes nos tubos de lava devido à sua superficialidade, como ocorre com muitas cavernas ferruginosas. Em outras cavernas situadas em litologias distintas, às vezes mais profundas, é mais rara a presença de raízes e conseqüentemente de cíxiidos, como na maioria das cavernas brasileiras. O único indivíduo encontrado na caverna alimentava-se de raízes e compreende um dos cíxiidos mais especializados à vida subterrânea. Tais modificações morfológicas incluem a ausência de estruturas oculares, a total despigmentação do tegumento e a redução das asas (Figura 4.7). Cíxiidos epígeos possuem olhos e asas bem desenvolvidas além de forte pigmentação (Figura 4.8).

O conceito de espécie troglóbia diz respeito à sua restrição nos habitats subterrâneos. No entanto, para se saber precisamente se uma espécie é restrita aos ambientes hipógeos, é necessário se

conhecer muito bem a fauna externa. Para as regiões tropicais (em especial a região neotropical), a mega-diversidade externa associada a um enorme grau de desconhecimento da fauna torna praticamente impossível se determinar se uma espécie é ou não troglóbia de acordo com sua distribuição. Desta forma, na tentativa de se aproximar de um diagnóstico mais confiável a respeito do real “status” de uma determinada espécie, foi criado o termo **troglomorismo**. Tal termo refere-se a características morfológicas utilizadas na determinação de espécies potencialmente troglóbias, já que resultam de processos evolutivos ocorrentes após o isolamento de populações em cavernas. Tais características estão preferencialmente relacionadas à morfologia hipogeomórfica, que tende a ser mais recorrente em habitats hipógeos de maior volume (macrocavernas). Os troglomorfismos, desta forma, são específicos a cada grupo, não representando sempre as mesmas características (como redução de olhos e pigmentos). Sendo assim, para certos grupos, ausência de olhos e de pigmentos podem ser consideradas troglomorfismos, enquanto que para outros não.

Para a maioria dos grupos, a redução da pigmentação melânica, das estruturas oculares e o alongamento de apêndices, podem ser consideradas características troglomórficas. Entretanto, as características a serem utilizadas para estes diagnósticos diferem dependendo do táxon analisado. Certos grupos, por exemplo, possuem espécies sempre despigmentadas e anoftálmicas, mesmo no ambiente epígeo (e.g. *Palpigradi*). Nestes casos, os troglomorfismos são mais específicos (como alongamento dos flagelômeros, aumento no número de órgãos laterais, dentre outros, para *Palpigradi*). A ausência de olhos e de pigmentos, para este grupo, não constituem troglomorfismos. Desta forma, é necessário se conhecer a biologia de cada grupo no intuito de se diagnosticar efetivamente a existência ou não destes caracteres.

Além disso, é sempre fundamental associar as características morfológicas encontradas em cada espécie como ambiente externo à caverna à qual a referida espécie se associa. Em muitos casos, a

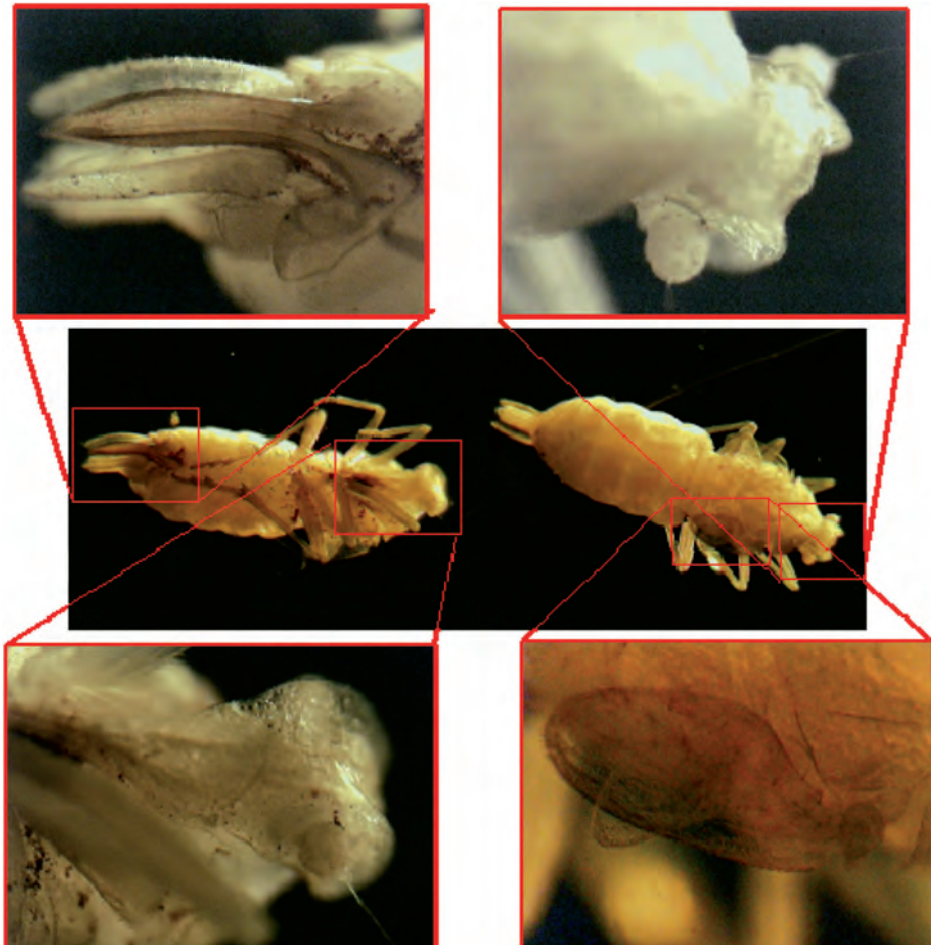


Figura 4.7: Homóptero troglóbico da família Cixiidae. Ao centro, o aspecto geral do organismo (vista latero-ventral e vista latero-dorsal); Acima, à esquerda, detalhe do ovopositor, o que indica que o indivíduo é uma fêmea adulta; Acima, à direita, detalhe da região cefálica (vista dorsal), onde se percebe a anofthalmia; Abaixo, à esquerda, detalhe da região cefálica (vista látero ventral), evidenciando a anofthalmia; Abaixo, à direita, detalhe das asas, mostrando marcante redução destas estruturas. Fotos: Rodrigo L. Ferreira

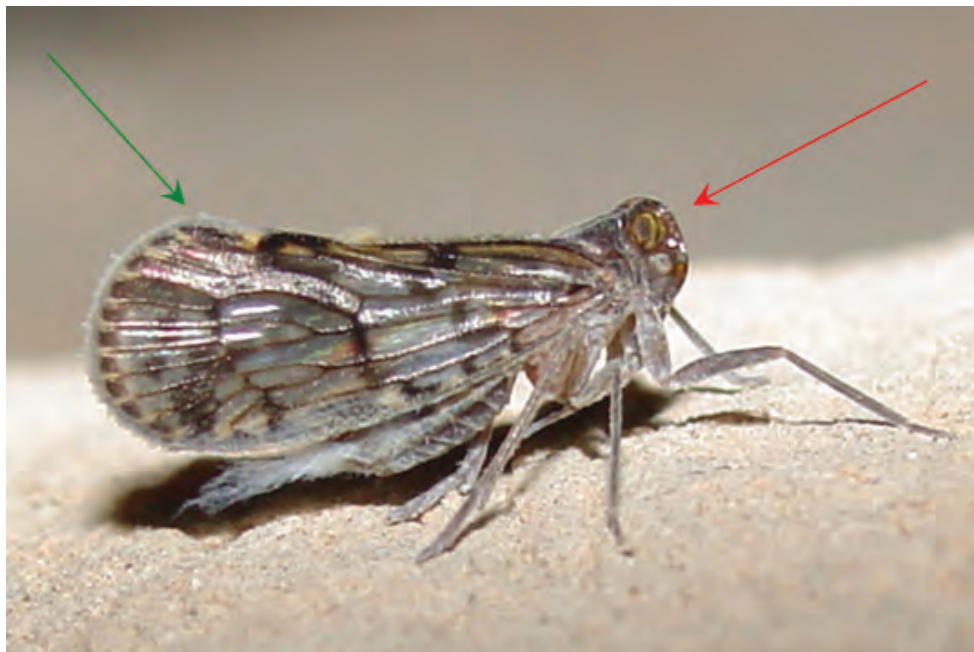


Figura 4.8: Homóptero da família Cixiidae (epigeomórfico). A seta vermelha indica os olhos bem desenvolvidos e a seta verde indica as asas também desenvolvidas e funcionais. Notar a forte pigmentação do organismo. Foto: Rodrigo L. Ferreira

análise da morfologia, por si, pode não ser suficiente para determinar se a espécie é (ou não) troglóbia. Um exemplo: as traças pertencentes à família Nicoletiidae são sempre brancas e anoftálmicas. Se estivermos coletando em uma caverna localizada no sul de São Paulo, em meio à uma Mata Atlântica bem preservada e encontrarmos uma população cavernícola de uma traça desta família, não podemos excluir a possibilidade de que existam indivíduos da mesma espécie fora da caverna, já que na floresta, existem inúmeros habitats capazes de manter tais indivíduos (como o folhiço sombreado e úmido da floresta, espaços sob troncos e rochas, dentre outros). Por outro lado, se estivermos coletando em uma caverna situada no interior da Paraíba, em meio à Caatinga, e encontrarmos uma outra população de traças da mesma família, podemos considerar que existem enormes possibilidades de se tratar de uma espécie troglóbia, já que as condições externas à caverna (de extrema insolação, elevadas temperaturas, solo ressequido, dentre outras) dificilmente permitiriam o estabelecimento de populações epígeas daquela espécie (de tegumento fino, frágil que permitiria uma rápida perda de água, levando à morte do indivíduo por dessecação). Sendo assim, muitas vezes nem mesmo um taxonomista especialista em determinado grupo é capaz de precisar se uma dada espécie é ou não troglóbia, sendo sempre necessário contextualizar suas características morfológicas em relação aos ambientes externos às cavernas às quais se associam.

Outra classificação de fauna cavernícola, menos utilizada, agrupa os organismos aquáticos em também três categorias baseadas no sistema Schinner-Racovitza (Gilbert et al., 1994):

1. os estigóxenos são organismos aquáticos cavernícolas que não têm afinidade alguma ao ambiente subterrâneo, mas que ocorrem acidentalmente em sedimentos aluviais nas cavernas. Estes influenciam os processos de aporte e consumo de matéria em águas subterrâneas como presas e/ou predadores;

2. os estigófilos em comparação com os anteriores apresentam uma maior afinidade ao ambiente cavernícola, principalmente porque exploram ativamente os recursos alimentares e buscam proteção contra condições adversas resultantes de fatores estocásticos externos;

3. os estigobiontes são especializados e restritos ao interior dos ambientes subterrâneos. Têm distribuições amplas e suas especializações, provavelmente, evoluíram em resposta às pressões seletivas presentes em cavernas e ou à ausência de pressões seletivas típicas do meio epígeo. Nesses organismos, as estruturas oculares e a pigmentação são reduzidas ou ausentes e as estruturas sensoriais são mais desenvolvidas do que em afins epígeos.

É imprescindível que a inclusão de uma espécie em quaisquer categorias necessite de uma avaliação aprofundada da história natural do organismo estudado. No entanto, a classificação mais complexa e a que mais sofreu modificações é a que tenta separar os animais que entram casualmente nas cavernas dos que entram voluntariamente nesse ambiente (comumente chamados de “verdadeiros cavernícolas”). Aqui, de forma a facilitar a compreensão dos termos, foi acrescida uma categoria que, na maioria das vezes, é excluída dos estudos de fauna cavernícola: os organismos acidentais.

As espécies “acidentais”, diferentemente dos troglóxenos, compreendem indivíduos epígeos que penetram (acidentalmente ou não) no ambiente cavernícola, mas não apresentam nenhuma pré-adaptação que proporcione a sua sobrevivência dentro das cavernas. Essas espécies, embora não sejam “verdadeiros cavernícolas”, são importantes em muitos sistemas hipógeos, principalmente naqueles em que a entrada de alimento é restrita, já que as fezes e, principalmente, os cadáveres desses animais são importantes fontes de recursos alimentares, tanto para as comunidades aquáticas quanto para as terrestres.

Da mesma maneira que foram propostos sistemas de classificação para os organismos

subterrâneos, também se procurou enquadrar as comunidades cavernícolas com base na área de ocupação e na mobilidade das espécies que as compõem. Tal fato leva em consideração que a distribuição dos indivíduos no meio hipógeo pode ser influenciada por numerosos fatores, nos quais a disponibilidade de recursos alimentares é de fundamental importância (Ferreira & Martins, 1998). Além disso, muitos organismos colonizam cavernas via entrada, de forma que a distância da entrada até o interior também pode ser um importante fator de influência na distribuição de alguns grupos (Ferreira & Pompeu, 1997).

Segundo os trabalhos de Ferreira & Martins (2001) e Prous et al. (2004), as comunidades terrestres também podem ser categorizadas de acordo com a sua distribuição no ambiente cavernícola:

1. comunidades para-epígeas: compostas por espécies que vivem na zona de ecótono junto à entrada da caverna. É frequente nessas comunidades a presença de organismos “tipicamente” epígeos que, no entanto, habitam o compartimento hipógeo da região do ecótono;

2. comunidades recurso-espaço-dependentes: apresentam espécies, em geral, reduzidas, que estabelecem suas populações de forma mais restrita ao espaço onde se encontra o recurso alimentar. Geralmente, incluem organismos de mobilidade limitada, incapazes de percorrer periodicamente grandes extensões em busca de alimento;

3. comunidades recurso-espaço-independentes: constituídas por espécies que são atraídas por depósitos orgânicos, mas que não se limitam à área onde o recurso ocorre. Estas comunidades são constituídas, geralmente, por organismos maiores (maioria dos invertebrados cavernícolas), que são capazes de se deslocar por grandes espaços em busca de recursos alimentares.

Além disso, no meio aquático, os ambientes intersticiais formados por redes de espaços contínuos

em depósitos relativamente profundos de sedimentos (como os encontrados em margens de rios e lagos) podem abrigar uma rica fauna subterrânea (Trajano & Bichuette, 2006). Essas comunidades são condicionadas a inúmeros fatores, tais como tamanho dos grânulos no sedimento que influenciam diretamente no volume dos espaços intersticiais e na velocidade do fluxo da água. Nesses locais há pouca ou nula incidência de luz, indicando que essas comunidades apresentam uma série de características típicas de ambientes com ausência de luz (Camacho, 1992). Organismos intersticiais subterrâneos podem ser altamente especializados, habitando sistemas nos quais existam ou não cavernas (Trajano & Bichuette, 2006).

Dessa forma, percebe-se que as comunidades cavernícolas são compostas por espécies com diferentes histórias evolutivas neste ambiente. Tais espécies podem possuir um amplo “leque” de interações (entre si e com o ambiente cavernícola) que possibilitam que estas comunidades se mantenham no sistema cavernícola “indefinidamente”, desde que condições ambientais e processos, como importação de nutrientes, sejam mantidos. Essas interações definem assim o grau de estruturação de uma comunidade cavernícola, sendo as comunidades mais estruturadas, aquelas com interações bem estabelecidas entre espécies e destas com o ambiente cavernícola. Dessa forma, o grau de estruturação de uma comunidade cavernícola não depende somente do número de espécies que a compõem, mas também da força das interações entre organismos e ambiente, que podem promover a coexistência, a longo prazo, de muitas espécies (Ferreira, 2004).

4.2.2 O aporte de alimento para o interior das cavernas

A ausência permanente de luz solar exclui a possibilidade da ocorrência de produtores fotossintetizantes em locais profundos do meio cavernícola. Dessa forma, a base da produção primária em algumas cavernas é realizada por meio de organismos quimioautotróficos, principalmente bactérias que utilizam ferro ou enxofre (Sarbu et al., 1996; Culver,

1982). Porém, a maior parte da produção nos ecossistemas cavernícolas é de origem secundária e o alimento aportado à caverna é de origem alóctone. Esse fato faz com que a teia alimentar hipógea seja fundamentada em detritos, havendo o predomínio de organismos decompositores nos sistemas hipógeos (Simon, 2000; Souza-Silva, 2003).

Fezes ou cadáveres de animais que transitam nas cavernas com certa regularidade ou dos que entram ali casualmente, assim como a presença de raízes vegetais, podem ser também importantes fontes de recursos alimentares, tanto para as comunidades terrestres quanto para as aquáticas. O tipo e a qualidade de recurso e a forma de disseminação no sistema são determinantes da composição e da abundância da fauna (Ferreira, 2004). Além disso, os recursos alimentares alóctones mantêm populações de organismos de todos os níveis tróficos presentes nas cavernas (Ferreira & Martins, 1999; Trajano, 2000).

Assim, a matéria orgânica é importada para as cavidades por agentes biológicos ou por agentes físicos, de modo contínuo ou intermitente. O alimento também pode penetrar nas cavernas através da água de percolação, das aberturas verticais nos tetos e das paredes ou em “pulsos”, carreado por rios ou riachos (Gilbert et al. 1994). Essa movimentação de nutrientes e detritos do meio epígeo para o meio hipógeo é freqüente; em alguns casos, 100% da matéria orgânica é importada (Culver, 1982, Howarth 1983).

Nos riachos epígeos e subterrâneos, os recursos orgânicos transportados são, usualmente, categorizados de acordo com o tamanho das partículas: matéria orgânica particulada grossa (coarse particulate organic matter (CPOM) > 1mm), fina (fine particulate organic matter (FPOM), de 1mm até 5µm) e dissolvida (dissolved organic matter (DOM) < 5µm) (Allan, 1995; Simon, 2000).

No meio externo, esses detritos podem ser usados como alimento por inúmeros invertebrados aquáticos (Minshall, 1967; Allan, 1995; Galas et al., 1996). O aporte destes para rios e pequenos riachos é feito, principalmente, pela vegetação das

margens, de acordo com sua estrutura e estado de conservação (Allan, 1995). Após cair nos rios, a água transporta estes detritos em direção às cavernas. Tais detritos, geralmente compostos por troncos, galhos, folhas, bactérias e animais epígeos (zooplâncton e artrópodes aquáticos), acessam este ambiente por meio de sumidouros. No meio hipógeo, fragmentos vegetais são depositados ao longo dos cursos d'água, constituindo depósitos de matéria orgânica (Barr, 1967; Simon, 2000; Ferreira & Horta, 2001). Estes depósitos são lentamente decompostos por bactérias, fungos e demais invertebrados detritívoros (Galas et al., 1996; Simon 2000).

O biorrevolvimento da superfície do sedimento e a fragmentação do detrito proveniente da vegetação ripária são exemplos de processos realizados por organismos pertencentes às comunidades aquáticas, que resultam na liberação de nutrientes na água (Cummins et al., 1989; Devái, 1990). Assim, estas comunidades caracterizam-se como importantes componentes do sedimento de rios e lagos, sendo fundamentais para a dinâmica de nutrientes, a transformação de matéria e o fluxo de energia (Callisto & Esteves, 1995). Tal fato pode ser aplicado tanto para as comunidades epígeas quanto para as hipógeas. Dessa forma, todos os processos ocorridos no meio externo influenciam diretamente o ecossistema subterrâneo.

4.2.3 Dinâmica trófica em sistemas subterrâneos

As cavernas são comumente caracterizadas como ambientes com elevada tendência ao oligotrofismo, já que, geralmente, as vias de importação de recursos alimentares não são eficientes o bastante para o transporte de grandes quantidades de alimento (Culver, 1982). Desse modo, a baixa quantidade dos recursos importados às cavernas se torna um fator limitante ao estabelecimento de numerosas espécies nos ecossistemas subterrâneos. Mesmo as espécies que conseguem ultrapassar as barreiras seletivas destes ambientes, tal como a ausência permanente de luz, são impedidas de atingir grandes populações devido à relativa escassez de recursos alimentares (Ferreira, 2004).

Vários estudos em cavernas indicam a tendência de haver um menor número de espécies explorando os recursos alimentares, geralmente limitadas a teias tróficas mais simplificadas. Considera-se, então, que as comunidades de invertebrados cavernícolas são menos complexas quando comparada às comunidades epígeas (Culver, 1982; Howarth, 1983; Jasinska et al., 1996; Trajano, 2000).

Porém, estudos relacionados à caracterização dos processos biológicos de produção, transferência e processamentos de nutrientes em sistemas cavernícolas são pouco frequentes. Esses estudos são fundamentais para a compreensão da dinâmica trófica desses ambientes que, por sua vez, determina diretamente a estruturação das comunidades subterrâneas. As informações geradas por meio desses estudos fornecem importantes subsídios para a conservação da fauna cavernícola.

Apesar de a produção autóctone fotossintetizante não ser um processo comum na maioria das cavernas, a quimioautotrofia pode ocorrer em muitos dos ambientes subterrâneos. A caverna Movile Cave, situada na Romênia, destaca-se por ser o único caso (comprovado até o momento) de uma caverna em que a quimioautotrofia é responsável pela manutenção de toda a comunidade de invertebrados presente. Várias investigações na superfície da região onde está localizada a caverna excluem a possibilidade de aporte de matéria orgânica de origem fotossintética por fluxos d'água epígeos. Mesmo sendo um ecossistema subterrâneo exclusivo que está inserido em uma paisagem com águas termominerais sulfurosas, também é descartada a probabilidade de infiltração de água por percolação através das fissuras das rochas. Tal fato demonstra que a caverna está isolada em um ambiente totalmente fechado (Camacho, 1992).

Ainda assim, Movile Cave é caracterizada por suportar uma elevada densidade de espécies, tanto aquáticas como terrestres e alta biomassa. Além disso, a caverna apresenta grande quantidade de organismos troglóbios, indicando a longa história de isolamento destas espécies. Porém, essas espécies se destacam pelo fato de não apresentarem

redução na taxa metabólica, condição bastante recorrente em organismos troglóbios (Camacho, 1992; Sarbu, 1996).

Dessa forma, a produção primária que sustenta essa comunidade é realizada por meio da microbiota que cobre as superfícies da água e das rochas calcárias. Esse biofilme microbiano utiliza o sulfeto de hidrogênio como doador de elétrons no processo de quimiossíntese. O fluxo de energia é realizado por bactérias e fungos heterotróficos que se alimentam das bactérias autotróficas ou utilizam moléculas orgânicas excretadas por elas. A partir daí, ricas populações de flagelados, nematóides, oligoquetas, copépodos, anfípodos, colêmbolos, isópodes, aranhas e coleópteros, dentre outras, distribuem-se ao longo da cavidade, todas elas utilizando-se, de forma indireta, do recurso primariamente produzido pelas bactérias. Desencadeia-se, dessa forma, uma teia alimentar atípica em ambientes cavernícolas, envolvendo consumidores, predadores e detritívoros, todos baseados em produtividade primária proveniente de quimiossíntese (Camacho, 1992; Sarbu et al., 1996). A produção primária totalmente baseada em organismos quimioautotróficos é, entretanto, rara e não pode ser caracterizada como modelo trófico geral para cavernas convencionais.

Simon (2000) analisou a dinâmica da matéria orgânica e a estrutura trófica em águas de ecossistemas subterrâneos cársticos em Dorvan-Cleyzieu, França. O estudo demonstrou a influência de padrões temporais de fluxos de inundação no aporte e na distribuição espacial da matéria orgânica e também na distribuição do biofilme em um aquífero. As bactérias (heterotróficas) aparecem como importante fonte energética para os níveis tróficos seguintes. Além disso, os fatores que regulam suas atividades controlam também a teia alimentar, determinando a disponibilidade de energia. A alternância temporal de enchentes e seca no aquífero tem um importante papel na aeração do biofilme, na renovação de carbono e de oxigênio e no suprimento de nutrientes para o meio hipógeo.

No mesmo estudo, Simon (2000) investigou os processos de decomposição de folhas e de gravetos e o papel de várias fontes de matéria orgânica na dinâmica trófica no riacho que percorre a Organ Cave, EUA. A matéria orgânica grossa (CPOM) se torna uma fonte alternativa de energia, além da dissolvida (DOM) em cavernas com grandes entradas. A caverna é eficiente em reter CPOM e a perda de massa de folhas é mais rápida que a de gravetos, que representam, então, uma fonte mais estável de carbono. Assim, FPOM e DOM tornam-se importantes fontes de alimento em locais mais distantes dos pontos de entrada, onde o transporte de CPOM é pouco provável. Conseqüentemente, a cadeia trófica cavernícola pode ser estruturada pela presença de raspadores de biofilme, coletores, fragmentadores e predadores (Simon, 2000).

Graening (2000) conduziu um estudo de dinâmica trófica em uma caverna de litologia calcária denominada Springs Cave, EUA. Essa caverna destaca-se por ter suas características prístinas alteradas pela poluição por nutrientes, metais pesados e coliformes. Mesmo assim, a quantificação do aporte de energia no riacho subterrâneo caracterizou-o como um sistema oligotrófico, no qual a matéria orgânica dissolvida (DOM) é fonte de recurso dominante. Acredita-se que a drástica redução da população de morcegos ao longo dos anos tenha diminuído o aporte de guano, reduzindo a sua contribuição potencial para a dinâmica trófica do ambiente.

A retenção de nutrientes em Springs Cave é baixa, indicando que muito da matéria orgânica aportada à cavidade é exportada sem ser utilizada. A densidade microbiana é significativamente mais alta durante fluxos de inundação e seu crescimento não é vinculado ao tipo de recurso, mas sim à quantidade que é importada para a caverna. Além disso, a comunidade microbiana é limitada à presença de recurso, indicando que a adição de nutrientes dentro do ecossistema cavernícola poderia provocar aumento na atividade microbiana e de biomassa (Graening, 2000).

No Brasil, o primeiro trabalho enfocando a disponibilidade e o processamento de recursos alimentares em um ambiente subterrâneo foi realizado por Souza-Silva (2003). A dinâmica trófica cavernícola foi avaliada nos meios aquáticos e terrestres da Lapa do Córrego dos Porcos, Damianópolis, Goiás. Foram quantificados a disponibilidade e o consumo de recursos alimentares e analisada a estrutura da mesofauna, além da caracterização dos agentes e das vias de produção de matéria orgânica. No ambiente terrestre, a principal influência na composição, na distribuição e na abundância de invertebrados é determinada pelo guano de morcegos. O produto secundário é um recurso alimentar efêmero, dependente de uma constante produção para a manutenção das comunidades terrestres.

No ambiente aquático da Lapa do Córrego dos Porcos, verificou-se que os detritos penetram em maior quantidade na estação chuvosa do ano. Entretanto, esse maior aporte é acompanhado também por um processo de lixiviação mais intenso. Os fluxos de inundação dificultam a retenção e o processamento de recursos alimentares no riacho. Portanto, os detritos vegetais acumulam do sedimento e são colonizados pela fauna, principalmente nas estações secas. Como fonte energética adicional, a presença de raízes submersas proporciona uma fonte diversa de recursos e micro-habitats, suprimindo a depleção causada pela ação lixiviadora dos fluxos de inundação (Souza-Silva, 2003).

A partir das informações básicas a respeito da dinâmica trófica cavernícola, o fluxo energético desses ecossistemas pode ser generalizado em determinadas estruturas e processos relativamente simples, principalmente quando comparados a sistemas epígeos (Figura 4.9).

4.3 Evolução em ambientes subterrâneos

Saber como certas características dos troglóbios evoluíram torna o estudo da vida em cavernas mais interessante (Ferreira & Martins, 1999). Em geral, esses animais apresentam várias especializações relacionadas ao ambiente cavernícola, resultantes de um processo biológico lento e contínuo conhecido

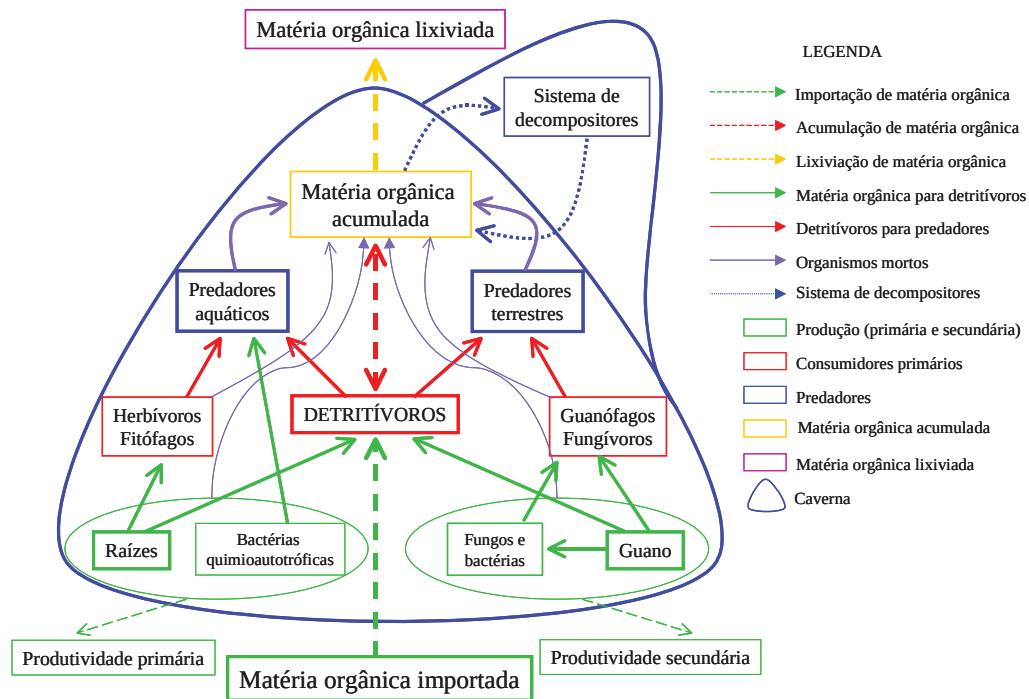


Figura 4.9: Diagrama representando principais estruturas e processos tróficos em uma caverna (Ferreira, 2004).

como “evolução regressiva”. Esse processo, ainda não totalmente esclarecido, é interpretado com a ajuda de duas hipóteses hoje muito aceitas, por seu bom embasamento teórico e experimental: a hipótese do acúmulo de mutações neutras e a da seleção por pleiotropia.

Para descrever a primeira hipótese é fundamental esclarecer antes o que significa o termo “mutação neutra”. Mutações são mudanças no código genético de um indivíduo, que podem levar a variações de forma, metabolismo ou comportamento transmissíveis a seus descendentes. As mutações são espontâneas ou induzidas (por radiações e por diversas substâncias químicas). Uma “mutação neutra” é aquela que não influencia nenhum aspecto importante da sobrevivência e/ou da reprodução de um organismo. A “neutralidade”, porém, depende do ambiente em que esse organismo vive. Essa hipótese assume que a regressão de certas estruturas, observada em alguns organismos que vivem em cavernas, é resultado do acúmulo de mutações neutras (que aparecem casualmente em indivíduos de uma população) durante várias gerações. Sem função nesses ambientes, tais estruturas (olhos, por exemplo) seriam gradativamente reduzidas com o

passar das gerações, pois mutações casuais nesse sentido não afetariam a sobrevivência ou reprodução do indivíduo. Uma mutação que, por exemplo, reduzisse o tamanho do olho de um peixe seria muito prejudicial se ele vivesse em um rio de superfície, mas neutra em uma caverna totalmente escura. Nesse ambiente, os olhos não têm função. O acúmulo de mutações neutras desenvolveria e fixaria um determinado caráter regressivo, desde que a população cavernícola continuasse isolada de populações externas. A hipótese de acúmulo de mutações neutras, portanto, propõe que a regressão de estruturas em muitos troglóbios pode ter ocorrido por causa da ausência de pressões seletivas (como a luz) que eliminariam indivíduos mutantes no meio externo: nesse meio, um peixe com visão reduzida teria sua vida dificultada e, portanto, menos chance de transmitir a mutação a seus descendentes.

A segunda hipótese baseia-se na pleiotropia, fenômeno no qual um só gene determina a modificação de vários caracteres (no fenômeno oposto, herança poligênica, um só caráter é determinado por vários genes). Uma mutação em um gene pleiotrópico pode aumentar ou diminuir todos os

caracteres que ele determina ou aumentar um e reduzir os demais. A hipótese da seleção por pleiotropia propõe que mutações em um gene pleiotrópico afetariam de modo diferente os caracteres determinados por esse gene, levando à seleção de um ou mais entre eles. Assim, em um peixe (hipotético) com um gene desse tipo, que condicionasse um caráter útil no ambiente cavernícola (como o sistema de linha lateral, que permite aos peixes detectar variações de temperatura ou pressão da água) e outro “dispensável” ali (como olhos), a seleção poderia resultar no aperfeiçoamento de uma característica e redução da outra, por efeito pleiotrópico negativo. Assim, o aperfeiçoamento de um caráter acarretaria a redução do outro associado, desde que isso não reduzisse as chances de sobrevivência e reprodução. No peixe hipotético acima (com o sistema de linha lateral e o desenvolvimento dos olhos ligados ao mesmo gene), mutações que tornassem mais eficaz o primeiro caráter seriam positivamente selecionadas, levando à redução dos olhos, caso o efeito pleiotrópico nesse gene fosse negativo. Como essa redução não afeta a vida do peixe na caverna, os olhos continuariam a ser atrofiados, podendo até desaparecer, no decorrer de várias gerações. Ao contrário da hipótese de acúmulo de mutações neutras, a de pleiotropia está diretamente ligada à escassez alimentar, condição comum em muitas cavernas.

Entretanto, se essa escassez fosse a principal determinante do processo evolutivo em cavernas, os depósitos de guano não poderiam ser considerados locais apropriados para a ocorrência da evolução regressiva. Em geral, tais depósitos oferecem recursos abundantes para as comunidades que vivem neles, e segundo alguns cientistas isso poderia desacelerar esse tipo de evolução nos organismos. Os troglóbios eventualmente encontrados em depósitos de guano, para esses cientistas, já estariam presentes nas cavernas (e já teriam evoluído até essa condição), e se associaram ao guano apenas depois de sua deposição pelas colônias de morcegos. Em depósitos de guano de cavernas da Bahia e

de Minas Gerais, principalmente nos últimos anos, têm sido descobertos numerosos organismos troglóbios e troglomórficos (que já mostram características de troglóbios). Populações relativamente densas de ácaros, colêmbolos e traças são encontradas com certa frequência nesses depósitos. Tais descobertas permitem questionar a hipótese de que a escassez de alimentos seria a principal determinante da evolução de características troglomórficas em organismos que vivem em cavernas, principalmente naqueles associados a depósitos de guano. A comparação da idade dos depósitos de guano com o tempo de desenvolvimento de um organismo troglóbio também ajuda esse questionamento. Um exemplo está na toca da Boa Vista, caverna do norte da Bahia. Em muitas de suas galerias há registros de guano fóssil pulverizado, e nessa caverna existem populações numerosas (dezenas de indivíduos) de uma traça troglóbia, da ordem Zygentoma. Amostras desse guano foram datadas pelo geólogo Augusto Auler em cerca de 16 mil anos. Tal prazo está incluído no tempo necessário para a evolução de características troglomórficas em espécies cavernícolas terrestres, estimado entre 10 mil e 100 mil anos por estudos empíricos. As traças, portanto, provavelmente desenvolveram essas características em um ambiente com bastante matéria orgânica, contrariando a idéia de que essa evolução estaria ligada à escassez de nutrientes. As informações obtidas nestas pesquisas reforçam a hipótese neutralista de evolução regressiva, já que a escassez ou não de alimento parece ter pouca influência no processo de evolução de organismos associados ao guano.

4.4 Ecologia e conservação de cavernas

A fauna cavernícola brasileira começou a ser relativamente bem estudada a partir da década de 80 (Dessen et al., 1980; Chaimowicz, 1984; Chaimowicz, 1986; Godoy, 1986; Trajano & Moreira, 1991). Poucas cavernas, entretanto, foram estudadas intensivamente, todas elas cavernas calcárias (Trajano, 1987; Ferreira & Pompeu, 1997; Bichuette & Santos, 1988; Ferreira & Martins, 1998, 1999).

As cavernas são, até certo ponto, importantes para o equilíbrio de ecossistemas em suas áreas de ocorrência. As interferências sobre o meio físico decorrentes de fenômenos naturais ou da ação antrópica refletem-se diretamente nas cavernas que existem nas áreas sujeitas a estes impactos. A destruturação de sistemas cavernícolas causada por diferentes impactos pode, de médio a longo prazo, causar modificações no sistema externo, acentuando ainda mais o estado de desequilíbrio de um dado ecossistema. Como exemplo, pode-se citar enchentes (Lisowski & Poulson, 1981; Lewis, 1982) ou mesmo a diminuição da água em drenagens hipógeas (Elliot, 1981) devido a atividades antrópicas. Estes eventos podem modificar intensamente o regime hídrico da porção à jusante ou à montante da drenagem, causando diferentes impactos sobre a fauna e flora aquática e às vezes até mesmo sobre comunidades ripárias. Outros exemplos podem ainda ser citados, como a remoção de populações de morcegos frugívoros de cavernas. Mesmo não existindo estudos detalhados a este respeito, parece bem real a possibilidade de redução nas taxas de polinização e mesmo de dispersão de sementes nos sistemas externos caso este evento venha a ocorrer, o que pode, a longo prazo, levar a eventuais “bottle necks” para muitas populações de plantas que dependam destes polinizadores (Myers, 1992). Estudos detalhados de sistemas cavernícolas são, desta maneira, essenciais para uma caracterização completa e confiável do ecossistema no qual as cavernas se inserem.

Impactos ambientais podem resultar de atividades naturais ou antrópicas, que produzem alterações bruscas em partes ou no ambiente como um todo. Cavernas calcárias, devido à sua gênese, passaram, em sua evolução geológica, por momentos de permanente escuridão e maior estabilidade ambiental que sistemas externos. Entretanto, a situação ambiental de cada caverna depende do tipo e do momento em que se encontra sua evolução geológica, sendo que diferentes sistemas certamente encontram-se em diferentes condições ambientais (influenciadas claramente pelo regime climático externo regional).

Desta forma, qualquer evento que modifique a situação presumivelmente “original” de uma caverna calcária (permanente escuridão e elevada estabilidade ambiental), independentemente do tempo desde sua ocorrência, pode resultar em impacto. Situações que modifiquem um sistema cavernícola com velocidade relativamente alta podem causar distúrbios aos quais muitos organismos não conseguirão adaptar-se, resultando em extinção local de muitas taxa. Sendo assim, o tempo desde a ocorrência de um impacto, mesmo sendo importante para a evolução de grupos ou sistemas biológicos em cavernas, mostra-se, provavelmente, menos importante que a intensidade com a qual este evento tenha modificado um dado sistema cavernícola. Uma vez que a determinação do tempo transcorrido desde a modificação de uma caverna por um dado evento é praticamente inviável, o acompanhamento de certas variáveis (ambientais, tróficas e zoológicas) de uma caverna aliado à comparações entre estas mesmas variáveis, podem funcionar como objetos para a determinação do grau de conservação de um dado sistema, mesmo não sendo estas, as “ferramentas” mais adequadas para este tipo de estudo.

A conservação de sistemas cavernícolas é, desta forma, fundamental tanto para a preservação das muitas relações ecológicas existentes apenas nestes ambientes, quanto para a manutenção destes ecossistemas. Além disso, enquanto sistemas complexos (embora menos complexos que os ecossistemas epígeos) as cavernas possuem grande importância na medida que permitem a compreensão de muitas estruturas e processos ecológicos, podendo, assim, funcionar como excelentes locais para a pesquisa ecológica.

4.5.1 Diretrizes gerais para o inventário e monitoramento da fauna em cavernas

Diretrizes gerais para inventários de fauna subterrânea

Segundo Ferreira (2004), para o levantamento de dados e a avaliação ecológica de um sistema cavernícola deve-se avaliar sucintamente fatores como a

composição, abundância, riqueza, diversidade (estrutura da comunidade), a variação espaço/temporal da fauna, o topoclíma e a estrutura e dinâmica trófica do sistema. Somente depois destes passos é que planos de monitoramentos podem ser construídos e implantados.

Para avaliar a composição, estrutura e distribuição da fauna a amostragem deve consistir em um inventário detalhado das comunidades presentes na caverna, observando-se o número de espécies, o número de indivíduos em cada espécie,

a diversidade e a distribuição de cada população, no espaço e no tempo. Para tal, devem ser realizadas em cada caverna no mínimo duas coletas distribuídas entre as estações de seca e chuva. Os invertebrados presentes nas cavernas deverão ser previamente identificados visualmente no campo e alguns de seus espécimes coletados como testemunhos. Os organismos observados (coletados e não coletados) deverão ser plotados em croqui esquemático de cada caverna, segundo a metodologia proposta por Ferreira (2004) (Figura 4.10).

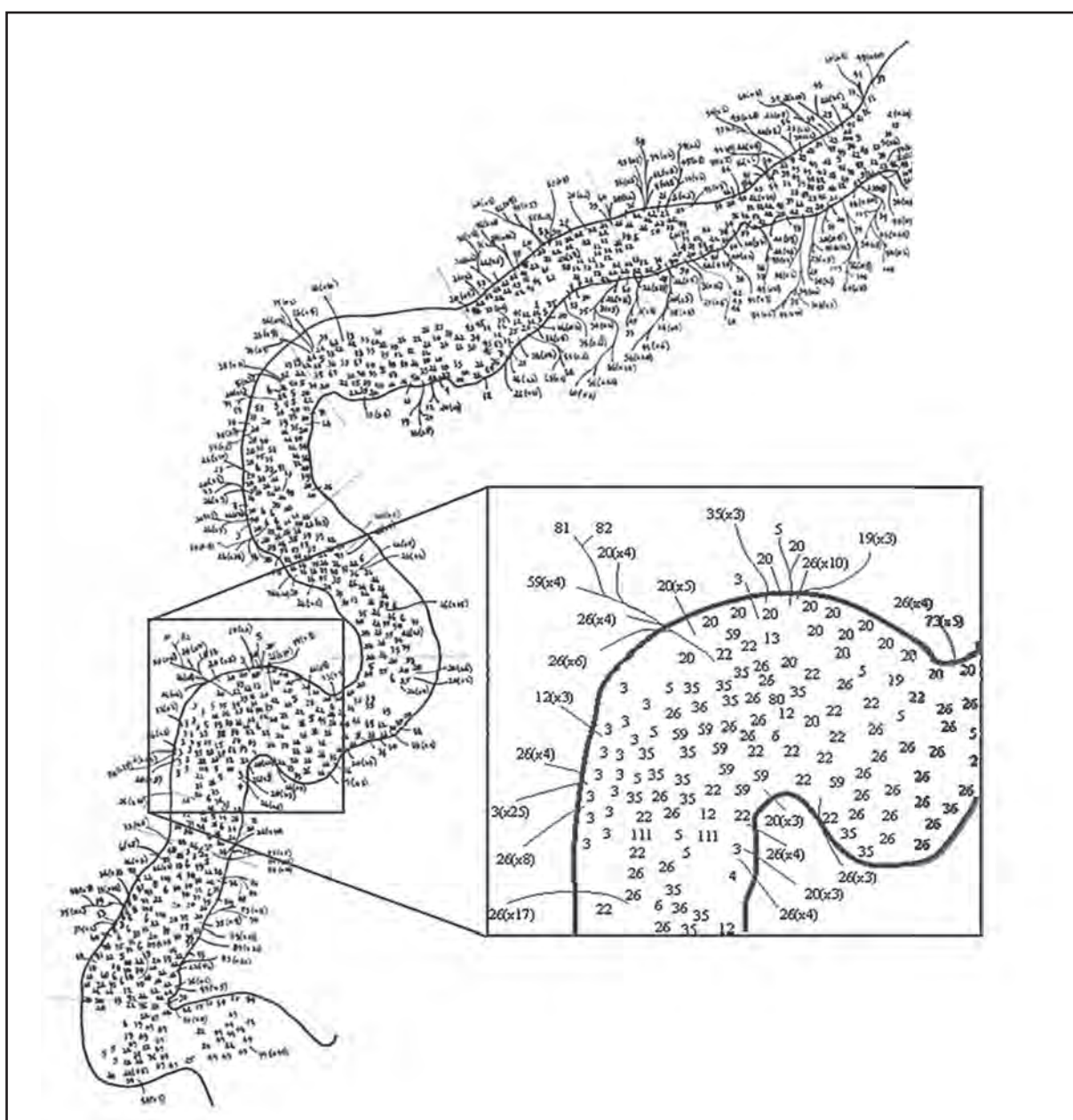


Figura 4.10: Croqui esquemático de uma caverna ilustrando o método de avaliação da composição, riqueza e abundância de invertebrados. Cada número representa uma morfoespécie definida no campo. A repetição do número representa a distribuição e abundância dos indivíduos da morfoespécie (modificado de Ferreira 2004).

As coletas deverão ser preferencialmente manuais (com o auxílio de pinças, pincéis, sugadores e redes entomológicas). O uso de armadilhas tipo “pitfall” (armadilhas de queda, instaladas no piso das cavernas) é desaconselhado, pois este método, além de seletivo, adiciona poucas espécies quando realizado em conjunto com o método de coleta manual. Além disso, a coleta com pitfall sacrifica muitos indivíduos, podendo desestruturar populações de detritívoros e por consequência seus predadores (Culver & Sket 2002, Ferreira 2004). Durante as coletas devem ser priorizados microhabitats como troncos, depósitos de guano, espaços sob pedras, raízes e locais úmidos. As associações dos invertebrados com os recursos alimentares presentes nas cavernas deverão ser registradas em caderno de campo e fotografadas, quando possível. Em laboratório todos os organismos coletados deverão ser devidamente acondicionados e identificados de acordo com as referências de campo. A abundância geral de cada espécie é conseguida através da recontagem dos indivíduos incluídos em cada croqui. Para um melhor refinamento na identificação dos invertebrados sugere-se o envio a especialistas. Os organismos devem ser identificados até menor nível taxonômico possível.

Medidas de temperatura e umidade (topoclima) devem ser registradas juntamente com a coleta de invertebrados em intervalos regulares de tempo e de espaço no interior da caverna. Para tal, a umidade relativa do ar, bem como a temperatura, devem ser preferencialmente monitorados com frequência, visando a caracterização adequada da atmosfera do sistema. Sugere-se que estas medidas sejam tomadas em pelo menos dez pontos equidistantes dentro de cada cavidade, a partir da entrada até o final da caverna, abrangendo-se da forma mais completa possível as variações das condições vigentes em cada sistema.

Durante a caracterização trófica devem ser avaliados no interior das cavernas os tipos, as quantidades, a qualidade, a distribuição e as vias de acesso dos recursos alimentares ao meio subterrâneo. Os

loais preferenciais de acumulação e a fauna associada aos diferentes recursos alimentares (guano, raízes, folhas, troncos, carcaças, etc) devem ser destacados. Para tal, os recursos alimentares presentes nas cavernas deverão ser identificados visualmente plotados em croqui ou mapa e caracterizados de acordo com o tipo (raízes, folhas, troncos, fezes, etc.) locais de acumulação (perto de entradas, condutos interiores, embaixo de clarabóias, paredes, piso, etc) e vias e modos de acesso a caverna (entradas horizontais, fraturas no teto, gotejamentos em espeleotemas, entradas verticais, rios, enxurradas, animais, etc). Além disto, quando possível, devem ser caracterizados de acordo com a quantidade (raízes dispersas ou concentradas em rizotemas, material vegetal e guano disperso ou acumulado em depósitos, etc), e de acordo com a condição ou tempo de deposição (mineralizado, antigo, recente, seco, umido, etc). No caso do guano, deve ser destacada a dieta de origem do mesmo (frugívoro, insetívoro, hematófago, carnívoro, misto, etc). Se ocorrer elevada riqueza e abundância no recurso alimentar, amostras devem ser coletadas para a triagem em laboratório com uso de lupa ou extratores (e.g. Berlese). Os depósitos de guano podem apresentar composições variadas. O guano de morcegos frugívoros forma depósitos repletos de sementes. Aqueles depósitos de guano de morcegos de dieta insetívora são repletos de exoesqueletos. Aqueles depósitos de guano de morcegos de dieta hematófaga forma depósitos bem úmidos de consistência pastosa e cor avermelhada escura quando recente, e pulverulento e bem mais seco quando velho (mineralizado). Aqueles depósitos de guano de morcegos de dieta carnívora forma depósitos repletos pequenos pelets com pêlos e ossos. Os regurgitos de coruja são recursos alimentares que também podem ocorrer geralmente próximos às entradas das cavernas. Estes regurgitos podem ter a forma esférica, são maiores e também com pêlos e ossos. As taxas de consumo (decomposição) dos recursos alimentares nas cavernas devem ser avaliadas em projetos específicos.

4.6 Diretrizes gerais para o monitoramento comunidades subterrâneas

Os monitoramentos têm como principal objetivo, o uso de informações coletadas a partir de diferentes grupos funcionais e/ou taxonômicos, em longo prazo, na elucidação da “saúde” e estabilidade de ecossistemas, permitindo uma conservação efetiva e o uso sustentável dos recursos naturais (Lewinsohn et al. 2005). Neste sentido, os invertebrados constituem excelentes ferramentas de monitoramento, uma vez que apresentam respostas demográficas e dispersivas mais rápidas do que organismos com ciclos de vida mais longos. Eles também podem ser amostrados em maior quantidade e em escalas mais refinadas do que os organismos maiores. Essas vantagens são contrabalançadas por dificuldades taxonômicas e pelo tempo necessário para processar grandes amostras (Lewinsohn et al. 2005).

Resultados efetivos de monitoramentos biospeleológicos não são alcançados em poucos meses, de forma que o acompanhamento das comunidades e/ou populações em longo prazo é de fundamental importância para o conhecimento da sua dinâmica natural em relação às variações numéricas temporais e espaciais. Tal acompanhamento deve ser realizado até o momento em que se tenham indicativos de bom conhecimento do sistema biológico em questão (Ferreira 2004). Em geral, tal tempo é provavelmente longo, mas variável, de caverna para caverna.

O método utilizado para o monitoramento das comunidades deve preferenciar avaliações realizadas a intervalos regulares (mensalmente ou bimestralmente, por exemplo) através da contagem direta e plotagem dos indivíduos e recursos alimentares (deve-se evitar coletas exaustivas da fauna durante os monitoramentos). Com relação aos grupos de invertebrados utilizados nos monitoramentos sugerem-se o acompanhamento daqueles mais conspicuos, vulneráveis e relativamente fáceis de reconhecer e identificar. Deste modo, sugere-se uma atenção especial aos troglóbios, pelo fato de ocuparem um ambiente estável e apresentarem sensibilidade a bruscas variações. Estas populações

apresentam frequentemente características de espécies refugiadas: raridade, endemismo, distribuição restrita, estratégia K etc. Todos estes critérios são indicadores de espécies vulneráveis que requerem proteção e integridade de habitat (Sharratt et al. 2000). Espécies raras são consideradas mais vulneráveis à extinção do que espécies comuns, principalmente pela sua alta susceptibilidade a mudanças ambientais estocásticas. O termo **raro** tem vários significados na literatura como, por exemplo, espécies de população reduzida ou que ocupam habitats específicos. Desta forma, quaisquer espécies troglóbias são automaticamente colocadas no status de ameaçadas, devido à distribuição restrita e elevado grau de endemismo. Sendo assim, quaisquer cavidades que possuam espécies troglóbias enquadram-se em relevância alta ou máxima, de acordo com a legislação vigente.

Para o monitoramento das populações sugere o uso de métodos de contagem direta dos indivíduos no campo em intervalos regulares ou métodos de marcação e recaptura (Fernandez 1995). A marcação dos indivíduos deve ser realizada com tinta não tóxica sem necessidade de individualização. Sugere-se usar o método de Jolly que consiste em marcar um número considerável de indivíduos da população e soltá-los no mesmo local. Retorna-se ao campo após um período quando animais marcados e não marcados já terão se misturado na população e realiza novas coletas. Determina-se o número de animais marcados nesta coleta. A partir daí aplica-se a seguinte fórmula: $N = n_1 \cdot n_2 / m_2$, onde N é o tamanho da população, n_1 é o número de indivíduos capturados e marcados na primeira coleta, n_2 é o número total de indivíduos na segunda coleta e m_2 o número de indivíduos marcados encontrados na segunda coleta (Fernandez 1995). É necessário, tanto no monitoramento das populações quanto das comunidades, a avaliação periódica das condições tróficas e topoclimáticas das cavernas.

4.7 Apresentação dos resultados

Sugere-se que para a apresentação dos dados levantados em inventários e monitoramentos sejam

construídas listas ou tabelas com a composição, riqueza, abundância, diversidade e dominância nas comunidades, além da descrição das características físicas, tróficas e topoclimáticas específicas de cada cavidade. Além disto, deve-se destacar a ocorrência de interações observadas (agregações, predação, parasitismo e associações com os detritos) e das espécies com características troglomórficas, raras e registros novos para a ambiente de cavernas. Sugere-se a comparação e contextualização da fauna das cavernas amostradas através da construção de gráficos, dendrogramas de similaridade e curvas do coletor para as cavernas amostradas. A comparação e contextualização da fauna das cavernas amostradas com dados de literatura também são de importância primordial. Fotos e mapas georreferenciados ilustrativos também podem ser utilizados para uma melhor apresentação dos resultados.

4.8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLAN, J. D. **Stream ecology**: structure and function of running waters. Michigan: Kluwer Academic, 1995. 388 p.
- AULER, A. Relevância de cavidades naturais subterrâneas - contextualização, impactos ambientais e aspectos jurídicos. In: **BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento. Projeto BRA/01/039. Brasília, 2006. 166p.** (Apoio à Reestruturação do Setor Energético. Relatório N° 1).
- AULER, A. E.; RUBBIOLI, E.; BRANDI, R. **As grandes cavernas do Brasil**. Belo Horizonte: Grupo Bambuí de Pesquisas Espeleológicas, 2001. 228 p.
- AULER, A.; ZOGBI, L. **Espeleologia**: noções básicas. São Paulo: Redespeleo Brasil, 2005. 104 p.
- BARR, T. C. **Observations on the ecology of caves**. American Naturalist, Chicago, n. 992, v.101, p. 474-489, 1967.
- BARR, T.C.; KUENHE, R. A. **Ecological studies in the mammoth Cave ecosystems of Kentucky**. II. The Ecosystem. Annales de Speleologie, Paris, v. 26. p. 47-96, 1971.
- CALLISTO, M.; ESTEVES, F. A. Distribuição da comunidade de macroinvertebrados bentônicos em um lago amazônico impactado por rejeito de bauxita, Lago Batata (Pará, Brasil). *Oecologia Brasiliensis*. In: ESTEVES, F. A. (Ed.). **Estrutura, funcionamento e manejo de ecossistemas brasileiros**. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro. Instituto de Biologia. Programa de Pós-Graduação em Ecologia v. 1, p. 281-291, 1995.
- CAMACHO, A. I. (Ed.). **The natural history of biospeleology**. Madrid: SCIC, 1992. 680 p. (Monografías del Museo Nacional de Ciencias Naturales).
- CULVER, D.C. **Cave life evolution and ecology**. Cambridge/Massachussets/London: Harvard University, 1982. 189 p.
- CUMMINS, K.W.; WILZBACH, M.A.; GATES, D.M.; PERRY, J.B.; TALIAFERRO, W.B. **Shredders and riparian vegetation**. Bioscience. Washington, v. 39, n. 1, p. 24-30, 1989.
- DEVÁI, G. **Ecological background and importance of the change of chironomid fauna in shallow Lake Balaton**. Hidrobiologia, v. 1991, p.189-198, 1990.
- FERREIRA, R. L. **A medida da complexidade ecológica e suas aplicações na conservação e manejo de ecossistemas subterrâneos**, 2004. 158 p. Tese (Doutorado em Ecologia. Conservação e Manejo da Vida Silvestre) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.
- FERREIRA, R. L.; HORTA, L. C. S. **Natural and Human Impacts on Invertebrate communities in Brazilian Caves**. Brazilian Journal of Biology, São Carlos, v. 61, n. 1, p. 7-17, 2001.
- FERREIRA, R. L.; MARTINS, R. P. **Diversity and distribution of spiders associated with bat guano piles in Morrinho cave (Bahia State, Brazil)**. Diversity and Distributions, Oxford, v. 4, p. 235-241, 1998.
- FERREIRA, R. L.; MARTINS, R. P. **Trophic structure and natural history of bat guano invertebrate communities with special reference to brazilian caves**. Tropical Zoology, v. 12, n. 2, p.231-259, 1999.

- FERREIRA, R. L.; MARTINS, R. P. **Cavernas em risco de extinção**. *Ciência Hoje*, v. 29, n. 173, p. 20-28, 2001.
- FERREIRA, R. L.; POMPEU, P. S. **Riqueza e diversidade da fauna associada a depósitos de guano na gruta Taboa, Sete Lagoas, Minas Gerais, Brasil**. *O Carste*, Belo Horizonte, v. 9, n. 2, p. 30-33, 1997.
- GALAS, J.; BEDNARZ, T.; DUMNICKA, E.; STARZECKA, A.; WOJTAN, K. **Litter decomposition in a mountain cave water**. *Archive Hydrobiology*, v. 138, n. 2, p. 199-211, 1996.
- GILBERT, J.; DANIELPOL, D. L.; STANFORD, J. A. **Groundwater ecology**. San Diego: Academic, 1994. 571 p.
- GILLIESON, D. **Caves: processes, development and management**. Cambridge: Blackwell, 1996. 324 p.
- GUANO SPELEO. **Curso de Introdução à espeleologia**. Belo Horizonte: UFMG/IGC, 2004. 47p. Apostila.
- GRAENING, G. O. **Ecosystem dynamics of an ozark cave**. 2000. 99 p. (Ph.D.) - University of Arkansas, Arkansas.
- HOLSINGER, R.; CULVER, D. C. **The invertebrate cave fauna of Virginia and a part of eastern Tennessee: zoogeography and ecology**. *Brimleyana*, v. 14, p. 1-162, 1988.
- HOWARTH, F. G. **Ecology of cave arthropods**. *Annual Review of Entomology*, Palo Alto, v. 28, p. 365-389, 1983.
- JASINSKA, E. J.; KNOTT, B.; MCCOMB, A. J. **Root mats in ground water: a fauna-rich cave habitat**. *Journal of North American Benthological Society*, Glenview, v. 15, n. 4, p. 508-519, 1996.
- KOHLER, H. C. **Geomorfologia Carstica**. In: TEIXEIRA, A. J. G.; CUNHA, S. B. (Org.). **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. 3.ed. Rio de Janeiro: Bertrand, p. 309-334, 2001.
- MACHADO, S. F.; FERREIRA, R. L. **Invertebrados. Biodiversidade em Minas Gerais: um atlas para a sua conservação**. Belo Horizonte: Fundação Biodiversitas, 2005. 94 p.
- MINSHALL, G. W. **Role of allochthonous detritus in the trophic structure of the Woodland springbrook community**. *Ecology*, Washington, v. 48, n. 1, p. 139-149, 1967.
- OLIVEIRA-FILHO, A. T.; FLUMINHAN-FILHO, M. **Ecologia da vegetação do Parque Florestal Quedas do Rio Bonito**. *Cerne*, v. 5, n. 2, p. 051-064, 1999.
- PALMER, A. N. **Origin and morphology of limestone caves**. *Geological Society of America Bulletin*, Boulder, v. 103, n. 1, p. 1-21, 1991.
- PILÓ, L. B. **Ambientes cársticos de Minas Gerais: valor, fragilidade e impactos ambientais decorrentes da atividade humana**. *O Carste*, Belo Horizonte, v. 3, n. 11, p. 50 – 58, 1999.
- POULSON, T. L.; WHITE, W. B. **The cave environment**. *Science*, Washington, v. 165, p. 971-981, 1969.
- PREFEITURA MUNICIPAL DE LUMINÁRIAS-MG. **Luminárias: 54 anos de emancipação política**. Luminárias, MG, 2005.
- PROUS, X.; FERREIRA, R. L.; MARTINS, R. P. **Delimitation of epigeal-hypogean ecotone zone in two limestone caves in southeastern Brazil**. *Austral Ecology*, v. 29, p. 374-382, 2004.
- SANCHEZ, L. E. **O sistema, unidade lógica de referência dos estudos espeleológicos**. *Espeleotema*, Campinas, v. 16, p. 3-14, 1992.
- SARBU, S. M.; KANE, T. C.; KINKE, B. K. **A chemoautotrophically based cave ecosystem**. *Science*, Washington, v. 272, p. 1953-1955, 1996.
- SOCIEDADE BRASILEIRA DE ESPELEOLOGIA. **Cadastro**. Disponível em: <<http://www.sbe.com.br/>>. Acesso em: 25 abr. 2008.
- SOUZA-SILVA, M. S. **Dinâmica de disponibilidade de recursos alimentares em uma caverna calcária**. 2003. 77 p. Dissertação (Mestrado em Ecologia. Conservação e Manejo da Vida Silvestre) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

SIMON K. S. **Organic matter and trophic structure in karst groundwater**. 2000. 91 p. (Ph.D.) Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University, Virginia.

TRAJANO, E. **Cave faunas in the atlantic tropical rain forest**: composition, ecology and conservation. Biotropica, v. 32, n. 4, p. 882-893, 2000.

TRAJANO, E.; BICHUETTE, M. E. **Biologia subterrânea**: introdução. São Paulo: Redespeleo Brasil, v. 1. p 92, 2006.

Anexo 1 – Artigo de revista

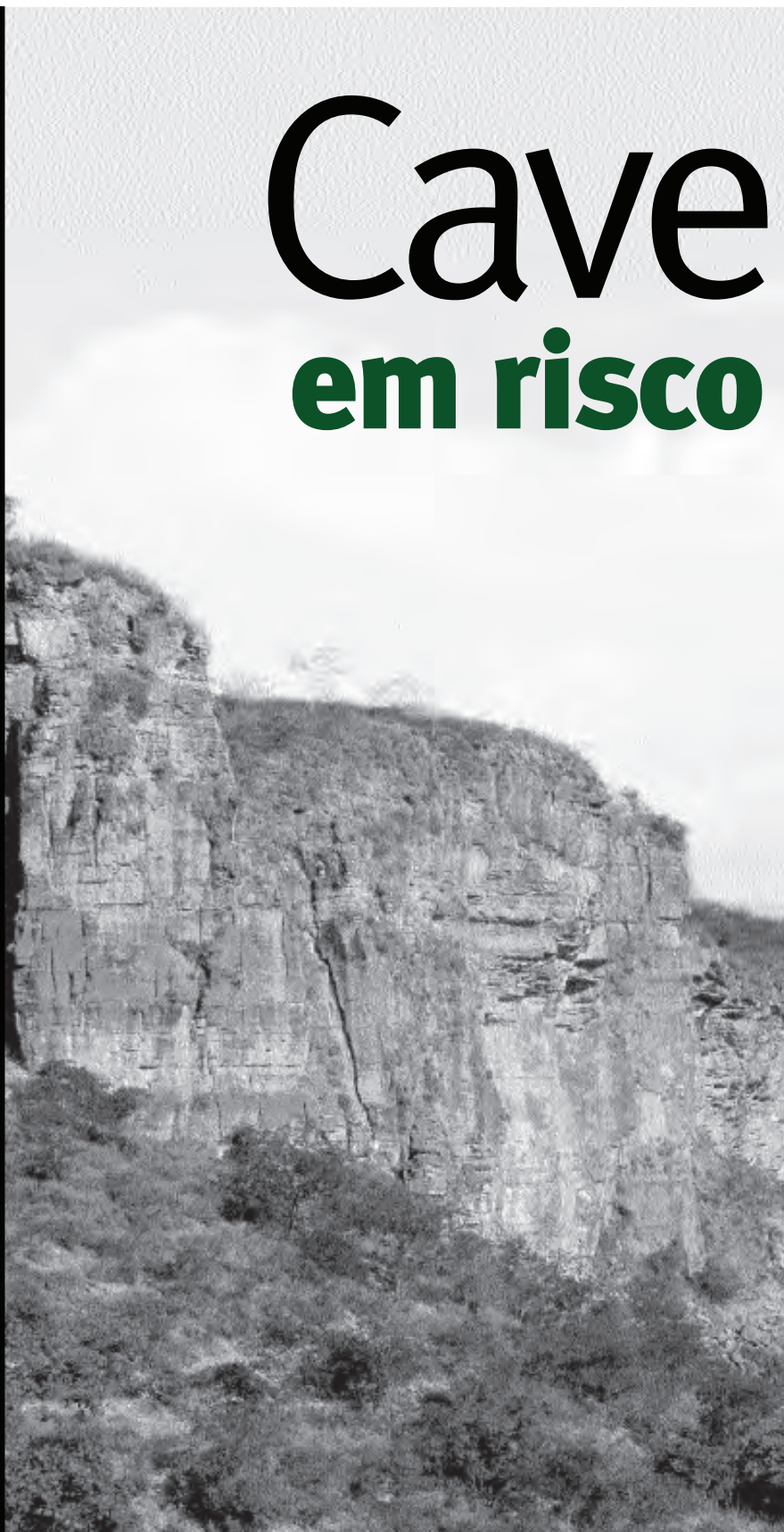
ESPELEOLOGIA

As cavernas brasileiras, bastante ameaçadas por atividades humanas, também têm sua preservação dificultada pela escassez de estudos sobre esses ecossistemas. Hoje, só estão protegidas por lei aquelas em que existem animais ‘troglóbios’, ou seja, aqueles que passam toda a vida nesses ambientes. Mas é preciso mudar esse critério, já que muitas cavernas, mesmo sem organismos desse tipo, têm uma fauna variada e complexa. As decisões sobre a preservação de cavernas devem basear-se não só na presença de troglóbios, mas também em aspectos ecológicos, como a complexidade biológica e as influências dos ecossistemas externos sobre a vida em seu interior.

**Rodrigo Lopes Ferreira e
Rogério Parentoni Martins**
*Laboratório de Ecologia
e Comportamento de Insetos,
Departamento de Biologia Geral,
Universidade Federal
de Minas Gerais*

20 • CIÊNCIA HOJE • Vol. 29 • nº 173

Cave em risco



Anexo 1 – Artigo de revista - continuação

rnas de 'extinção'

As cavidades naturais subterrâneas – ou cavernas, como são mais conhecidas – despertam grande fascínio e interesse, desde tempos antigos, como é demonstrado pelas pinturas rupestres encontradas em várias delas (figura 1). Apesar do aspecto inóspito, as cavernas são verdadeiras 'extensões' subterrâneas do ambiente externo circundante, do qual recebem muitas influências. De fato, tais formações geológicas constituem ambientes especiais, sobretudo pela fauna peculiar que as habita.

A maioria das cavernas forma-se em um complexo de rochas sedimentares, em constante modificação, de-

Figura 1.
Pinturas rupestres encontradas em caverna do município de Carinhanha (BA)



FOTOS: ETOLE RABELO

julho de 2001 • CIÊNCIA HOJE • 21

Anexo 1 – Artigo de revista - continuação

ESPELEOLOGIA

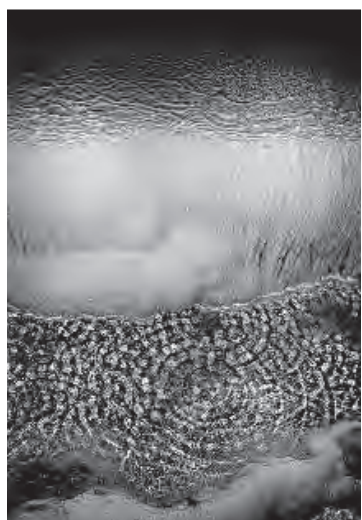


Figura 3. Espeleotema sendo formado pelo gotejamento da água na lapa do Janelão, situada nos municípios de Januária e Itacarambi (MG)

FOTO RODRIGO L. FERREIRA

micos de diversos formatos (figura 3). Desmoronamentos da rocha também podem formar galerias amplas, como a da gruta dos Brejões, na Bahia (figura 4).

A ausência permanente de luz solar – a condição mais extrema nas cavernas – impede o desenvolvimento de plantas, os produtores primários (organismos que geram matéria orgânica a partir de compostos inorgânicos) mais importantes em terra. Além disso, a umidade é sempre elevada em seu interior e a temperatura, especialmente em áreas mais dis-

Figura 4. Entrada da gruta dos Brejões, no município de Ouro-lândia (BA)



FOTO RODRIGO L. FERREIRA



FOTO ECO L. RUBIOU

Figura 2. Toca da Barriguda, caverna existente no município de Campo Formoso (BA)

nominado ‘carste’. A infiltração de água dissolve lentamente essas rochas (os tipos principais são calcário e dolomito) e esculpe variadas feições internas, gerando diferentes tipos de cavernas. A dissolução da rocha cria os ‘condutos’, ou galerias (figura 2), e os ‘espeleotemas’, depósitos químicos de diversos formatos (figura 3). Desmoronamentos da rocha também podem formar galerias amplas, como a da gruta dos Brejões, na Bahia (figura 4).

A matéria orgânica particulada é levada para as cavernas, de modo contínuo ou intermitente, por fenômenos físicos (em geral por rios ou enxurradas que ali penetram) ou por animais que buscam abrigo nesses locais mas saem periodicamente à procura de alimento. Mesmo em pequena quantidade, os recursos vindos do exterior (restos de animais ou vegetais, entre outros) são importantes nas cadeias alimentares das comunidades cavernícolas, sejam terrestres ou aquáticas. Compostos orgânicos dissolvidos, bactérias e protozoários também podem chegar às cavernas na água que se infiltra através das rochas.

Anexo 1 – Artigo de revista - continuação

ESPELEOLOGIA



FOTO RODRIGO L. FERREIRA

Figura 5. Pequeno grupo de morcegos, animais troglóxenos (que saem das cavernas para buscar alimento)

Além desses materiais, outras fontes de recursos são fezes ou cadáveres de animais que transitam por ali com certa regularidade (morcegos, por exemplo). Esses recursos são especialmente importantes nas cavernas permanentemente secas. A disponibilidade dos diferentes tipos de recursos alimentares, o modo como são disseminados e sua distribuição espacial influenciam a composição da fauna cavernícola e sua diversidade (quantidade de espécies e de indivíduos em cada uma). Já que muitos organismos colonizam esses ambientes através de suas entradas, a distância destas ao interior também pode ser importante na ocorrência e distribuição de alguns grupos, sobretudo invertebrados.

Em função das características das cavernas, os organismos que as habitam têm diferentes graus de especialização. Os 'troglóxenos' – do grego *troglos* (caverna) e *xeno* (externo) – frequentam as cavernas, mas têm de sair para se alimentar, como morcegos, aves e alguns insetos (figura 5). Esses animais são as principais fontes de matéria orgânica (suas fezes ou carcaças) para a constituição das cadeias alimentares de muitas cavernas. Os 'troglófilos' – do grego *filo* (amigo) – podem completar o ciclo de vida dentro e/ou fora das cavernas, como muitos insetos e aracnídeos (figura 6). Já os 'troglóbios' – de *bio* (vida) – nascem, reproduzem-se e morrem sem sair das cavernas (figura 7). Esses animais têm especializações morfológicas (como redução dos olhos e dos pigmentos), fisiológicas ou comportamentais que provavelmente evoluíram em resposta às pressões seletivas presentes em cavernas (como escassez de alimentos) e/ou à ausência de pressões típicas do meio externo (como a luz).

As comunidades cavernícolas podem ser aquáticas e terrestres. As aquáticas vivem em lençóis freáticos ou cursos d'água. Esses organismos tendem a se distribuir por todo o volume da água, desde que existam nutrientes. As comunidades terrestres podem ser 'paraepígeas' (com espécies que vivem de preferência junto à entrada da caverna), 'recurso-espaco-dependentes' (com espécies que vivem em áreas internas, mas apenas onde há recursos) ou 'recurso-espaco-independentes' (organismos capazes de se deslocar por grandes espaços em busca de alimento).

São comuns, nas comunidades paraepígeas, espécies que vivem dentro ou fora das cavernas, pois a entrada é uma área de transição entre os dois ambientes (um 'ecótono', segundo os ecólogos). Comunidades recurso-espaco-dependentes incluem em geral pequenos organismos (poucos milímetros de comprimento) e de mobilidade limitada, incapazes de percorrer periodicamente grandes extensões atrás de alimento, como os associados a depósitos de guano de morcegos (ver 'Guano: fonte de vida nas cavernas', em CH nº 146). Já as comunidades recurso-espaco-



FOTO XAVIER PROUS

Figura 6. Aracnídeo do gênero *Heterophrynus*, um invertebrado troglófilo – que pode ou não sair das cavernas



FOTO EZIO L. RUBIO

Figura 7. Crustáceos isópodes do gênero *Thaylandoniscus*, organismos troglóbios – que passam toda a vida dentro de cavernas

Anexo 1 – Artigo de revista - continuação

ESPELEOLOGIA



FOTO RODRIGO L. FERREIRA

Figura 8. Mineração de calcário (A) em Pains (MG), mostrando o conduto da caverna parcialmente destruído, e iluminação artificial (B) na gruta Rei do Mato, em Sete Lagoas (MG)

independentes são constituídas por organismos maiores, que podem percorrer em pouco tempo áreas extensas – a maioria dos invertebrados encontrados em cavernas (grilos, aranhas, piolhos-de-cobra, opiliões e outros) faz parte dessas comunidades. Esses animais são atraídos por grandes depósitos de recursos, mas não se limitam àquele local.

As espécies que constituem as comunidades cavernícolas, portanto, apresentam diferentes histórias evolutivas e podem mostrar variadas interações (entre elas e com o ambiente) que ampliam a chance de a comunidade permanecer ‘indefinidamente’ no sistema cavernícola, mantidas as condições ambientais e a importação de nutrientes. O grau de estruturação de uma comunidade cavernícola não depende do número de espécies que a compõe, e sim da força das interações. São estas que possibilitam a coexistência, a longo prazo, de muitas espécies.

Ameaça à vida nas cavernas

As comunidades cavernícolas são, em muitos aspectos, bastante peculiares. Por isso, quaisquer impactos nesses ambientes podem ser bem mais prejudiciais a esses organismos que os ocorridos em sistemas externos. Impactos são alterações bruscas no ambiente ou em partes deste, resultantes de atividades naturais ou humanas.

Cavernas calcárias passam, em sua evolução geológica, por períodos de total escuridão e maior estabilidade ambiental que o meio externo. A situação ambiental, no entanto, depende do tipo de caverna e da etapa em que se encontra em sua evolução geológica: elas podem apresentar diferentes condições ambientais, influenciadas claramente pelo regime climático externo (local e regional). As atividades humanas de efeito indireto sobre elas, como o desmatamento ou a poluição de rios, ou de impacto direto, como minerações de calcário ou exploração turística (figura 8), podem causar sérios danos à sua fauna, em especial reduzindo o número de espécies, e o mesmo vale para usos mais inusitados, como a prática de esportes ou cerimônias religiosas (figura 9).

Anexo 1 – Artigo de revista - continuação

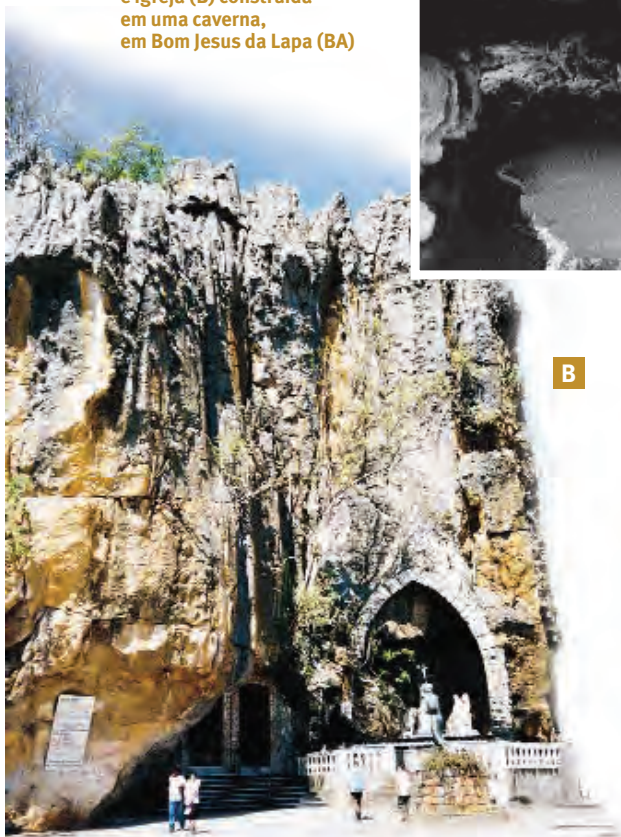
ESPELEOLOGIA

As cavernas são importantes para os ecossistemas onde estão inseridas. Os ambientes cavernícolas podem ser desestruturados por mudanças no meio externo, decorrentes de fenômenos naturais ou ações humanas, e isso também pode, a médio ou longo prazos, comprometer o estado de conservação do próprio ambiente externo. Diferenças na drenagem subterrânea da água causadas por desabamentos em cavernas, por exemplo, podem induzir alterações no regime hídrico do meio externo, com variados impactos sobre as espécies aquáticas e as comunidades ripárias (que vivem no limite entre ecossistemas terrestres e aquáticos). Além disso, a retirada das espécies de morcegos que comem frutas de cavernas parece reduzir as taxas de polinização e de dispersão de sementes na vegetação externa, o que a longo prazo pode empobrecer a variabilidade genética de muitas populações de plantas.

Estudos detalhados em sistemas cavernícolas são essenciais para a adequada caracterização do ecossistema em que as cavernas se inserem e para a conservação de ambos. Além disso, as cavernas, como ecossistemas distintos e peculiares, devem ser preservadas independentemente do tipo de ecossistema no qual se situem.

Para essa preservação, é fundamental que a situação 'original' de uma caverna calcária (permanente escuridão e estabilidade ambiental) não sofra modificações. Em geral, impactos que produzem alterações rápidas e intensas podem causar distúrbios mais sérios, inclusive levando à extinção algumas espécies. A intensidade do impacto tem, portanto, maior influência sobre a capacidade de reestruturação de comunidades cavernícolas que o tempo decorrido desde a ocorrência desse impacto.

Figura 9. Campo de futebol (A) no interior da gruta Pontes do Sumidouro, em Campo Formoso (BA), e igreja (B) construída em uma caverna, em Bom Jesus da Lapa (BA)



FOTOS RODRIGO L. FERREIRA

Organismos cavernícolas no Brasil

A fauna cavernícola brasileira começou a ser relativamente bem pesquisada a partir dos anos 80, mas tais estudos só foram intensos em poucas cavernas, todas calcárias. Há no país, registradas na Sociedade Brasileira de Espeleologia (SBE), em torno de 3 mil cavernas, mas a própria SBE estima que isso representa apenas 5% do patrimônio espeleológico nacional. Existiriam, portanto, cerca de 60 mil cavidades no território nacional, a grande maioria ainda desconhecida.

Das 3 mil cavernas conhecidas, cerca de 300 foram estudadas do ponto de vista biológico, mas na maioria dos casos esses estudos restringiram-se a levantamentos da fauna. Mesmo se forem considerados apenas os dados desse tipo acumulados nos últimos anos, é evidente a necessidade de preservação desses ambientes.

Anexo 1 – Artigo de revista - continuação

ESPELEOLOGIA



FOTO: GEORGETE BURTA

Figura 10. Bioespeleólogo coletando um invertebrado, na gruta Alta Tensão, em São José da Lapa (MG)

Em 1994, um artigo publicado nos *Papéis Avulsos de Zoologia*, da Universidade de São Paulo, listou a fauna cavernícola brasileira coletada desde o início do século, incluindo 613 espécies (537 invertebrados e 76 vertebrados). No entanto, estudos do Laboratório de Ecologia e Comportamento de Insetos, da Universidade Federal de Minas Gerais, realizados desde março de 1999 em 80 cavernas (até o momento), registraram mais de 1.500 espécies de invertebrados, 10% das quais já citadas no artigo de 1994. A quantidade de novos registros revela não só o expressivo potencial biológico das cavernas brasileiras mas também a situação de quase total desconhecimento de sua fauna – decorrente, em grande parte, da escassez de bioespeleólogos (figura 10).

Do total de espécies coletadas em cavernas brasileiras, apenas uma pequena parte é troglóbia, e grande parte dos esforços da bioespeleologia nacional concentrou-se nessas espécies. Animais como *Pimelodella kronei* (um bagre cego de cavernas do sul de São Paulo), *Trichomycterus itacarambiensis* (outro bagre cego, do norte de Minas Gerais), *Aegla cavernicola* (lagostim troglóbio de cavernas de São Paulo), *Poticoara brasiliensis* (crustáceo só encontrado até agora no Brasil, em cavernas do Mato Grosso do Sul), *Potamolitus troglobius* (molusco de cavernas do sul de São Paulo), entre outros, têm sido estudados em detalhe, resultando em preciosas contribuições para a compreensão da biologia e evolução dessas espécies.

Assim como o número de cavernas, as espécies troglóbias conhecidas no Brasil representam apenas uma pequena fração do total existente. Levando-se em conta a estimativa de que existiriam no país cerca de 60 mil cavernas, pode-se esperar que ainda sejam descobertas centenas de novas espécies troglóbias.

A importância da preservação

O uso das cavernas brasileiras está sujeito ao controle e fiscalização do poder público, segundo a Portaria 887 (de 15 de junho de 1990) do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama), e o Decreto Federal 99.556 (de 1º de outubro do mesmo ano), que determinam a preservação desses ambientes. O órgão executor dessa legislação é o Ibama, que atua nessa área através do Centro Nacional de Estudo, Proteção e Manejo de Cavernas (Cecav), criado em 1997.

A preservação do patrimônio espeleológico havia sido proposta desde 1987 pela Resolução 005 (de 6 de agosto de 1987) do Conselho Nacional de Meio Ambiente (Conama), que também incluía os animais troglóbios “na relação dos animais em perigo de extinção”. Assim, qualquer espécie troglóbia é considerada ameaçada de extinção, por sua distribuição restrita e alto grau de endemismo, e qualquer cavidade que contenha espécies desse tipo está protegida por lei e deve ser preservada (incluindo a área em torno).

Esse critério legal é bastante útil, dada a especialização de formas, funções e comportamentos dos troglóbios, mas vincular a preservação de cavernas apenas à presença dessas espécies restringe drasticamente a proteção desses ambientes, até porque tais organismos são bastante raros. Embora a grande maioria dos troglóbios seja despigmentada e tenha olhos reduzidos (ou não os tenha), o que os define de fato é a ocorrência restrita ao ambiente cavernícola. Há organismos ‘brancos e cegos’ que não são troglóbios e há troglóbios pigmentados e com olhos. Por isso, a inclusão de organismos nessa categoria é complicada mesmo para os especialistas.

Outro fator importante é a existência de cavernas com ambientes que favorecem a ocorrência de grande número de espécies, que podem apresentar, em conjunto, uma série de interações importantes. Graças ao alto número de espécies e interações, são excelentes locais para a pesquisa ecológica. Por isso, mesmo que cavernas com tais características não tenham espécies troglóbias, também devem ser preservadas.

A preservação deve ser orientada por duas perspectivas. A primeira, evolutiva, determina a proteção de cavernas que contêm espécies troglóbias, testemunhas da evolução. Esse critério é a base da le-

Anexo 1 – Artigo de revista - continuação

ESPELEOLOGIA

gislação atual. A outra perspectiva, ecológica – aqui proposta – asseguraria a proteção de cavernas de alta complexidade ecológica, ou seja, aquelas com comunidades ricas (grande número de espécies) e com muitas interações, tendo ou não troglóbios. Nessa ótica, a caverna é uma ‘unidade ecológica’, caracterizada pelas interações entre espécies que dependem das peculiaridades do ambiente, entre elas a quantidade e qualidade dos recursos alimentares.

A manutenção da vida nas cavernas depende da estrutura das comunidades, dos processos ecológicos que ali ocorrem e até das interações entre os meios interno e externo. Para a caracterização biológica de uma caverna, é fundamental conhecer a estrutura da comunidade (número de espécies detritívoras e predadoras, entre outras informações) e as características de cada espécie, lembrando que, do ponto de vista ecológico, um organismo troglóbio é apenas mais uma peça do quebra-cabeças. Além disso, é preciso compreender processos ecologicamente importantes que ali ocorrem, como taxas de decomposição e mecanismos de importação de recursos alimentares. Não menos importante é determinar as relações entre os ecossistemas externos e os cavernícolas, já que esses últimos dependem dos recursos que vêm dos primeiros.

Por que preservar a complexidade?

A complexidade de um ecossistema depende de fatores bióticos e abióticos, que determinam comunidades com grande quantidade de interações ecológicas. O termo ‘conectância’ diz respeito ao número de interações efetivas entre as espécies de uma comunidade em relação ao número de interações possíveis entre elas. Comunidades complexas tendem a apresentar maior conectância: nelas, as espécies apresentam vários níveis de interação, ou seja, interação de modo distinto com várias outras.

Cavernas são ecossistemas de complexidade variável: umas são relativamente simples e outras muito complexas. Em geral, as situadas em regiões tropicais são mais complexas que as de áreas temperadas. Para comunidades dependentes de depósitos de guano de morcegos, essa diferença é marcante: as de cavernas tropicais são bem mais complexas. A avaliação da complexidade de

ecossistemas cavernícolas permite identificar aqueles ecologicamente expressivos, que merecem ser preservados (tanto quanto os que têm organismos troglóbios). Tais organismos são, portanto, ‘indicadores evolutivos’ para a preservação de cavernas, enquanto a complexidade biológica é um ‘indicador ecológico’ para isso.

O grau de complexidade biológica de uma caverna pode ser expresso através de um índice desenvolvido (pelos autores) no Laboratório de Ecologia e Comportamento de Insetos (ver ‘Uma medida da complexidade’). O índice representa a complexidade através da conectância potencial da comunidade presente na caverna. Cavernas mais ricas em espécies e com distribuição mais homogênea de populações pequenas, médias e grandes são consideradas biologicamente mais ‘complexas’ que as menos ricas e com maior disparidade de tamanhos populacionais (muitas espécies com populações reduzidas e poucas com populações médias e grandes, por exemplo). As primeiras apresentam maior conectância potencial do que as últimas.

É importante ressaltar que esse índice – uma primeira tentativa de quantificar a complexidade biológica em cavernas – é restrito, pois leva em conta apenas dois parâmetros (número de espécies e abundância das respectivas populações), sendo um deles quantitativo e outro qualitativo. Deve, portanto, ser usado com cautela. O valor obtido não expressa todos os fatores que precisam ser avaliados quando se quer definir a necessidade de preservação de uma caverna – não inclui, por exemplo, aspectos evolutivos, tróficos, climáticos,

A medida da complexidade

O Índice de Complexidade Biológica em Cavernas (ICBC), descrito em trabalho publicado no *Brazilian Journal of Biology*, permite comparar a riqueza (em espécies de invertebrados) de uma caverna com as abundâncias relativas das diferentes populações dessas espécies. Para obter o índice (em sua formulação mais simples), determina-se o percentual, do total de espécies da caverna, incluído em cada categoria de tamanho populacional (populações pequenas, médias ou grandes). Em seguida, calcula-se a amplitude entre esses percentuais (a diferença simples do primeiro para o segundo e do segundo para o terceiro, sem sinal de positivo ou negativo), encontrando-se dois valores modulares de ‘distância numérica’. Obtém-se, então, a média desses valores (amplitude média entre os percentuais populacionais). Essa amplitude média é multiplicada por 100 e dividida pelo percentual máximo encontrado na caverna. O quadrado da riqueza (número de espécies) da caverna é dividido pelo número obtido no cálculo acima (chamado de amplitude populacional relativa) para chegar ao ICBC. O uso da riqueza de espécies ao quadrado visou dar maior peso a essa variável, relevante para a complexidade em qualquer sistema biológico. Está sendo trabalhada a inclusão de outras variáveis (distribuição dos indivíduos no interior da caverna, por exemplo), para tornar o índice mais detalhado e realista.

Anexo 1 – Artigo de revista - continuação

ESPELEOLOGIA

Sugestões
para leitura

FERREIRA, R. L. e HORTA, L. C. S. 'Natural and human impacts on invertebrate communities in Brazilian caves', in *Brazilian Journal of Biology*, v. 61(1), p. 7, 2001.

FERREIRA, R. L. e MARTINS, R. P. 'Diversity and distribution of spiders associated with bat guano piles in Morrinho cave (Bahia State, Brazil)', in *Diversity and Distributions*, v. 4, p. 235, 1998.

FERREIRA, R. L. e MARTINS, R. P. 'Trophic structure and natural history of bat guano invertebrate communities with special reference to Brazilian caves', in *Tropical Zoology*, v. 12(2), p. 231, 1999.

hidrogeológicos e outros, importantes em estudos desse tipo. Apesar disso, o índice vem mostrando ser útil para uma avaliação direta da fauna cavernícola, aspecto essencial para a preservação de qualquer ecossistema desses.

O carste como unidade de conservação

O principal desafio para a conservação das cavernas brasileiras é, como ocorre em outras partes do mundo, a escassez de estudos sobre tais ambientes. A proteção depende de informações ecológicas, muitas ainda inexistentes no caso das cavernas do país, como a identificação dos limites entre os ambientes externo e interno, a caracterização das zonas de maior oferta de recurso e a determinação e quantificação das principais vias de importação de recursos.

Outro grande desafio é educar a população quanto à importância de preservar esses ecossistemas. Para isso, o conjunto de informações necessárias à preservação deve não apenas ser gerado, mas também ser divulgado para a população, através de práticas de educação ambiental, sendo essencial formar profissionais capacitados a realizar essa tarefa. Caberá a eles fornecer, a cada indivíduo, uma visão completa do ambiente cavernícola, abrangendo todos os seus aspectos (geológicos, biológicos e outros), de forma a despertar o interesse por sua conservação.

Historicamente, a grande atenção dada a espécies troglóbias permitiu acumular bastante informação sobre esse grupo, mas impediu a compreensão das cavernas como uma unidade funcional complexa, da qual os troglóbios são apenas um dos componentes. Todo esse conhecimento é, em si, pouco útil para a conservação efetiva das cavernas: de que adianta conhecer bem apenas um componente de um sistema quando se deseja preservar toda sua estrutura e seus processos ecológicos?

Uma caverna, portanto, deve ser considerada uma unidade funcional, integrada por muitas espécies, que exibem diferentes graus de especialização e dependem de processos ecológicos (como o aporte de recursos). Mas isso ainda não basta para a preservação eficiente da fauna desses ambientes. Muitos têm forte dependência em relação ao meio externo e, caso este se altere, as comunidades cavernícolas podem se desestruturar. Assim, a proteção deve basear-se em uma perspectiva mais ampla: é preciso entender as cavernas como componentes do carste (o complexo de rochas sedimentares onde se formam), e este deve ser a unidade de estudos (figura 11).

É fundamental, sob esse ponto de vista, manter os ecossistemas externos que integram o carste. Infelizmente, a compreensão de todas as relações existentes entre os diversos componentes do sistema cárstico ainda está muito longe. Por isso, para preservar as cavernas, é preciso utilizar os conhecimentos disponíveis: os indicadores evolutivos (a presença de troglóbios) e ecológicos (a complexidade biológica). Mesmo assim, para ampliar as possibilidades de preservação, seria importante aumentar os recursos para pesquisas nessa área, inclusive tomando o carste como objeto de estudo – só assim será obtido o conhecimento adequado à superação desse desafio. ■

FOTO RODRIGO L. FERREIRA

Figura 11. Carste localizado no município de Doresópolis (MG), onde existem algumas pequenas cavernas



5 ANÁLISE DE IMPACTOS AMBIENTAIS EM TERRENOS CÁRSTICOS E CAVERNAS

Cristiano Fernandes Ferreira

CECAV

5.1 Introdução

Os ambientes cársticos são delicados por natureza e denotam maior complexidade à gestão ambiental, na medida em que costumam esconder algumas das suas feições mais notáveis e importantes: cavernas, redes subterrâneas de drenagem, vazios oclusos e inacessíveis nos maciços.

Não se analisa uma região com características cársticas apenas levando-se em conta os aspectos superficiais, que normalmente são considerados nos estudos de impactos. O endocarste é determinado pelo exocarste, que por sua vez, determina o endocarste, numa relação intrínseca e dinâmica.

Apesar de não serem as únicas feições de destaque e de caráter inusitado, são certamente figuras centrais nas análises de tais ambientes, juntamente com outras importantes feições, como as surgências e sumidouros, as dolinas, os paredões encastelados, cheios de canyons e lapíais.

Mesmo em regiões consideradas anteriormente como pseudocársticas, como as que ao contrário das rochas carbonáticas são tomadas por rochas ditas menos solúveis, como os minérios de ferro ou pacotes siliciclásticos, têm sido observados fenômenos comuns e situações de semelhante fragilidade àquelas observadas nos ditos terrenos cársticos autênticos.

Essas características de interrelação das feições cársticas, superficiais e subterrâneas, concorrem para uma maior susceptibilidade a impactos ambientais que, dependendo do tipo, podem afetar áreas bem mais distantes, como outras bacias hidrográficas (adjacentes) e numa rapidez nem sempre compatível com possíveis ações de controle. Essas regiões possuem a capacidade de encobrir os impactos em locais não imaginados e de acumulá-los de forma a induzir cenários trágicos repentinos, como no caso dos abatimentos em áreas

urbanas. E o pior é que, na grande parte das vezes, os danos são irreversíveis, pelo caráter não renovável das feições (das cavernas e seus espeleotemas), bem como de sua fauna tão especializada e desenvolvida sob condições críticas, irreproduzíveis.

Na seqüência serão abordados os diversos tipos de atividades humanas causadoras de impactos, que serão lembrados e debatidos. Muitas ações ou atividades possuem especificidades capazes de causar danos das mais variadas formas às cavernas, como a mineração, agropecuária, turismo, represas, obras lineares e de engenharia, urbanização (observe a figura 5.1, na qual está reproduzido o carste subjacente no sudeste da cidade de Minnesota-EUA, onde diversos tipos de ações potencialmente danosas estão representadas).

Também serão tratadas algumas formas de controle e minimização dos impactos gerados por tais atividades, promovida uma reflexão sobre as análises de contexto de empreendimentos, a definição de áreas de influência e o monitoramento necessário à aferição da eficácia das medidas de controle de impactos nas cavernas.

5.2 Impactos às cavernas e ambientes cársticos por tipo de atividade

5.2.1 Mineração

As atividades minerárias são talvez as que mais chamam a atenção quando o assunto é degradação ambiental, especialmente relacionada às cavernas. A grande maioria das rochas carstificáveis apresenta aplicações produtivas, algumas mais ou menos valorizadas de acordo com uma série de fatores econômicos, tais como abundância ou escassez local, demanda internacional, entre outros aspectos.

As formações ferríferas, por exemplo, são altamente demandadas pelo mercado internacional, e as cavernas que ocorrem nestes tipos de rocha estão em geral associadas justamente aos maiores teores de ferro.

Por outro lado as rochas carbonáticas, como o calcário, dolomito e mármore têm inúmeras aplicações (veja tabela 5.1) e são muito exploradas para abastecer os mercados internos, geralmente

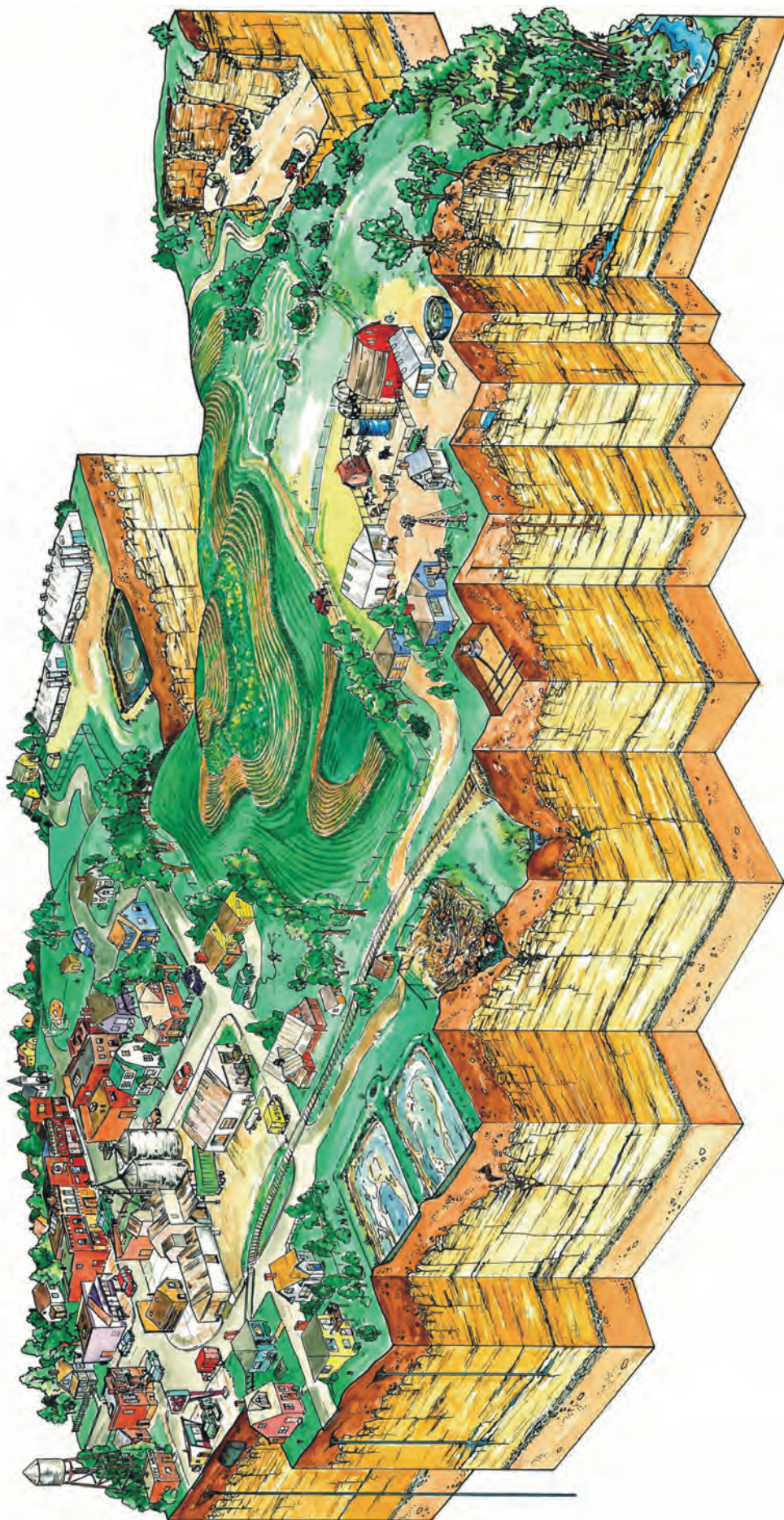


Figura 5.1: Representação do carste subjacente no sudeste da cidade de Minnesota-EUA, onde se observa diversos tipos de atividades antrópicas potencialmente causadoras de impactos ambientais neste frágil tipo de terreno. Fonte: http://www.winona.edu/geology/WRB/WRB/Downloads/SEMN_Karst_Illustration.jpg (autor desconhecido).

associados à agricultura (corretivos), construção civil (cimento, cal, ornamentação) ou demais ramos industriais (fundentes siderúrgicos, indústria química, etc.). Porém, até mesmo cavernas em rochas siliciclásticas, como os quartzitos, têm sido alvo de impactos por atividades minerárias, geralmente relacionadas à construção civil, para ornamentação (Pedra São Tomé, p.ex.).

São várias as formas e causas dos impactos a cavernas em áreas de mineração. Langer (2001) discute diversos tipos de impactos potenciais, como os causados pelas operações de engenharia na extração e beneficiamento, que geram impactos em cascata, relacionados à geomorfologia, poeira, barulho, fauna cavernícola, qualidade de água, e ao aquífero de modo geral.

Tais problemas variam também de acordo com o tipo de mineração e técnicas empregadas (ou falta delas).

As minas no Brasil são, em geral, a céu aberto, especialmente as que extraem minérios onde costumam ocorrer cavernas. Este tipo de mineração tende a causar mais problemas ao meio espeleológico do que as minas subterrâneas, que dificilmente ocorrem em áreas cársticas ou são planejadas de forma a causar conflitos.

Entretanto, é comum observar danos em cavernas por conta de um tipo de mineração pouco usual, a busca por salitre¹, ou até mesmo calcita em suas formas mais puras, atividade que levou muitas cavernas a impactos às vezes significativos em determinados trechos. Jennings (1985) alerta para a extração de minerais e outros produtos viáveis economicamente do interior de cavernas (tais como fertilizantes, pólvora e até afrodisíacos), por exemplo. A Gruta da Pedra Santa em Cantagalo-RJ foi bastante explorada por pessoas que acreditavam no poder das suas calcitas (espeleotemas) em combater a desnutrição infantil, mineral que era triturado e misturado ao leite de crianças.

Outro fator que em geral pode determinar o grau de impacto às cavernas no país é o tamanho do empreendimento minerário.

Frequentemente regiões em que ocorrem pequenos e grandes empreendimentos revelam que aqueles de menor porte são os que mais provocam danos às cavernas, quando comparados a empresas melhor estruturadas (maiores) e, por isso, mais visadas pelos órgãos de proteção ambiental e pelas comunidades.

Tal problema ocorre justamente pela falta de recursos para aplicar no planejamento, controle e monitoramento por parte de pequenos empreendedores.

É muito comum em diversas regiões do Brasil a exploração artesanal de calcários, por exemplo. Utilizam-se de explosivos improvisados, marretas para cominuição dos blocos entre outros instrumentos rústicos. Em geral, tais atividades não são licenciadas pelos órgãos ambientais, ocorrendo clandestinamente por diversos micro-empresendedores, o que leva a uma série de situações indesejáveis do ponto de vista ambiental e social.

Mesmo pequenos empreendimentos que foram licenciados pelos órgãos ambientais ainda podem não conseguir implementar todas as medidas de controle consideradas e acabar afetando o patrimônio espeleológico. Há que se ressaltar que existem, é claro, inúmeros empreendimentos de pequeno e médio porte que conseguem realizar suas atividades sem que incorram em qualquer tipo de problema às cavernas. Da mesma forma que, grandes empreendimentos podem causar danos ao patrimônio espeleológico.

Portanto, deve-se considerar todo tipo de empreendimento da mesma forma, com o mesmo rigor das normas instituídas sem que se faça distinção.

A presença de inúmeras frentes de lavra de pequeno porte, consideradas individualmente num processo de licenciamento, pode sim causar danos

¹ Nitrato de potássio ou de sódio, podendo ocorrer nitratos de cálcio nas cavernas calcárias (nitrocalata $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$). Produto derivado das fezes de morcegos (guano) que vivem nas cavernas e cavidades cársticas. Originam as nitreiras e salitreiras. Foi amplamente extraído na história para a fabricação de pólvora. Existem relatos desse tipo de extração nas grutas de Lagoa Santa-MG e em cavernas dos Estados Unidos, por volta da guerra civil americana.

UTILIDADES DO CALCÁRIO E CAL	
1- Na agricultura para fertilizantes do solo, em fertilizantes, torta para gado, farinha para aves. Também em inseticidas e herbicidas.	
2- Com soda, areia, etc., para fabricar vidros.	
3- Pulverização de minas de carvão para evitar o espalhamento de chamas resultante de explosões localizadas.	
4- Como carga para asfalto, borracha e pastas para limpeza.	
5- Como escorificante e purificante de ferro e aço e outros metais.	
6- Com argila, areia, etc., para fabricação do cimento.	
7- Para fabricação de barrilha (Na_2CO_3) e soda cáustica (NaOH).	
8- Como agregado para concreto, pavimento e lastro de ferrovias.	
9- Com soda, fluorita etc., para a fabricação de aço e outros metais.	
10- Na refinação do açúcar.	
11- Na agricultura para fertilizante do solo.	
12- Na purificação de gases.	
13- Na desidratação de gases, óleos, solvente, etc.	
14- Com coque em fornalhas de arco voltáico para produzir carbureto de cálcio.	
15- Estabilização de solo em construções e estradas.	
16- Com cloro produz pó alvejante seco (cloreto de cal).	
17- Na agricultura e horticultura para fertilização de solo e pesticidas.	
18- Para fazer hidróxido de cálcio medicinal.	
19- Como carga de borracha e outros materiais.	
20- Para fabricação de graxas e para absorver dióxido de carbono.	
21- Para fabricação de tijolos, blocos leves, argamassas, estuque e caiação.	
22- Com óxido de etileno como intermediário para fabricação de plásticos, agentes ativos de superfície e detergentes.	
23- Para tratar minérios e preparar sais não-ferrosos.	
24- Com sulfato de alumínio para produzir Branco Satin – um revestimento brilhante para papel.	
25- Com cloro para produzir solução alvejante para algodão e fabricação de papel.	
26- Para tratar e purificar esgotos e efluentes.	
27- Com dióxido de carbono para produzir carbonato de cálcio precipitado para pastas de dente, cosméticos, etc.	
28- Com caulim, etc., na fabricação de cerâmicas.	
29- Para tratamento e purificação da água.	
30- Para tratamento de peles e couro.	
31- Para purificar constituintes para tintas, vernizes e pigmentos.	
32- Na recuperação de gases de coque para produção de amônia.	
33- Para extração de magnésia da água do mar.	
34- Com óleos e gorduras para fazer velas e graxas.	
35- Para fins medicinais, por exemplo penicilina, aspirina, etc.	
36- Na fabricação e purificação de substâncias corantes.	
37- Para produção de gomas e gelatinas a partir de couros e ossos.	
38- Para purificação de óleos e petróleos.	
39- Para purificação de sal comum.	
40- Em resinas, plásticos e borrachas.	
41- Em compostos orgânicos e inorgânicos e solventes.	
42- Para tratar produtos da destilação da madeira.	
43- Para estiramento de arames.	
44- Para purificação de açúcares e xaropes.	

Tabela 5.1: Sumário dos vários usos das rochas carbonáticas e cal. Fonte: THE OPEN UNIVERSITY (1995), pag. 61.

irreparáveis ao patrimônio espeleológico e ao ambiente cárstico, especialmente se os órgãos ambientais utilizarem-se de pesos e medidas distintas, em função, por exemplo, das condições econômicas de cada empreendedor. Recomenda-se nestes casos a análise conjunta, num processo de gestão ambiental integrado e não apenas de cada empreendimento individualmente.

A associação entre empreendedores também é uma ação a ser incentivada nestes casos, a fim de solucionar impasses financeiros para a realização de estudos e adoção das medidas que se fizerem necessárias.

Independentemente do tamanho do empreendimento mineral ou do seu tipo, os principais impactos aos ambientes cársticos e cavernas são muito parecidos. O mais incisivo deles é, sem dúvida, a **supressão** parcial ou mesmo total da caverna. Tal medida ocorre normalmente em virtude do planejamento de lavra não considerar a localização das cavidades.

Atualmente, a legislação permite tais intervenções, desde que atendidos uma série de critérios estabelecidos.

Tem sido bastante comum a supressão de cavernas com o objetivo simples de se eliminar entraves burocráticos nos processos de licenciamento ambiental, fato que deve ser de grande preocupação dos órgãos ambientais responsáveis.

Também pode ocorrer este tipo de impacto em empreendimentos já licenciados, que durante a fase de operação acabam por suprimir total ou parcialmente cavernas oclusas no maciço, não identificadas durante os estudos ambientais (figura 5.2 e 5.3). Nestes casos é recomendada uma reavaliação da licença, considerando possíveis implicações ambientais resultantes da supressão de tais cavernas.

Outro impacto similar à supressão e bem comum é o **soterramento** ou entulhamento de cavernas, especialmente de suas entradas.

Ocorrem situações de cavernas na base dos maciços serem soterradas com o avanço da lavra a partir do topo, o que pode levar até a sua supressão total (figura 5.4 e 5.5). Também é recorrente que



Figura 5.2: Frente de lavra em Colombo-PR, onde se percebe na seta o que restou da Gruta Cinco Níveis.



Figura 5.3: Frente de lavra em Pains-MG, onde se observa a abertura de uma caverna oclusa no maciço.



Figuras 5.4 e 5.5: Na esquerda caverna encontrada numa área de lavra em Goiás. Na direita, o mesmo local, 3 meses depois. As setas mostram a antiga caverna soterrada.

cavernas presentes no interior de dolinas sejam soterradas por rejeitos ou estéril indevidamente ali colocado, ensejando com isso não apenas impactos diretos pela supressão da caverna como também impactos indiretos relacionados à recarga dos aquíferos.

Há que se considerar a importância de se preservar ao máximo as dolinas nestes tipos de empreendimentos. Assim como a ocorrência de **problemas erosivos** em ambientes de mineração especialmente desencadeados por estéreis ou rejeitos. Portanto, é essencial um projeto de controle dos sedimentos, através de leiras, tanques de decantação, entre outras medidas usuais para se evitar o assoreamento de cursos de água e cavernas.

A Gruta de Bacaetava, no Paraná é um exemplo claro deste tipo de impacto, tendo recebido sedimentos das áreas a montante através do Rio Bacaetava que atravessa diversas minerações antes de entrar nesta cavidade (figura 5.6). Na região, além



Figura 5.6: Sumidouro do Rio Bacaetava na Gruta de Bacaetava-PR. Notar ao fundo blocos detonados em mineração e barras de cascalho no leito do rio, resultado da não contenção de sedimentos a montante.

da detonação de parte da Gruta de Bacaetava, houve também uma incisiva alteração da drenagem natural do Rio Bacaetava, que causou também a destruição de mais de 160 metros da Gruta Escura, localizada a montante (figura 5.7) e atualmente com apenas 90 metros de extensão e diversos impactos.

Outros danos a cavernas bem comuns nestes tipos de empreendimentos são as **rachaduras, deslocamentos** de camadas da rocha e até mesmo abatimentos de galerias. Também se observam **quebras de espeleotemas**, originados geralmente pelos mesmos processos, ou seja, vibrações. Tais abalos ocorrem em geral pela realização de detonações nas proximidades das cavernas ou pela utilização de técnicas inadequadas de desmonte. Bancadas



Figura 5.7: Rio Bacaetava, no Paraná, onde as setas mostram trechos da Gruta Escura destruídos e a redefinição do leito do rio.

muito altas geram fortes abalos pela própria queda da grande massa de rocha retirada. Além de contra indicado pelos aspectos ambientais, tal prática pode ser extremamente perigosa, causando ultralancamento de partículas em um raio bem maior, por exemplo.

O uso simultâneo de quantidades exageradas de explosivos nos diversos furos (sem retardos, por exemplo) também é outro fator causador de abalos, uma vez que a energia liberada não pode ser absorvida a contento pelo pacote rochoso. Tais problemas se devem muitas vezes pela realização de planos de lavra inadequados, que desconsidere os riscos e até mesmo a geração de prejuízos financeiros ao próprio empreendedor, como o desperdício de explosivos ou a necessidade de detonações secundárias.

Deve-se atentar também para danos desta natureza gerados pelo trânsito de máquinas pesadas em locais próximos ou sobre às cavernas, especialmente nas vias de acesso às minas.

Em geral, observa-se nas cavernas a ocorrência de rachaduras, deslocamentos, abatimentos e quebra de espeleotemas, na maioria das vezes ocasionadas por fatores naturais, próprios da evolução da cavidade. Portanto, nem sempre é fácil diferenciar o que é natural do que foi induzido pela atividade antrópica.

Mas, quando o impacto é incisivo, os sinais são flagrantes, geralmente com um acúmulo exagerado

de blocos, rachaduras, espeleotemas com indícios de fraturamentos recentes, como por exemplo, a rocha sã, sem marcas de dissolução ou inundações, comuns nas paredes das cavernas (figuras 5.8, 5.9, 5.10).



Figura 5.8 e 5.9: Na esquerda, caverna em frente de lavra ao norte do Distrito Federal, em Goiás. Na direita, caverna em minério de ferro próxima à frente de lavra na região de Carajás-PA. Em ambas, notar a diferença de cor entre a rocha sã e as rachaduras nas paredes da caverna.

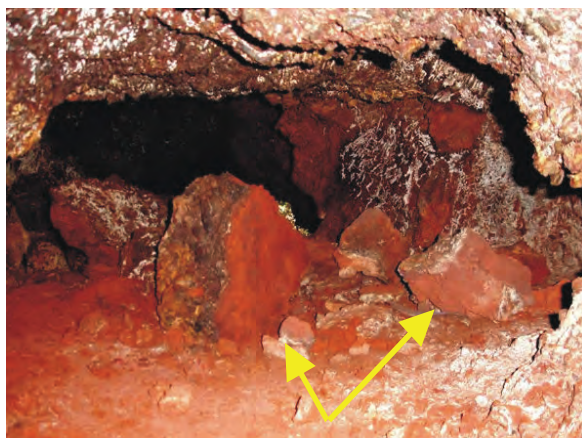


Figura 5.10: Caverna em minério de ferro na região de Carajás-PA, nas proximidades de uma frente de lavra paralisada. Notar a sucessão de blocos abatidos do teto, e diferenças de cor entre a rocha sã e as paredes da caverna.

Ainda relacionado ao problema anterior, ocorrem também impactos ambientais a cavernas por conta da **poluição sonora** e **sobrepresão acústica** resultantes da operação de máquinas e detonações. Tais problemas causam impactos principalmente à fauna cavernícola, sendo de difícil mensuração, mas nem sempre de difícil controle. A manutenção de áreas vegetadas no entorno das cavernas

e a adoção de distâncias de segurança tendem a reduzir os efeitos destes ruídos.

Grande parte dos problemas citados concorre para **alterações**, às vezes importantes, na **dinâmica hídrica** do carste. Por conta do assoreamento causado por minerações em condutos subterrâneos, pode ocorrer o alagamento de porções a montante ou, por vezes, a seca de trechos a jusante anteriormente alagados.

Em casos extremos, há a possibilidade inclusive de desestruturação de galerias por estes motivos, com o abatimento de espaços anteriormente alagados. Ocorreram também casos de minerações que aparentemente causaram a redução de lagos internos em cavernas, como na Gruta Tamboril em Unaí-MG. No caso da já citada região de Bacia de Taubaté-PR, mais de 160 metros de um rio subterrâneo foi destruído e recanalizado em uma mineração. Em muitas minerações, ainda, há o rebaixamento do aquífero, ou seja, o aprofundamento da mineração a porções inferiores ao nível do lençol, causando com isso a inundação das minas e a necessidade de bombeamento de água para a jusante destes locais. Medida que gera bastante impacto, já que pode secar feições próximas, sejam cavernas ou lagoas cársticas.

Muitas vezes as minerações se aproveitam de maciços aflorantes que também funcionam como áreas de recarga, com inúmeros laplôs, corredores de diáclases e dolinas. Tais medidas além de poder expor condutos ativos, resultam em menor captação de água pelo ambiente subterrâneo, o que pode levar a déficits hídricos em cavernas a jusante.

É comum também problemas de poluição de águas em mineradoras, geralmente associados à disposição inadequada de óleos e graxas das máquinas utilizadas. Como em tais ambientes é intrínseca a relação entre a superfície e o subterrâneo, frequentemente tais óleos ou graxas alcançam sistemas ativos de cavernas.

5.2.2 Agropecuária

As atividades agropecuárias são as que causam a maioria dos impactos nas cavernas brasileiras,

justamente pela característica ocupação e alteração de extensas áreas, inclusive cársticas. São raros os casos de impactos extremos como a supressão, mas o grau de interferência pode ser desde baixo a alto, e em algumas regiões é onipresente. Em muitos casos os impactos são indiretos, causado por problemas gerados a muitos quilômetros de distância.

É preciso lembrar que com a chegada da agricultura moderna nos anos de 1970, ampliou-se bastante a ocupação das áreas centrais do Brasil, especialmente nos cerrados e coincidentemente nas regiões cársticas. Mas de forma indireta, também houve um aumento importante da demanda por insumos agrícolas, tanto defensivos potencialmente poluidores, como de correção de solo. Este último, gerando um aumento crescente da produção de calcários ou dolomitos moídos, representando uma forte pressão sobre regiões espeleológicas através da mineração. Portanto, além dos impactos diretos da agricultura, que veremos agora, existem muitos outros inseridos nesta cadeia produtiva que podem, inclusive, apresentar resultados mais drásticos.

O primeiro impacto que mais se destaca em função das atividades agropecuárias é sem dúvida a **supressão vegetal**. Além da perda por si só das matas nativas, de importância ecossistêmica, há uma relação direta de impactos ao meio cavernícola.

Como já visto, o meio subterrâneo é totalmente dependente do meio superficial, não apenas como fonte de recursos orgânicos, como também em função da água, dos sedimentos que estão sempre reconstruindo o ambiente cavernícola, da manutenção do equilíbrio climático ou atmosférico, entre outros.

A retirada da vegetação no entorno e sobre a caverna é, portanto, um impacto bastante acentuado, porque tende a repercutir negativamente nos diversos fatores citados, diminuindo a quantidade e qualidade dos insumos orgânicos, intensificando o aporte de sedimentos terrígenos em detrimento dos químicos, e expondo especialmente as entradas das cavernas a condições mais severas do ponto de vista climático (figura 5.11). Há com isso, inclusive, uma exposição visual das entradas, que



Figura 5.11: Planície fluvial encaixada entre muralhas cársticas na região de São Desidério-BA. A seta indica a localização de uma caverna na base do paredão, junto a plantações de subsistência.

pode induzir atitudes de vandalismo, pela facilidade de acesso criada.

Outra repercussão indireta da supressão vegetal é a diminuição de áreas de alimentação de morcegos, sabidamente importantes para a manutenção do equilíbrio ecológico em cavernas.

Com a retirada da vegetação, a terra precisa ser preparada para a agricultura. Com isso, potenciais impactos podem ocorrer no epicarste e, consequentemente, resultar em danos à fauna subterrânea e também a processos naturais de desenvolvimento da caverna. Essa ação leva a um outro problema sério advindo da agropecuária, que é a questão da **erosão**, uma vez que os solos geralmente se encontram mais expostos, mesmo com culturas já instaladas (figura 5.12).



Figura 5.12: A seta mostra uma pequena dolina na região de Lagoa da Prata-MG, no fundo da qual se acessa uma caverna em pelitos, a Toca do Lobo. Notar que todo o entorno foi alterado para implantação de pastagens, o que provocou processos erosivos pronunciados, responsáveis pelo assoreamento da dolina e parte da caverna.

Cavernas assoreadas, cujas áreas de entorno foram tomadas por atividades agropecuárias, são bastante comuns e tal ocorrência pode levar a diversos impactos secundários, tais como o soterramento de substratos faunísticos, o entupimento de condutos com conseqüente alagamento ou secagem de galerias e, em alguns casos, a caverna pode ser completamente obstruída, o que representa praticamente uma supressão.

As alterações citadas levam também a **mudanças na dinâmica hídrica** de diversas formas. A primeira delas refere-se à qualidade das águas cársticas. A retirada da vegetação nativa dificulta a infiltração e altera a composição da água. Pode não haver mais interação da água de infiltração com os substratos húmicos e raízes que normalmente lhe conferem maior competência dissolutiva. A interrupção do gotejamento e desenvolvimento de espeleotemas também pode ser resultante do desmatamento e entupimento de canalículos.

Com a menor infiltração e também com o maior assoreamento dos cursos de água subterrâneos, pode ocorrer uma tendência ao escoamento preferencialmente superficial, em detrimento do já estabelecido escoamento subterrâneo.

Como já comentado, áreas anteriormente alagadas podem secar pela interrupção de condutos, assim como trechos a montante, inclusive superficiais, podem sofrer **alagamento**.

Há também os impactos referentes à captação excessiva de água para irrigação, especialmente em regiões cársticas, onde todo o sistema fluvial está capturado no subterrâneo.

Em algumas regiões, as entradas das cavernas funcionam como cacimbas de água, onde muitas vezes são instaladas bombas motorizadas que adicionam novos impactos (poluição do ar, barulho, etc.). Em outras, onde a produção é ainda mais mecanizada, há a utilização de pivôs centrais, que demandam grandes quantidades de águas subterrâneas, podendo levar ao **rebaixamento do aquífero** e até mesmo o **colapso** de estruturas cársticas (dolinas, cavernas).

Como já falado no início, a agricultura moderna se valeu de diversos artifícios para aumentar a

produção de forma muito impressionante. Uma delas é altamente nociva aos ambientes naturais, incluindo-se as cavernas, trata-se dos **agroquímicos**, especialmente os defensivos, que podem ser bastante agressivos a ambientes sensíveis como as cavernas. Tais defensivos são aspergidos em grandes áreas e, via de regra, são lixiviados pelas chuvas e atingem as cavernas, seja pela condução dos cursos de água ou pela infiltração. Já os fertilizantes tendem a uma **eutrofização** das águas, o que também pode representar danos importantes, sobretudo às comunidades cavernícolas dependentes de uma boa qualidade de água. Situação que pode ocorrer junto às pastagens, currais ou demais criações (pocilgas, granjas, matadouros, etc.), caso não haja algum tipo de prevenção.

Em regiões essencialmente agrícolas é comum observar cavernas sendo utilizadas como **bota-fora** ou depósitos de vasilhames de agroquímicos carcaças ou até mesmo como curral, aí dependendo das condições topográficas da caverna, por vezes sombreadas e mais aprazíveis ao gado. Em uma pequena caverna na região agrícola de Pains-MG observou-se centenas de vasilhames vazios de agroquímicos despejados no seu interior, onde há um sumidouro eventual que drena as águas de chuva.

Há que se lembrar também das agroindústrias, que em geral causam danos por **contaminação** das águas, com o lançamento de efluentes não tratados nas drenagens e outras feições cársticas. Citando o caso de agroindústrias, Gillieson (1996) relata que foram jogadas mais de 5.000 carcaças de ovelhas na entrada de uma caverna no sul da Austrália (Earls Cave). Também no Hawaí (Kaua'i Island), matadouros direcionavam seus efluentes para cavernas, impactando diretamente a fauna cavernícola.

5.2.3 Turismo

O turismo surge como uma alternativa considerada potencialmente sustentável e altamente rentável. Ao menos essa é a concepção usual, principalmente se confrontada com outros ramos produtivos mais dependentes dos recursos naturais.

Porém, nem sempre se observa sustentabilidade ambiental ou mesmo financeira neste tipo de empreendimento, especialmente promovido em cavernas, onde a atividade deve ser melhor planejada, considerando os fatores de sensibilidade e dificuldades inerentes ao ambiente escuro e cáótico das cavernas.

Devido a uma série de fatores – dentre os quais se destacam as crises econômicas, a falta de empregos, e a demanda cada vez maior por novos atrativos, especialmente vinculados à aventura ou contemplação da natureza, associados a uma falta de regulação rígida nesta área – nas últimas décadas ocorreu no Brasil uma maior visitação das cavernas, o que resultou na alteração drástica em dezenas, talvez centenas destas feições. Muitas consideradas patrimônio natural de grande relevância, justamente por suas características monumentais ou fantásticas, detentoras de grandes salões, pórticos, rios, cachoeiras, espeleotemas frágeis e de extrema beleza.

As atividades de visitação, em suas diversas formas, constituem importante ferramenta de educação e, de sensibilização mas, em muitos casos, se transformou em meio de destruição. Muitas cavernas foram descaracterizadas através desta prática.

Vale lembrar que, as cavernas são recursos naturais não renováveis, elas se formaram com o passar de muito tempo, de muita água. Portanto, apesar de benéfica em muitos casos, a atividade de espeleoturismo deve ser bem pensada a fim de resultar em ganhos na conservação destes ambientes, em conhecimento acerca do seu funcionamento e não apenas em recreação descompromissada.

Pode-se dividir a atividade de visitação a cavernas em muitas modalidades. A mais notória, a **de massa**, ocorre naquelas cavernas já estruturadas para o turismo (total ou parcialmente), muitas vezes com a adoção de sistemas de **iluminação artificial, passarelas**, entre outras infra estruturas e que recebem uma quantidade anual de visitantes bastante elevada (figura 5.13).

Em geral, a visitação em massa resulta em muitos danos, especialmente se as atividades não foram bem planejadas antes da abertura. Por outro

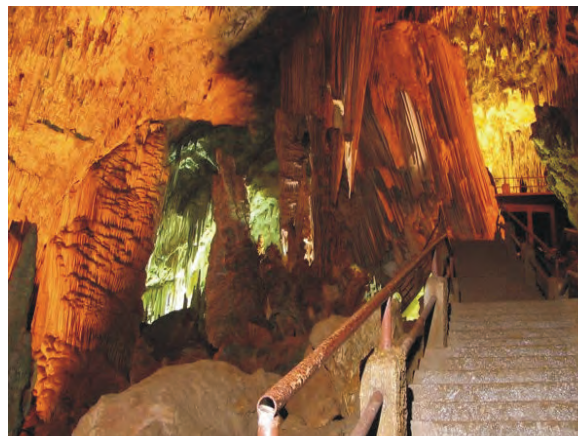


Figura 5.13: Pesadas estruturas de caminhamento na Caverna do Diabo, em Eldorado-SP. Notar ao fundo diversos pontos de iluminação artificial (lâmpadas incandescentes de grande potência).

lado, têm-se a vantagem de representar uma opção fácil à grande maioria da população. Além de valer como um chamariz, evitando muitas vezes a abertura de outras cavernas para atividades de visitação não planejada.

Outras modalidades bastante similares, entre si, são as atividades de **exploração**, de **pesquisa**, e **aventura**, esta última considerada um ramo essencialmente turístico.

As atividades de exploração, em geral, são conduzidas por pessoas e grupos previamente preparados, coordenados e cujo objetivo se concentra em encontrar novas cavernas ou novas galerias, onde já estejam realizando o trabalho de mapeamento. Elas também ocasionam impactos, especialmente porque as cavernas novas precisam ser amplamente exploradas em busca de galerias ou outras características de importância. Com isso, ocorre o **pisoteio** de formações delicadas, a **desobstrução de restrições** ao avanço da expedição, tais como de espeleotemas, paredes ou sifões, além de outros impactos menos pronunciados. Entretanto, alguns danos são inevitáveis e na maioria das vezes, pensados de forma a serem minimizados.

Há que se lembrar que a melhor forma de proteger é conhecer. O que leva também ao outro tipo de atividade de visitação anteriormente citada, a visitação de caráter científico, cujos danos, em geral, são pouco significativos. Especialmente se considerado o resultado em informações úteis, advindas de coletas e análise da fauna cavernícola, sedimentos e espeleotemas, que na maior parte das vezes não

representam danos ecológicos ou estéticos significativos. Em alguns casos também são realizados testes em pesquisas aplicadas ao manejo de cavernas ou regiões cársticas, igualmente pouco significativas, no que tange os impactos produzidos.

Por outro lado, as atividades de aventura, podem ser bastante arriscadas, tanto para as cavernas, como para os próprios praticantes. Algumas cavernas são propícias a estas atividades, com a presença de lances verticais que exigem a adoção de técnicas específicas ou com a ausência de estruturas ou formas de vida sensíveis. Quando realizadas com responsabilidade, em geral, não há danos às cavidades. Porém, quando operadas de forma abusiva ou excessiva, podem resultar em danos similares às cavernas utilizadas para turismo de massa.

É comum observar ancoragens mal fixadas ou exageradas, quebra de espeleotemas, vestígios de acampamento em zonas pouco propícias, até mesmo com a utilização de fogueiras no interior das cavidades, algo extremamente contra-indicado.

As atividades de aventura podem envolver riscos, especialmente nos lances verticais mais extensos ou nas cavernas alagadas, onde se pratica o mergulho em caverna, técnica avançada de mergulho que exige muito treinamento, prática e concentração. De toda forma, há de se ter atenção para se evitar acidentes que inclusive podem ser fatais, a exemplo da queda na Caverna Água Suja-SP, do afogamento na Casa de Pedra-SP, do mergulho fatal no Buraco dos Impossíveis-BA ou na Lagoa Misteriosa-MS, entre outros. O mergulho em cavernas, porém, tem sido muito utilizado como ferramenta de exploração e conhecimento, com o mapeamento e a coleta de materiais importantes à ciência.

Uma variação bastante danosa de **visitação** a cavernas é aquela praticada geralmente de forma **eventual**, não sistemática, sem controle e que resulta em **vandalismo**. Geralmente manifesta-se através das pichações, quebra de espeleotemas e demais formações, roubo de fósseis, ataque à fauna, lixo e, até mesmo, a queima de fogos de artifício em seu interior (figura 5.14).

Algumas cavernas brasileiras foram totalmente descaracterizadas por esta ação, como por exemplo, a Gruta do Catingueiro em Lagoa da Prata-MG, ou a Gruta da Faustina, em Pedro Leopoldo-MG. Esta



Figura 5.14: Parede pichada na entrada da Gruta de Ubajara-CE. Nesta foto observam-se pichações antigas, anteriores à criação do Parque, inclusive com caráter histórico (República, 1890).

última está localizada às margens de uma rodovia movimentada e seu pórtico de entrada é chamativo, pelo tamanho, talvez por isso tendo sido tão depredada.

Por fim, há ainda as formas de **turismo religioso**, que podem ser permanentes, temporárias e ocasionais. As primeiras são representadas pelos santuários ou templos estabelecidos nas cavernas, que pouco mantêm suas características originais, a exemplo da Gruta de Bom Jesus da Lapa e da Gruta da Mangabeira, ambas no interior da Bahia (figura 5.15). Estas se equivalem às grutas turísticas de massa, pelo grau de intervenções e quantidade de visitantes anuais.

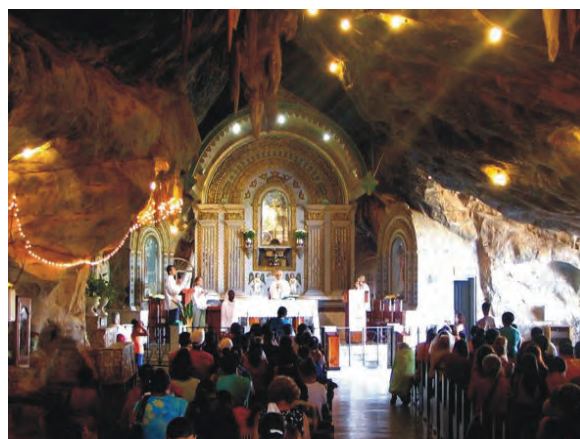


Figura 5.15: Igreja na Gruta de Bom Jesus da Lapa-BA. Notar que diversas modificações foram realizadas, inclusive com a colocação de um piso cerâmico, alargamento de galerias, entre outros.

Já as cavernas com turismo religioso temporário, são aquelas nas quais em datas religiosas são

realizadas cerimônias, possuindo não mais que pequenos altares. Entretanto, costumam receber uma quantidade impressionante de pessoas em um curto período de tempo. São inúmeros os exemplos, como a Lapa Velha e Nova de Vazante-MG, Gruta da Paixão na região da Chapada Diamantina-BA, ou mesmo a Gruta de Ubajara-CE, que antes de integrar o parque nacional homônimo recebia até cerimônias de casamento.

O uso religioso ocasional agrega inúmeros tipos de manifestação religiosa em cavernas no país, não necessariamente na mesma cavidade e geralmente relacionado à rituais afro-brasileiros. Em geral, este tipo de uso não causa maiores impactos.

Sobre as alterações provocadas pelas atividades turísticas em cavernas, existem diversos estudos que apontam diferentes tipos de impactos. Um dos mais estudados é relativo às **alterações microclimáticas**, que consideram parâmetros tais como temperatura, umidade relativa e gás carbônico (GILLIESON, D., 1996; MANGIN, A., et. al., 1999; POLIDO-BOSCH et.al., 1997; entre outros). Tais levantamentos procuram estabelecer relações positivas entre a atividade turística, geralmente de massa, e a variação destes parâmetros citados, supostamente induzidos pela intensa visitação.

Em grande parte das vezes, sobretudo em cavernas cujas trocas energéticas são baixas com o exterior (poucas entradas, sem fluxos de ar ou água pronunciados, etc.), são observadas variações significativas nos parâmetros estudados. São especialmente comuns tais variações quando a caverna possui sistemas artificiais de iluminação, geralmente elétrica incandescente, mas também pode ocorrer pela simples transpiração humana ou sistemas pessoais de iluminação (carbureteiras). Nestes casos é comum o aumento de temperatura e a redução da umidade, parâmetros que podem variar de forma importante e com isso ensejar uma série de impactos à fauna e também aos espeleotemas, que dependem do ambiente cavernícola equilibrado para se manterem ou desenvolverem normalmente.

No Brasil existem diversas cavernas que são iluminadas por sistemas artificiais, como por exemplo, a Caverna do Diabo em Eldorado-SP, Gruta da Lapinha-MG, Gruta de Ubajara-CE, Gruta de Botuverá-SC, Gruta de São Miguel-MS, Gruta da Manga-beira-BA, entre outras.

A Caverna do Diabo chegou a possuir um sistema de iluminação com lâmpadas de vapor metálico com mais de 1000 watts cada luminária, dispostas em todo o seu trecho turístico. Em 2006, já com lâmpadas um pouco menos potentes, a gruta possuía 257 lâmpadas das mais variadas potências, o que totalizava na caverna cerca de 60 mil watts, algo suficiente para iluminar as casas de um pequeno vilarejo com 200 moradias, aproximadamente.

Atualmente têm sido propostos novos sistemas de iluminação que consumam bem menos energia, baseados em tecnologias novas como o LED (Light Emission Diode), que além de não produzirem quantidades significativas de calor, são econômicas, muito mais duráveis e não raras vezes iluminam mais. Outros projetos têm proposto sistemas de iluminação mais branda e direcionada apenas a determinadas formações e valendo-se de lanternas de cabeça individuais para cada visitante. Com isso, diminuem-se as intervenções e poluição térmica, além de proporcionar uma experiência turística realista, incluindo-se ingredientes como a surpresa, mistério, o caráter exploratório, entre outros elementos mais autênticos do ambiente cavernícola.

Outro impacto comum a cavernas turísticas é a **compactação do pavimento** e demais **modificações estruturais** para facilitar ou adequar o ambiente ao propósito (figuras 5.13 e 5.16). Tais medidas podem provocar a perda de habitat a determinadas espécies cavernícolas que se desenvolvem nos substratos.

Também podem ocorrer problemas quanto ao escoamento eventual de água, causando erosão ou o acúmulo de lama nas trilhas. Em muitos casos, **espeleotemas** delicados e importantes são **soterrados**, **pisoteados** e completamente descaracterizados.

Em alguns casos, os empreendedores abrem valas nas trilhas, trincheiras em trechos de teto



Figura 5.16: Pavimento compactado em parte da trilha na Caverna do Diabo, em Edorado-SP. Observa-se que os espeleotemas também foram afetados.

baixo, de forma a propiciar a passagem de pessoas sem que seja necessário se curvarem.

Na Chapada Diamantina, a singular Gruta da Torrinha possui diversos trechos com essas trilhas/trincheiras, o que sugere uma quantidade enorme de material retirado e transportado para outros lugares. Em outras cavernas são retirados blocos e até mesmo espeleotemas para a passagem das trilhas ou escadas, muitas vezes envolvendo pesadas **obras de alvenaria** cuja construção certamente causou transtornos ao ambiente.

Para se evitar obras ou danos desnecessários é recomendável o estudo e planejamento adequado destes ambientes (Plano de Manejo Espeleológico). Indica-se a adoção de estruturas mais leves e apropriadas, de baixo impacto, em alguns casos suspensas do pavimento ou de formações frágeis e que oferecem muito mais segurança ao turista.

Diversos materiais têm sido testados no sentido de se portarem inertes ao ambiente, tais como madeira plástica ou ligas metálicas inoxidáveis. A grande dificuldade reside no caráter inóspito e rústico destes ambientes, que leva a uma deterioração rápida dos materiais. Mas a tendência é a adoção de interferências mínimas, quando necessárias, com estruturas mais leves, inertes, de fácil manutenção ou substituição completa.

Ainda com relação a estruturas construídas ou adaptadas em cavernas para o uso turístico de massa, há também aquelas com propósitos puramente estéticos, de caráter duvidoso, que podem

representar danos consideráveis. Existem muitos exemplos, como as represas formadas Rio da Tapagem, dentro da Caverna do Diabo-SP ou o enchimento de água nos travertinos secos da Gruta de Maquiné em Cordisburgo-MG (figura 5.17). Tais intervenções, consideradas drásticas, se deram para formar espelhos d'água de forma a refletir o teto das cavernas. Entretanto, vários distúrbios podem advir desta prática, desde alterações no sistema hídrico, na composição faunística, como também na estabilidade micro-climática.

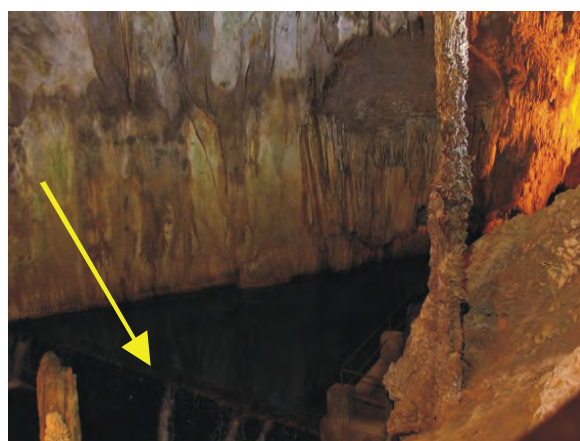


Figura 5.17: Barragem construída na Caverna do Diabo em Eldorado-SP. A seta indica o barramento, que é sucedido de outro logo a jusante.

Visitação de massa em cavernas pode levar a um acúmulo indesejável de diversos materiais, principalmente **lixo**, ou até mesmo substâncias inusitadas. Jablonsky (1990, 1992) citado por Gillieson (1996) coloca que muitas cavernas turísticas apresentam uma camada de poeira recobrendo espeleotemas, cuja composição remete ao algodão presente nas vestes, células mortas da pele, esporos de fungos, insetos e poeiras inorgânicas, tudo trazido pelos visitantes. Consta que foram retirados manualmente mais de 50 quilos desta poeira, referentes a 5 anos de visitação na Caverna Carlsbad, no Novo México. Certamente que tal insumo artificial pode levar a uma alteração no equilíbrio ecológico de tais cavernas, ou no desenvolvimento de espeleotemas.

Outras formas de lixo, mais comuns, tais como embalagens, copos ou garrafas descartáveis e até mesmo material fotográfico (filmes, flashes, máquinas) são encontrados em cavernas turísticas, mas

quando inorgânicos e pouco abundantes oferecem unicamente impactos visuais.

Já os restos de comida são bastante prejudiciais ao equilíbrio ecológico. Na Gruta dos Ecos-GO, por exemplo, à beira do lago subterrâneo onde costumemente os grupos descansam, encontrou-se uma aglomeração anormal de aranhas marrom (*Loxosceles* sp.) sobre os restos de alimentos, provavelmente utilizando-os de forma oportunista ou aproveitando-se do atrativo exercido para outros seres pertencentes à sua dieta preferencial. De qualquer forma, esta aglomeração representava um risco aos visitantes, uma vez que se trata de uma aranha venenosa.

Recomenda-se sempre que os grupos não lancem nas cavernas, e se o fizerem, procurem locais mais adequados, como as entradas e tenham todo o cuidado de levarem todo o lixo.

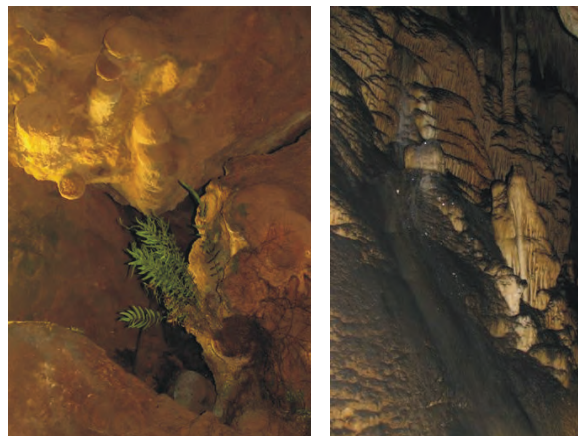
Outras formas de poluição advinda do espeleoturismo é a questão do alarido (**poluição sonora**) que pode causar estresse na fauna, especialmente em colônias estabelecidas de morcegos.

Também há a **poluição luminosa**, dos sistemas elétricos implantados, antes visto como um problema pelos distúrbios microclimáticos, mas que também pode causar o crescimento de organismos clorofilados exóticos ao ambiente originalmente afótico, tais como samambaias (figura 5.18), algas e musgo. Este crescimento causa alterações nas cores dos espeleotemas e demais formações (geralmente verde e preto).

A utilização de sistemas pessoais de iluminação baseados no acetileno (carbureteiras) também pode causar problemas sérios, através da **fuligem** que geram, do calor e também dos subprodutos (borra).

A Caverna de Santana no Parque Estadual Turístico do Alto Ribeira-SP apresenta, em grande parte do circuito turístico, essas fuligens negras depositadas sobre formações anteriormente brancas, fruto de mais de 50 anos de utilização turística deste sistema (figura 5.19).

Em algumas cavernas, com pouco ou nenhum controle do acesso turístico ocorrem também situações bastante indesejáveis, como acampamento



Figuras 5.18 e 5.19: Na foto da esquerda observa-se o crescimento de samambaias na Caverna do Diabo, próximo a uma luminária. Na foto da direita tem-se um dos trechos turísticos da Caverna de Santana, em Iporanga-SP. Este trecho, num dos níveis mais elevados e secos da caverna, mostra o acúmulo exagerado de fuligem emitida pelas carbureteiras que foram utilizadas por décadas como meio de iluminação desta importante caverna.

em seu interior, ou proximidades, geralmente por conta de grandes travessias. É comum nestes casos encontrar dejetos humanos, o que além de causar muitos incômodos, também representa um aporte espúrio de nutriente e uma fonte de contaminação.

A Gruta da Mangabeira em Ituaçu-BA, no percurso turístico encontrado após o santuário religioso, observou-se problemas sérios deste tipo, além do acúmulo exagerado de lixo. Trata-se de um dos maiores percursos turísticos de massa do Brasil, com cerca de 3 mil metros de extensão, geralmente percorridos por grandes grupos (até 60 pessoas com apenas um guia), sem que existam neste percurso, banheiros instalados. Tal ação pode ser encarada como uma forma adicional de vandalismo.

Tais ações muitas vezes levam aos proprietários dos empreendimentos ou das terras onde se encontram cavernas procuradas turisticamente a adotarem portões como forma de controle.

Porém, até mesmo os portões podem significar conflito com a fauna cavernícola e nem sempre são eficazes, sobretudo se existem outras entradas ou o pórtico é muito grande.

5.2.4 Represamentos

Os represamentos, especialmente a formação de grandes lagos em geral com o propósito de geração de energia elétrica, são potencialmente danosos aos

ambientes cavernícolas, sobretudo quando ocorrem em áreas cársticas bem desenvolvidas e complexas.

Com o crescimento do país e a demanda crescente por energia, as regiões cársticas têm sido alvo cada vez mais constante de projetos hidrelétricos.

Muitos lagos foram formados sem qualquer preocupação relativa ao patrimônio espeleológico. Vale lembrar que, em muitos casos, não apenas o patrimônio espeleológico foi perdido, como também arqueológico, paleontológico e faunístico associados aos ambientes de caverna. De acordo com a base de dados do CECAV, a hidrelétrica de Serra da Mesa no Rio Tocantins-GO alagou completamente 39 cavernas, podendo ter afetado mais 75 outras presentes nas suas proximidades (figura 5.20 na página seguinte)².

Além disso, a construção de barragens em regiões cársticas frequentemente se torna uma tarefa árdua e incerta, uma vez que a maior parte da drenagem está capturada no subterrâneo, onde nem sempre é possível determinar as rotas de fluxo ou a presença de grandes vazios (veja exemplo das rotas de fugas na figura 5.23, mais adiante).

São comuns na literatura internacional relatos sobre as dificuldades ou técnicas avançadas de como se conter a água em regiões tão cheias de **fugas**, de “buracos” (no sentido literal), ou de repercussões inesperadas do represamento, tal como o alagamento de regiões bem distantes da área projetada (ver por exemplo BONACCI, 1987, que cita casos específicos do carste iugoslavo).

Em relação ao ambiente cavernícola, os impactos causados por represamentos não são muito diversos, mas em geral bastante drásticos. O mais notório é a própria **supressão completa pelo alagamento**, especialmente daquelas cavernas associadas ao sistema fluvial principal, que será alvo do barramento. Estas cavernas podem ficar bem abaixo da cota de alagamento, com isso não restando qualquer conduto ou ligação com o futuro meio superficial. Nestes casos o impacto é total, mesmo

que não se destrua fisicamente as estruturas rochosas, a caverna é literalmente afogada, sem qualquer possibilidade de manutenção dos processos naturais relativos à fauna cavernícola ou suas formações físicas, como os sedimentos (figuras 5.21).



Figura 5.21: Na seta observa-se uma pequena caverna em rochas areníticas, na margem do Rio Xingu, Altamira-PA. Com a construção da hidroelétrica de Belo Monte, esta caverna será totalmente alagada.

Nos casos de **alagamento parcial**, geralmente em cavernas pouco relacionadas ao sistema atual de drenagem (cavernas fósseis ou senis), o impacto pode ser igualmente danoso, especialmente à fauna cavernícola, que tem um dos principais locais de sua manutenção afetados, o substrato (pavimento). Nestes casos, são inúmeros os outros danos colaterais, como mudanças microclimáticas, especialmente o aumento exagerado da umidade, estagnação ou aumento dos processos de sedimentação, introdução de espécies exóticas, entre outros. Em alguns casos o alagamento parcial pode ser tão danoso como um alagamento total.

Outro impacto advindo da inundação de grandes áreas refere-se à **mudança na dinâmica hídrica** do carste, o qual pode agregar inúmeras cavernas em sistemas subterrâneos. Barramentos tendem a reduzir e equilibrar o fluxo de água a jusante, o que pode induzir até impactos positivos em alguns sentidos, mas significam mudanças repentinas nos processos de formação e desenvolvimento de cavernas

² Os dados utilizados nesta análise foram coletados por grupos de espeleologia, entre outros, durante anos, e algumas coordenadas podem não ter sido tomadas com aparelhos tão precisos como os GSPs atuais. Entretanto, são bastante válidas, sobretudo porque não houve continuidade das prospecções espeleológicas que exaurisse a possibilidade de outras cavernas na área afetada, o que leva a crer que a perda do patrimônio espeleológico foi bem maior.

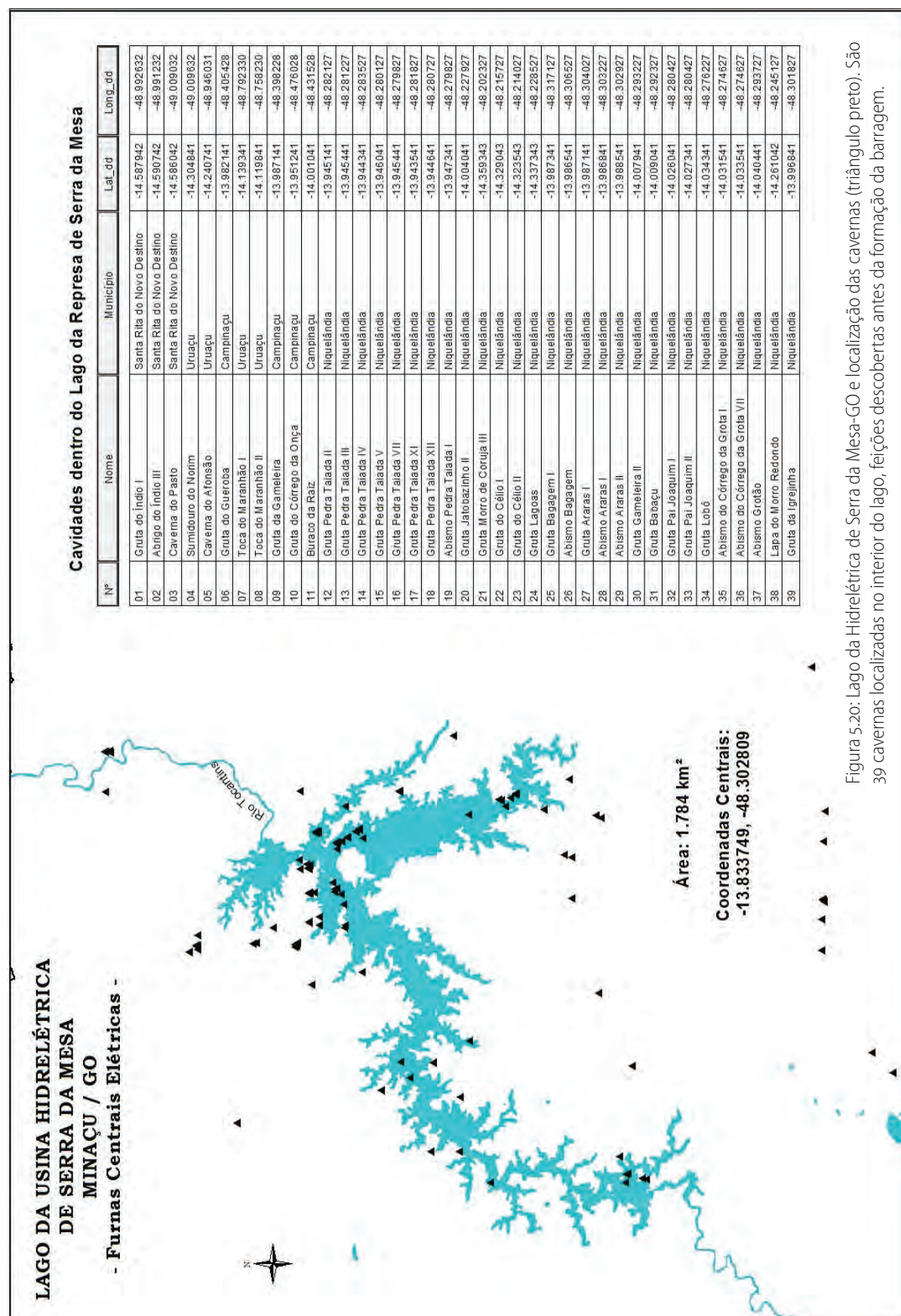


Figura 5.20: Lago da Hidrelétrica de Serra da Mesa-GO e localização das cavernas (triângulo preto). São 99 cavernas localizadas no interior do lago, feições descobertas antes da formação da barragem.

freáticas, podendo afetar áreas bem mais extensas que as previstas.

Como é sabido, o sistema cárstico é interligado, tanto através de condutos subterrâneos, quanto ao meio superficial. Portanto, a redução da vazão pode gerar uma série de distúrbios como, por exemplo, a transformação de antigas ressurgências em sumidouros. Pode significar o **secamento** de lagos cársticos ou de lagos subterrâneos antigamente regidos pelo nível natural do aquífero ou até mesmo a ocorrência de **abatimentos** de cavernas anteriormente inundadas.

A mudança do nível de base local a montante também pode afetar cavernas em seus processos de desenvolvimento, especialmente relativos à erosão. A pressão exercida pela altura da lâmina d'água ou variações do nível do reservatório podem implicar em abatimentos de cavernas submersas ou em suas adjacências (MARINOS et. al., 1997; PILÓ, 1999)

No interior da área represada, como já dito, podem ocorrer fugas de água, por vezes generalizadas, inclusive pondo em risco o empreendimento. Em alguns casos, a formação de novas galerias ou a **desobstrução de condutos** previamente preenchidos por sedimentos pode ocorrer em virtude da pressão da lâmina d'água resultando em ressurgências inesperadas em locais distantes, (FORD, D.C. & WILLIAMS, 1989). Em outros, micros condutos espalhados por toda a área funcionam como ladrões, o que gera um problema bastante complexo em virtude da dificuldade de se localizá-los, pois, muitas vezes tais sumidouros estão escondidos sob o solo.

Em geral os empreendimentos se valem de mantas impermeáveis, geralmente argilosas, para recobrir locais potencialmente mais susceptíveis a tais processos. Porém, a obstrução de condutos que levavam águas de chuvas, por exemplo, a cavernas a jusante do barramento, pode afetar em diversos aspectos tais cavernas, diminuindo a umidade, aporte de sedimentos ou recursos orgânicos, entre outros. Além disso, de forma indireta, com a instalação de grandes lagos em áreas anteriormente vegetadas, há a possibilidade de ocorrer

uma **diminuição de recursos orgânicos** na caverna em função da redução das colônias de morcegos, que perdem importantes fontes de alimento (supressão das matas).

Por fim, há que se atentar para os impactos causados na própria instalação dos empreendimentos hidrelétricos, ou qualquer formação de barragens. Por vezes são bastante incisivas as alterações, com a detonação de afloramentos, terraplenagem, retirada de terra ou outros materiais de áreas próximas.

Enfim, uma gama de alterações próprias de grandes obras de engenharia que podem afetar o ambiente cavernícola, em áreas adjacentes, de forma bastante incisiva. Podem ocorrer nestes casos problemas relacionados à vibração (detonações e trânsito de máquinas) como **abatimentos, rachaduras, quebras de espeleotemas**, entre outros, e também problemas erosivos, como **assoreamento** causados pela grande remobilização de solos.

5.2.5 Obras lineares e outras obras de engenharia

Outro tipo de obra que pode gerar conflitos com a preservação espeleológica está relacionada à construção de estradas, ferrovias, linhas de transmissão, gasodutos e oleodutos.

Assim como as hidrelétricas, tais empreendimentos tendem cada vez mais a ocorrer em áreas cársticas ou detentoras de cavernas, podendo representar problemas ambientais de diversos tipos.

Além do crescimento do país é preciso lembrar que as regiões espeleológicas ocorrem em vários tipos de rocha, disseminadas por áreas extensas, que podem ser cortadas por tais empreendimentos, visto que têm a capacidade de atravessar muitos quilômetros de terra.

Obras lineares podem ocasionar a **supressão** de cavernas, especialmente se não forem realizados estudos e levantamentos espeleológicos nas áreas afetadas. Muitas vezes, pelo tamanho do empreendimento, não há uma prospecção espeleológica satisfatória em toda a extensão da obra, o que pode levar à destruição de cavernas ou trechos, por conta das intervenções mais drásticas, como

detonações (vibrações e sobrepressão acústica) e terraplenagem (**soteramento**). Em geral, também é retirada a vegetação, não apenas no local, mas também em suas margens, o que varia de acordo com o tipo de empreendimento (rodovia, estrada simples, oleoduto, etc.).

Como já mencionado, os impactos ao meio cavernícola decorrentes da **supressão vegetal** em sua área de entorno podem ser bastante danosos, especialmente à questão da infiltração de água, aporte de recursos orgânicos, estabilidade microclimática e formação dos depósitos sedimentares.

Em muitos casos tais empreendimentos se estabelecem justamente acima de cavernas. Um caso muito emblemático é a BR-122 no trecho entre a BR-242 e a cidade de Iraquara-BA na Chapada Diamantina. Tal rodovia, já instalada e com previsão de reforma, corre pouco acima da Gruta da Fumaça, Sistema Lapa Doce (uma das maiores cavernas do Brasil) e da Lapa da Torrinha, todas de grande importância espeleológica (figura 5.22). Em casos como esses os riscos de danos às formações, tanto na construção, como na operação da estrada é eminente.



Figura 5.22: Esta foto mostra a proximidade entre a entrada da Gruta da Fumaça (seta), em Iraquara-BA e a BR-122 (espeleólogos). A estrada foi construída sobre trechos significativos da caverna.

Tais obras podem causar também os danos por vibrações, como os **desplacamentos, rachaduras**, entre outros. Existem vários relatos na literatura sobre este aspecto, com a inserção de obras lineares em áreas pouco estudadas que abrigam vazios internos que se colapsam representando inclusive danos à própria infra estrutura (WHITE, 1988; ZHOU

& BECK, 2005).

Com a retirada da vegetação e modificação na morfologia das áreas em obra, por exemplo, a formação de aterros podem ocorrer problemas na dinâmica hídrica. Dentre eles, aqueles ligados a **entupimentos** e conseqüentes alagamentos ou secamentos, alteração de cursos de água naturais ou **destruição de áreas de recarga**. Também ocorrem problemas de erosão e especialmente o assoreamento. É comum também a formação de **enxurradas e fluxos concentrados**, por conta da impermeabilização das áreas e escoamento inadequado. Especialmente nos casos de asfaltamento, cujas águas mal dissipadas e direcionadas para áreas de cavernas podem induzir impactos como a remoção de sedimentos e outras alterações na morfologia interna das cavernas.

Com a operação dos empreendimentos, como as rodovias, ferrovias e até mesmo com os dutos, podem ocorrer acidentes bastante perigosos aos ambientes cársticos, sobretudo em função da sua natureza mais sensível e de rápida **disseminação de poluentes**.

É comum ocorrerem derramamentos de poluentes, combustíveis e demais materiais tóxicos no leito de tais infra-estruturas. No caso das estradas, os motores dos próprios veículos produzem tais resíduos, especialmente graxas e óleos. Em se atingindo sistemas cársticos, a dimensão dos acidentes pode se ampliar e se acelerar de forma a não ser possível uma contenção.

Vale lembrar que no carste não existe um solo filtrante que minimize os danos por poluentes, conforme ressalta Kholer (2001). Desta forma, além de representar um risco ao ecossistema cavernícola, também pode contaminar o aquífero cárstico, frequentemente utilizado para abastecimento público e outros fins. Cavernas muito próximas às estradas sofrem também com a poluição sonora, além de mais expostas ao ataque de vândalos

5.2.6 Urbanização

As intervenções em áreas urbanas ou adjacentes visando à instalação de estruturas ou mesmo a

abertura de novos loteamentos são, em geral, atividades potencialmente lesivas aos ambientes cársticos, especialmente as cavernas.

No país e no mundo diversas cidades situam-se em regiões cársticas, muitas delas de grande tamanho. No caso do Brasil, cita-se parte da Região Metropolitana de Curitiba e Belo Horizonte, além de diversas cidades de médio porte como Sete Lagoas-MG, entre outras.

Para se ter idéia, cerca de 25% das **águas para abastecimento público** no mundo são captadas de aquíferos cársticos (GILLIESON, 1996). E a cada dia aumenta a pressão sobre tais áreas em virtude do crescimento exagerado e não planejado das cidades.

As operações de loteamento frequentemente causam diversos distúrbios pelos **aterros, operação de máquinas, desmatamentos, erosão**, entre outras ações, como já discutido. Pode ocorrer o soterramento de estruturas cársticas importantes, intrinsecamente ligadas às cavernas, como sumidouros, dolinas e até surgências. Tais impactos ocorrem também pela instalação de outros empreendimentos, não apenas loteamentos, mas também indústrias.

É comum ocorrer a **contaminação de águas** cársticas por efluentes domésticos ou industriais nestas áreas (ver KRYZA & STAŠKO, 2000). Em alguns casos, ocorre o lançamento de efluentes diretamente nos solos ou sumidouros, que acabam funcionando como verdadeiros esgotos, alterando radicalmente as condições ecológicas destas cavernas e tendendo à destruição da fauna autenticamente cavernícola.

Como os rios em regiões cársticas são em geral subterrâneos, não se vê o tamanho do problema causado pelas emissões, e nem há grande preocupação em solucioná-los. É comum a captação de águas contaminadas para abastecimento, pois a comunicação dos aquíferos é altamente facilitada pela presença da rede interligada de condutos (figura 5.23). Além disso, devido à alta quantidade de cálcio e magnésio dissolvido e a conseqüente alcalinidade que isto implica ($\text{pH} > 7$), as águas cársticas freqüentemente apresentam-se azuis e cristalinas,

uma vez que floculam todo sedimento argiloso em suspensão (CASTRO & KOHLER, 1996), dando a falsa impressão de pureza ou potabilidade.

Um fator adicional de contaminação em muitas áreas urbanas é a disposição irregular do **lixo** em bota-foras, lixões improvisados entre outros, também usual no interior das próprias cavernas ou dolinas (figura 5.24).

Além da contaminação das águas, ocorre tam-



Figura 5.24: Bota fora em caverna na região da APA Morro da Pedreira-MG.

bém um problema bastante sério que pode repercutir em tragédias, que é a **captação** descontrolada e **excessiva de águas** do aquífero cárstico. Além de resultar em uma série de problemas como o secamento de lagoas cársticas ou lagos internos, pode também facilitar o abatimento de áreas totalmente alagadas, anteriormente sustentadas pela presença de água (TEIXEIRA, et. al., 2000; PILÓ, 1999; NAKAZAWA, et. al. 1995).

Casos como este já ocorreram em grandes centros urbanos, como Sete Lagoas-MG, Rio Branco do Sul-PR e Cajamar-SP, onde casas e ruas foram engolidas por crateras. Problemas referentes ao aquífero cárstico em regiões urbanas não cessam por aí. Também ocorre a **impermeabilização** de extensas áreas, inclusive de recarga, que podem induzir ora o secamento de cavernas, ora a **inundação** de trechos a montante.

Outra forma de **poluição** é a **sonora**, especialmente quando as cavernas se localizam muito próximas às cidades ou indústrias. Devido à proximidade com centros urbanos, problemas com **vandalismo**

também são freqüentes. Em alguns casos as cavernas são utilizadas como moradias improvisadas, ou como depósitos de tralhas diversas como materiais

de construção ou até mesmo garagem (Gruta da Garagem em Pains-MG) ou campo de futebol (Gruta Pontes do Sumidouro, Campo Formoso-BA).

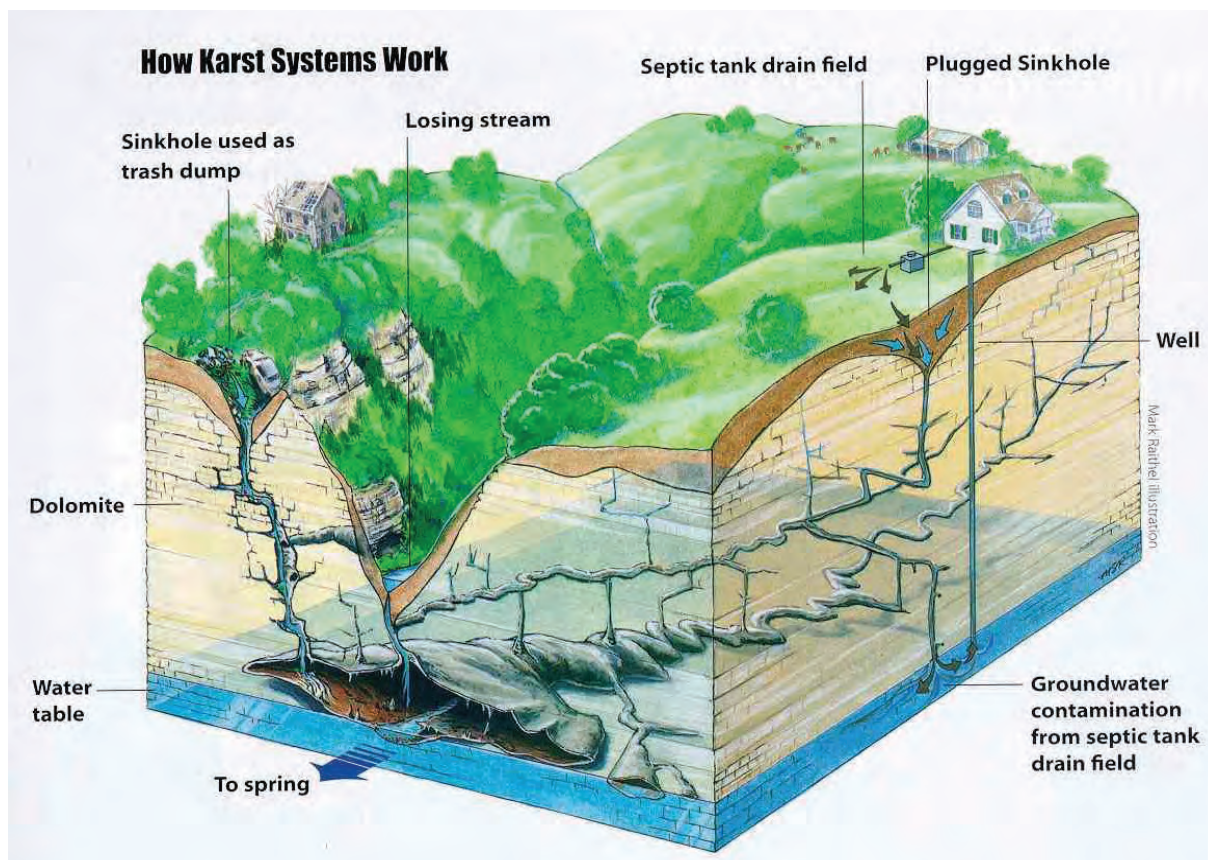


Figura 5.23: Representação de uma área cárstica que mostra a intercomunicação dos condutos, do aquífero cárstico e os problemas de qualidade de águas quando não se tem cuidados na emissão e tratamento dos efluentes domésticos, ou urbanos. Do alto, à esquerda, no sentido horário tem-se: dolina utilizada com depósito de lixo; fuga de água; sumidouro de fossa; dolina preenchida; poço; aquífero contaminado por sumidouro de fossa; direção da ressurgência; nível do aquífero; dolomito. Autor: Marck Raithe. Fonte: retirado da internet (http://www.courier-journal.com/blogs/bruggers/uploaded_images/KarstDiagram-70pct-730206.jpg).

5.3 Medidas de controle e minimização de impactos.

Toda atividade potencialmente lesiva ao meio ambiente deve ser acompanhada de medidas de controle ou mitigação prévia de impactos, especialmente em ambientes cársticos que, como já observado, possui especificidades que o tornam muito mais susceptível, principalmente quando se trata do manejo de suas águas.

Na maioria dos casos, medidas usuais de controle, já aplicadas em regiões não cársticas, são bastante efetivas. As boas práticas adotadas em minerações, agropecuária, entre outros, costumam ser simples e de baixo custo. Entretanto, dependendo

do tipo de atividade e da demanda de recursos naturais, medidas mais complexas se fazem necessárias.

Outro fator complicador é a sucessão de empreendimentos de mesmo tipo de demanda por recursos em uma área comum, sem que sejam analisados em conjunto nos processos de licenciamento ambiental. Pois, um empreendimento analisado em separado pode ser potencialmente pouco danoso, por isso receber licenças mais permissivas. Mas ao se observar o conjunto dos empreendimentos de mesmo tipo na região, verifica-se a potencialidade e ocorrência de danos mais significativos.

Um exemplo típico é a questão da captação de águas subterrâneas. Numa região como Pains-MG,

por exemplo, diversas atividades ocorrem de forma adjacente, como a mineração, produção de cal e cimento, agricultura, abastecimento público, entre outros. Todas demandantes de água, ou causadoras de impactos ao aquífero (rebaixamento de lençol, entupimento de áreas de recarga, etc.). Ao mesmo tempo, nem todas as atividades realizam um trabalho de monitoramento ou estudos hidrogeológicos prévios que considerem as características estruturais do aquífero (fraturamento, compartimentação, formação potencial de cones de rebaixamento, etc.), mesmo porque, são estudos caros e complexos, mas determinantes em muitos casos. Nestas situações é clara a necessidade de controle estatal, através de processos de outorga e gestão que considerem seriamente a questão do aquífero subterrâneo e não apenas os cursos de água superficiais.

Outra medida de controle, geralmente aplicada à mineração, mas também a outras atividades que causam abalos e vibrações, é a realização de **estudos e testes com sismógrafos**. Estes estudos são fundamentais para a definição de áreas de influência de empreendimentos, não apenas relacionados à proteção de cavernas.

No Brasil não há parâmetros definidos de vibração ou sobrepressão acústica específicos para cavernas, mesmo porque, tais formações podem ser muito diferentes, em função do tamanho, tipo de rocha, formações internas, entre outros. Em geral, utiliza-se como uma das referências os índices propostos pela ABNT para avaliação dos efeitos provocados pelo uso de explosivos nas minerações em áreas urbanas (ABNT, NBR 9653 de 2005). Com isso, pode-se definir, juntamente com outros fatores específicos do quadro natural, um raio máximo de expansão das áreas de lavra sobre as áreas de caverna.

Em geral recomenda-se a adoção de raios mais conservadores, a terem a eficácia aferida por medidas de monitoramento.

Nas minerações e em outras atividades, tais como construção de estradas, terraplenagens e até mesmo áreas agrícolas, é bastante recomendável a adoção de **leiras de contenção** para se evitar o assoreamento sobre feições delicadas, como

dolinas, sumidouros, rios e mesmo campos de lapíais, ou outras áreas de recargas. No mesmo sentido, os **tanques de sedimentação** são úteis para se evitar o assoreamento dos cursos de água superficiais ou subterrâneos. As técnicas são as mais usuais, não sendo nenhum mistério sua aplicação nos empreendimentos ou sua solicitação pelos órgãos licenciadores. A única diferença é a observância de feições cársticas que, em determinados casos, eram encarados até mesmo como bota fora.

Outra forma de se conter partículas e especialmente a poluição sonora é a adoção de **barreiras verdes**, preferencialmente nativas, junto às áreas afetadas ou de produção. Além disso, a manutenção das matas sobre as cavernas e suas áreas de entorno não apenas é uma medida que minimiza efeitos danosos provocados pelas atividades humanas como propicia a continuidade dos processos naturais de desenvolvimento da caverna.

Na agricultura, além destas práticas serem desejáveis, mesmo porque podem favorecer na qualidade e quantidade de água disponível, deve-se também incentivar a adoção de práticas orgânicas (agricultura sustentável) de controle de pragas ou fertilização, com o objetivo de se evitar os diversos danos, inclusive contaminação dos recursos hídricos.

A **redefinição de projetos** é uma necessidade em muitos casos, especialmente quando se trata de cavernas de grande relevância. Mas, mesmo em casos onde uma série de cavernas de menor relevância se concentram, é possível se reduzir os efeitos lesivos com ações como: mudanças de pit de lavra, traçado de rodovia, ou até mesmo redução da cota de alagamento de uma hidrelétrica, por poucos metros que seja. A redefinição dos projetos deve ser baseada numa boa prospecção espeleológica, ainda na fase de licenciamento prévio e devem se considerar as vantagens ambientais e dificuldades de compensação, especialmente dentro da área dos próprios empreendimentos.

É comum, especialmente em minerações, a não definição de pit finais de lavra e com isso o avanço da atividade sobre áreas anteriormente consideradas de proteção, sobretudo quando na época dos

estudos para licenciamento ambiental não ocorreu uma discussão adequada entre a área de produção e de conservação ambiental, tanto nas empresas como nos órgãos de autorização e licenciamento.

Quanto às atividades espeleo turísticas, há inúmeras recomendações para se diminuir os efeitos negativos aos ambientes cavernícolas. Uma das mais evidentes é a utilização de sistemas pessoais de iluminação, preferencialmente de pouca emissão de calor, como as **lanternas elétricas**, que atualmente se tornaram muito mais eficientes e econômicas (super LED's, por exemplo).

Em cavernas com apelo turístico mais pronunciado é essencial a elaboração de técnicas de manejo, com o **controle do número de pessoas** por grupo, em geral reduzido, sobretudo quando só um guia é disponibilizado. Também há a necessidade de elaboração do **zoneamento**, que considere as maiores fragilidades da caverna e as preserve, bem como a adoção de **estruturas mínimas e leves de caminhamento**, ambos primordiais.

Em muitos casos, é indicada a procura por alternativas turísticas que aliviem a pressão sobre a caverna em destaque, especialmente naquelas de grande demanda. As alternativas podem ser trilhas interpretativas, cachoeiras, ou mesmo centros receptivos (museu, palestras, etc.). Vale ressaltar que os danos já instalados nas cavernas, como pichações, ou determinadas intervenções, como infra-estruturas de alvenaria, em geral representam danos irreversíveis, dado que a retirada ou limpeza pode ser tão ou mais danosa ou ambiente, além de muito onerosa..

5.4 Análises de contexto de empreendimentos e área de influência

As análises de contexto dos empreendimentos são instrumentos dos mais importantes no licenciamento ambiental, para se vislumbrar o potencial de impacto da atividade sobre o patrimônio espeleológico. Necessita antes de tudo de um **bom diagnóstico**, em que os elementos do quadro natural estejam bem caracterizados e seja possível analisá-los de forma **integrada**, especialmente a

geologia, topografia, hidrografia, vegetação, entre outros. Neste sentido, uma boa **prospecção espeleológica**, além de um levantamento detalhado de todas as demais feições cársticas como dolinas, sumidouros, áreas de recarga, surgências, entre outros, é fundamental.

Todos estes elementos, aliado às demais informações relacionadas ao **uso e ocupação da área** (estradas e vias de acesso, por exemplo) devem ser resumidas em um bom e claro **mapa de contexto**. Tais mapas devem ser apresentados em escalas compatíveis com a abrangência do empreendimento, de forma a ser possível a visualização das feições cársticas (inclusive o mapa das cavernas projetadas em superfície) e sua relação com as intervenções projetadas.

Todas as **intervenções**, é claro, são apresentadas, incluindo-se as medidas de controle. Com isso, devem ser possíveis análises relativas a aspectos como: direção das águas pluviais sobre as plantas do projeto e possíveis carreamentos de sedimentos a feições de absorção do endocarste (sumidouros, dolinas); relação entre cota da lâmina d'água de inundação e localização das cavernas e demais feições; distância das frentes de lavra com relação às cavernas e raios de segurança em relação à vibração; contenção de sedimento das praças de lavra em relação às áreas de mata com presença de cavernas importantes; direção preferencial de fluxos, inclusive atmosféricos; possíveis problemas geotécnicos quando as obras forem realizadas sobre lineamentos estruturais ou possíveis rotas subterâneas de escoamento; a discussão de uma possível área de influência das cavidades; entre outros.

Questões básicas de um bom mapeamento frequentemente são esquecidas em mapas deste tipo, como a escala, o norte geográfico, a legenda, e até mesmo as coordenadas geográficas dadas pela malha, o que tornaria o trabalho um simples croqui.

A **área de influência** das cavernas pode ou não estar representada nestes mapas, uma vez que nem sempre se chega a tal área sem uma boa discussão prévia, inclusive com os licenciadores.

A área de influência de caverna está

determinada na legislação, especialmente a Resolução CONAMA nº 347/04, incluindo-se um raio preventivo de proteção, estabelecido aleatoriamente para qualquer caverna em 250 metros, a partir do contorno em projeção convexa superficial. Entretanto, é comum a leitura enviesada de tal artigo na legislação, considerando-se esta área como fixa e final, ou seja, não haveria necessidade de se mudá-la. O que se observa é que a determinados empreendimentos os 250 metros não causam prejuízos econômicos e prontamente são adotados como medidas finais. Em outros, fica inviável a realização do projeto, geralmente em minerações.

O que a regra estabelece, antes da projeção pura e simples dos 250 metros, é a realização de estudos para a constituição final da área de influência. Tais estudos são os mesmos (ou deveriam ser) que levam à caracterização do patrimônio espeleológico ou até o estabelecimento de graus distintos de relevância.

Neste sentido, há que se considerarem dois fatores, o primeiro relativo às **características físicas de cada caverna** ou região cárstica e o segundo relativo ao **tipo de empreendimento**, e o potencial de interferências no patrimônio espeleológico.

Não é possível o estabelecimento de um raio de proteção absoluta, da caverna frente a qualquer tipo de impacto. Dependendo do tipo de empreendimento, haverá um tipo de impacto, as áreas de influência deverão variar conforme tais realidades. Ocorre por exemplo, a localização de cavernas em áreas circunvizinhas a empreendimentos distintos mais igualmente lesivos, de forma potencial, ao ambiente cavernícola. Supondo que as cavernas não possuam formações frágeis, uma mineração pode até adotar um raio de 50 metros de distância de suas lavras em relação às cavernas, sem que haja impactos. Veja que tal medida hipotética é bastante inferior aos 250 metros sugeridos nas regras, mas ela deverá ser baseada nos estudos especificamente realizados frente a cada situação.

Uma lavoura a montante da caverna pode afetá-la mesmo a mais de um quilômetro de distância, sobretudo se um curso de água atravessar

a cavidade. Ou seja, tudo varia conforme o tipo de empreendimento ou atividade e as características físicas do terreno e da caverna.

A determinação de tal área de proteção geralmente se dá confrontando os dados relacionados aos aspectos **naturais e antrópicos**. Dentre os naturais destacam-se: drenagem cárstica (superficial ou subterrânea) e a formação de sistemas espeleológicos, a questão da vegetação e sua maior ou menor interrelação com o ambiente cavernícola, a configuração geoestrutural dos maciços e a maior ou menor capacidade de dissipar pressões, as áreas de vida de animais importadores de material orgânico, como os morcegos, a posição topográfica das cavernas frente ao empreendimento, entre outros. Enquanto, dentre os aspectos antrópicos: as cotas de alagamento, cones de rebaixamento hidráulico, propagação de vibração de partículas (tremores), disponibilização de sedimentos e efluentes, níveis de ruído, entre outros.

Deve-se ter em mente que uma vez definida a área de influência, esta não necessariamente fica estanque, imutável. Qualquer alteração nos projetos originais do empreendimento pode resultar em mudanças desta área.

Também é muito importante o monitoramento dos parâmetros pós operação, com o objetivo de se aferir a efetividade das áreas propostas.

Portanto, antes de se proceder a marcação das áreas de influência deve-se realizar uma ampla discussão, entre as áreas responsáveis pela elaboração dos estudos espeleológicos, áreas de produção ou de engenharia e os setores responsáveis pelas análises para licenciamento. Com isso evitam-se transtornos futuros, gastos adicionais e danos irreversíveis.

5.5 Monitoramento

Existem várias formas de monitoramento ambiental, entretanto, as específicas ao meio espeleológico, ou que possam também mostrar respostas em virtude de determinadas pressões são poucas e muitas vezes complexas.

Em empreendimentos que potencialmente afetam os recursos hídricos, no quesito qualidade

de águas, são indicados os testes físico-químicos e biológicos em seus diversos parâmetros (acidez, DBO, turbidez, condutividade elétrica, etc.). São aplicados geralmente nos casos relacionados a impactos de mineração, agropecuária e urbanização.

Nas cavernas que possuem recursos hídricos, em geral coleta-se a água em diversos pontos, especialmente nas entradas (sumidouros), saídas (ressurgências) e no interior. Também são coletadas as águas nas áreas fontes, como por exemplo, a partir dos tanques de contenção de sedimentos.

O controle do volume de água também é algo interessante, sobretudo onde há interferências em rios subterrâneos ou em aquíferos que afloram em cavernas, sob a forma de lagos.

Em alguns casos é indicada a elaboração de modelos hidrogeológicos mais complexos para o carste, ainda na fase de licenciamento, como medida de controle e adaptação do empreendimento. Através destes dados é possível também realizar o monitoramento e aferir se o modelo persiste inalterado após a implantação do projeto.

Quanto aos danos estruturais, normalmente relacionados às detonações em minerações, recomenda-se um monitoramento periódico, com o fim de se aferir possíveis danos não existentes antes do empreendimento ou do estabelecimento de níveis perigosos de vibrações, por exemplo.

No caso das vibrações, pode-se utilizar dos sísmógrafos, devidamente posicionados de modo a não ocorrerem erros na medição ou dados não comparáveis com os obtidos em fases anteriores. A instalação de sensores em sedimentos ou blocos pendidos pode significar absorção adicional das vibrações. A mesma coisa acontece se os sensores são instalados cada vez em lugares diferentes, pontos da caverna muito mais distantes das áreas de lavra, e assim por diante.

Deve-se ter o cuidado de se instalar os sensores em diversos pontos, de forma a cobrir razoavelmente os principais ambientes da cavidade, sempre suportados diretamente sobre a rocha. Tais eventos devem ser acompanhados preferencialmente pelos funcionários responsáveis pelo licenciamento. Já

ocorreram casos em que o empreendedor realizou detonações em áreas diferentes daquelas programadas para os próximos anos, bem mais distantes da caverna testada, e ainda com apenas um sensor na entrada da gruta.

Uma forma indireta de se aferir danos por conta das detonações é a observação de espeleotemas frágeis, propícios à quebra. Também são observados os deslocamentos de massa, como quedas de blocos, escorregamentos, ocorrência de rachaduras novas, entre outros fatores. Nestes casos deve ser feita uma caracterização criteriosa antes da instalação do projeto ou atividade, sob o risco de haver confusão com os processos naturais antecessores.

Uma forma importante de monitoramento da qualidade ambiental nas cavernas é o acompanhamento da vegetação do entorno e sobre as mesmas. Trata-se de uma forma indireta de monitoramento, mas extremamente importante, visto que a relação é intrínseca entre conservação das matas circundantes e qualidade ambiental cavernícola.

O desmatamento ou corte seletivo devem ser contidos. Dependendo das intervenções do projeto pode haver perdas de diversos tipos, tanto relacionadas à biodiversidade como efeito de borda. Também neste sentido deve ser feito um trabalho de monitoramento da fauna cavernícola, principalmente dos morcegos, que podem ser ótimos bio indicadores.

Quando se trata de cavernas turísticas, muitas são as formas de monitoramento, geralmente envolvendo visitas periódicas. Nestes casos observa-se o desenvolvimento de organismos clorofilados (musgo, samambaias, etc.) que indicariam um acionamento excessivo do sistema de iluminação. Também pode-se notar ações adicionais de vandalismo, processos erosivos junto às trilhas ou qualquer distúrbio não notado anteriormente, também em relação à fauna cavernícola.

A realização de medições microclimáticas é também indicada para aferir se os parâmetros se mantêm em níveis correlatos aos anteriores ou aceitáveis. Dependendo da intensidade do uso turístico (cavernas de turismo de massa) e da importância

da caverna é recomendado até a instalação permanente de termo higrômetros com data *loggers* para acompanhamento constante das variações de temperatura e umidade.

Uma forma muito importante de monitoramento da conservação espeleológica é através de sistemas de informação, como o que se propõe o Cadastro Nacional de Informações Espeleológicas, CANIÊ. Nele estarão registradas todas as cavernas conhecidas, incluindo-se as passíveis de impactos negativos irreversíveis, as de relevância máxima ou consideradas testemunhos, ou seja, não passíveis de impactos.

As diversas informações reunidas num cadastro como este podem gerar uma série de análises importantes, por exemplo, relativas ao nível de conservação efetiva de determinadas regiões, ou o menor conhecimento espeleológico de outras. Podem ser úteis na definição de áreas para preservação direcionadas aos ambientes cársticos e espeleológicos. E podem induzir ações de governo no sentido de se disciplinar o acesso ao patrimônio espeleológico, inclusive através de zoneamentos de regiões cársticas, principalmente em regiões de muita pressão e demanda.

5.6 Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9653: Guia para avaliação dos efeitos provocados pelo uso de explosivos nas minerações em áreas urbanas: procedimento.** Rio de Janeiro, 09/2005.

BONACCI, O. **Karst hydrology, with special reference to the Dinaric karst.** (Springer series in physical environment). Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1987.

CASTRO, J. M. C. & KOHLER, H. C. Geomorfologia Cárstica. In: CUNHA, S. B. & GUERRA, A. J. T. (orgs.). **Geomorfologia: exercícios, técnicas e aplicações.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996. cap. 7, p. 239-249.

FORD, D.C. & WILLIAMS, P.W. **Karst geomorphology and hidrology.** London: Unwin Hyman, 1989.

JENNINGS, J. N. **Karst Geomorfology.** New York: Blackwell, 1985. pag.135-176.

KOHLER, H. C. Geomorfologia Cárstica. In: GUERRA, A. J. T. & CUNHA, S. B. (orgs.). **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos.** 4ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2001. cap. 7, p. 309-334.

KRYZA, J. & STASKO, S. **Groundwater flow rate and contaminant migration in fissure-karstic aquifer of Opole Triassic system southwest Poland.** Environmental Geology, 39 (3-4), January, 2000.

LANGER, W. H. **Potential environmental impacts of quarrying stone in karst – a literature review.** USGS, open-file report OF-01-0484. 2001. <http://geology.cr.usgs.gov/pub/ofrs/OFR-01-0484/>

MANGIN, A. (et. al.) **Painted caves conservation: a stability problem in a natural system (the example of the prehistoric cave of a Gargas, French Pyrenees).** C. R. Acad. Sci. Paris, Sciences de la terre et des planètes: Earth & Planetary Sciences, 1999. 328, 295-301.

MARINOS, P. G. (et. al.) **Development of sinkholes during reservoir construction.** Engineering Geology and the Environment: Balkema, Rotterdam, 1997. 2769-2776.

NAKAZAWA, V. A., PRANDINI, F. L., DINIZ, N. C. Subsídências e colapsos de solo em áreas urbanas. In: **Curso de Geologia aplicada ao meio ambiente.** São Paulo: ABGE, 1995. pag. 101-133.

PILÓ, L. B. **Ambientes cársticos de Minas Gerais: valor, fragilidades e impactos ambientais decorrentes da atividade humana.** O Carste, Belo Horizonte, vol. 11, nº 3, pag. 50-58 julho de 1999.

POLIDO-BOSCH, A. (et. al.). **Human impact in a tourist karstic cave (Aracena, Spain).** Environmental Geology, nº 31, june, 1997. pag. 142-149.

RESOLUÇÃO CONAMA Nº. 347, de 10 de Setembro de 2004, dispõe sobre a proteção do patrimônio espeleológico.

TEIXEIRA, W. (et. al.). **Decifrando a Terra.** São Paulo: Oficina de Textos, 2000. pag. 129-138.

THE OPEN UNIVERSITY. **Os recursos físicos da terra; materiais de construção e outras matérias brutas.** Campinas, SP: Editora da UNICAMP, 1995. Bloco 2.

WHITE, W.B. **Geomorphology and hidrology of karst terrains**. New York: Oxford Univ. Press, 1988.

ZHOU, W. & BECK, B. F. **Roadway construction in karst areas: management of stormwater runoff and sinkhole risk assessment**. *Environ Geol* (2005) 47: 1138–1149

6 ATIVIDADE DE CAMPO

Jocy Brandão Cruz,
Cristiano Ferreira,
José Carlos Ribeiro Reino e
Rita de Cássia Surrage de Medeiros

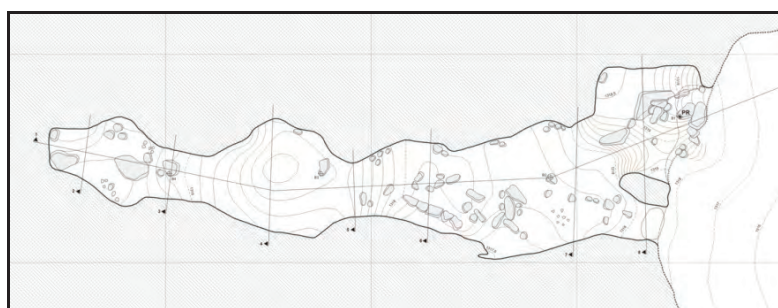
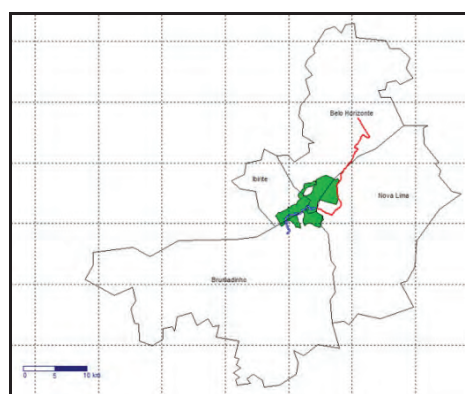
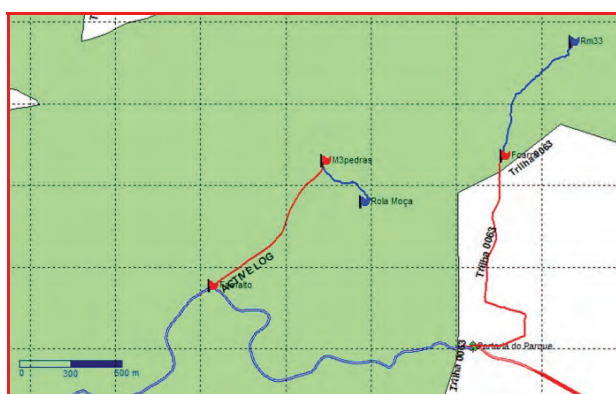
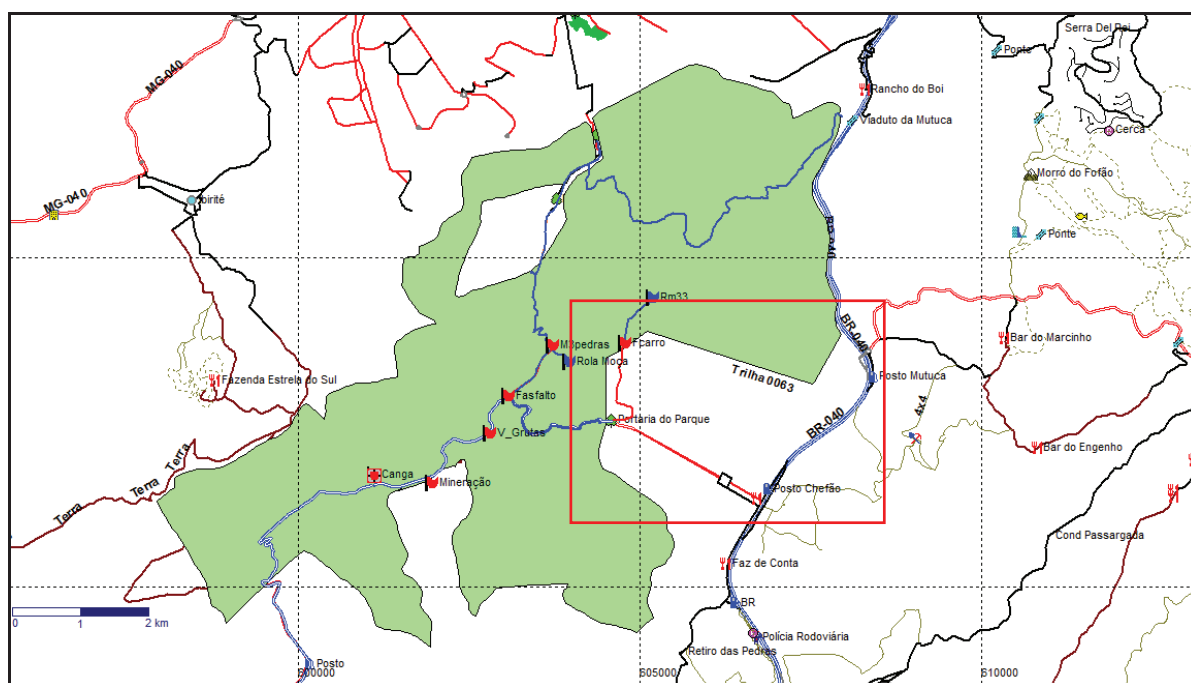
Equipe do CECav



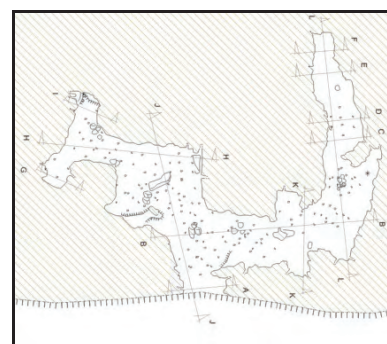
Figura 6.1: Gruta da Lapinha – Foto: Chico Fotógrafo – Acervo Prefeitura Municipal de Lagoa Santa

6.1 Parque Estadual do Rola Moça

Visitação a Gruta do Rola Moça (RM 03) e a Caverna RM 33 para observar as principais feições e fenômenos do ambiente cársticos ferroso, além de consolidar os temas apresentados e discutidos em sala de aula.



Caverna Rola Moça



Caverna RM 33

6.2 Parque Estadual do Sumidouro

Visitação as cavernas da Lapinha, da Macumba e Túneis para observar as principais feições e fenômenos do ambiente cársticos carbonático, além de consolidar os temas apresentados e discutidos em sala de aula.

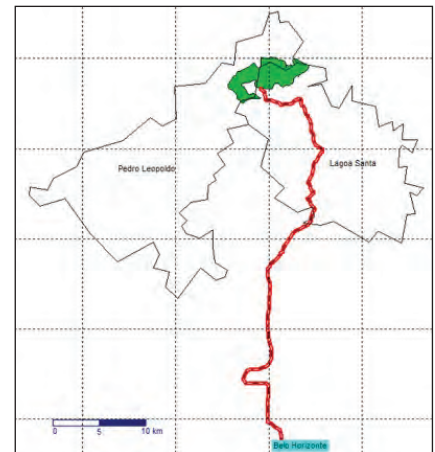
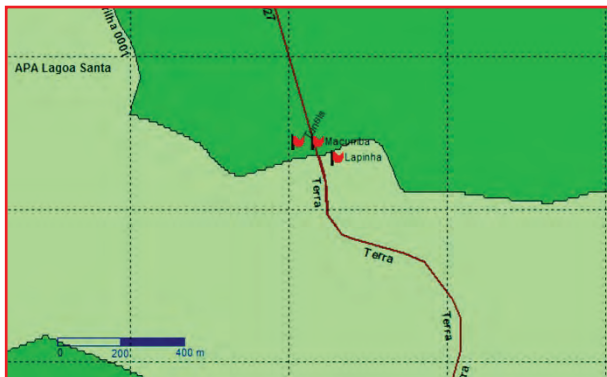
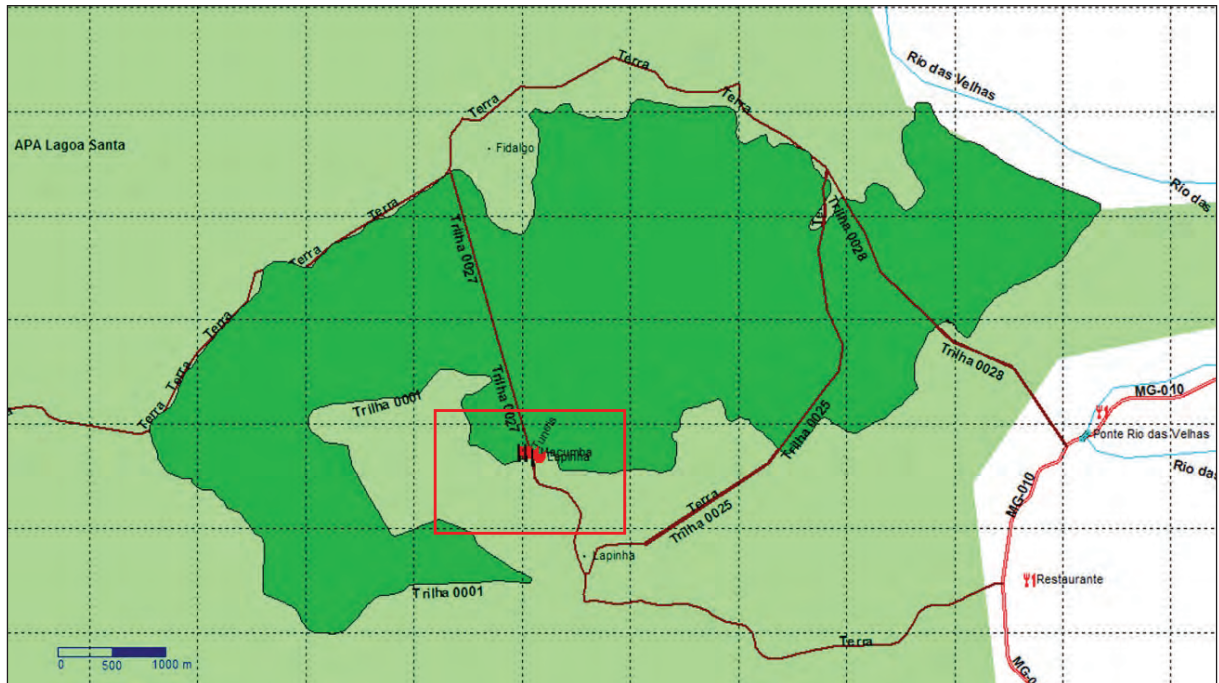


Figura 6.2: Gruta da Lapinha - Foto: Jocy Cruz



Figura 6.3: Gruta dos Túneis - Foto: Jocy Cruz



Figura 6.4: Gruta da Macumba - Foto: Jocy Cruz



Figura 6.5: Gruta dos Túneis - Foto: Jocy Cruz



Figura 6.6: Caverna RM33 - Foto: Jocy Cruz



Figura 6.7: Caverna RM33 - Foto: Jocy Cruz



Figura 6.8: Gruta Rola Moça - Foto: Jocy Cruz



Figura 6.9: Gruta Rola Moça - Foto: Jocy Cruz

7 HISTÓRICO E CONTEXTUALIZAÇÃO LEGAL

Rita de Cássia Surrage de Medeiros
Ana Lúcia Galvão

7.1 Histórico da evolução da legislação afeta ao Patrimônio Espeleológico

A história do uso das cavernas pelo ser humano ao longo de sua escala evolutiva nos revela a importância que o conhecimento atual das mesmas representa para a humanidade. Segundo Braidwood (1975), muitos achados que contam a trajetória humana se deram em cavernas. A relação existente entre o homem e as cavernas remonta à pré-história sendo evidenciada por inúmeras descobertas arqueológicas. Dentre outros usos, nossos antepassados as utilizavam para cerimoniais de sepultamento e rituais de cunho espiritual e religioso e suas manifestações estão grafadas em paredes e tetos como pinturas, picoteamento e fuligem ou vestígios encontrados no solo (CPRM/IBAMA, 1998). Porém, a importância das cavidades naturais subterrâneas não se resume a seu valor histórico, cultural ou cênico, suas interações com os recursos hídricos, a manutenção de organismos vivos, sua interação com a estabilidade estrutural de formações e elementos geológicos além do potencial de uso também são aspectos a serem considerados.

7.1.1 Surgimento da espeleologia no Brasil

Os primeiros relatos sobre cavernas no Brasil remontam ao ano de 1717 quando Francisco de Mendonça Mar informou ao rei de Portugal que morava há vinte e seis anos na caverna, hoje conhecida como Bom Jesus da Lapa (Auler, 2004). No entanto, foram as primeiras expedições científicas na região de Lagoa Santa/MG que realmente sedimentaram a espeleologia no Brasil. Isso ocorreu quando, entre os anos de 1835 e 1844, Peter Wilhelm Lund, realizou pesquisas ligadas à paleontologia e descobriu o Homem de Lagoa Santa, representante da raça que habitou as cavernas de Minas Gerais há milhares de anos. Apenas no final do século XIX que

Ricardo Krone fez o primeiro levantamento sistemático de cavernas, relacionando 41 cavidades no Vale do Rio Ribeira, região hoje do Parque Estadual Alto Ribeira/SP (Lino, 2001).

No século passado, mais especificamente na década de 30, a espeleologia no país começou a se organizar. Em 1937 foi criado o primeiro grupo de espeleologia (Sociedade Excursionista Espeleológica – SEE) formado por estudantes da Escola de Minas em Ouro Preto e que em 1960 lançou a primeira revista espeleológica do Brasil, a “Espeleologia” (Auler & Zogbi, 2005).

Podemos destacar nomes de importância fundamental na construção da espeleologia brasileira. Dentre eles, Michel Le Bret, Pierre Martin e Guy Collet que nas décadas de 1960 e 1970, exploraram cavernas do Vale do Ribeira e Iguape, estado de São Paulo. Seus esforços impulsionaram a realização do primeiro Congresso Brasileiro de Espeleologia, ocorrido em 1964, no pórtico da gruta Casa de Pedra/SP e a fundação da Sociedade Brasileira de Espeleologia (SBE) em 1967. A partir daí, surgiram outros grupos de espeleologia distribuídos entre diferentes estados brasileiros.

Com o envolvimento cada vez maior das universidades e de empresas de consultoria ambiental, a espeleologia passou de uma atividade amadora ao profissionalismo. O desenvolvimento de dissertações de mestrado e teses de doutorado, confecções de artigos, livros de enfoque técnico-científico e a promoção de conferências temáticas resultaram em ações e atividades responsáveis pela consolidação da espeleologia no Brasil como ciência (Auler & Zogbi, 2005), embora, até hoje, esta classificação não seja legalmente reconhecida. Segundo Cruz (2008), ao tempo em que crescia o conhecimento do Patrimônio Espeleológico brasileiro, crescia também a atividade econômica e a conseqüente pressão sobre os recursos naturais. Dessa forma, tornou-se imprescindível a necessidade de criar-se um aparato legal robusto que garantisse a proteção desse patrimônio.

7.1.2 Histórico da Legislação

As primeiras formulações legislativas disciplinadoras do meio ambiente no Brasil são oriundas da legislação portuguesa, que vigorou até o advento do Código Civil em 1916, quando aparecem as primeiras preocupações legais com o meio ambiente. Com a realização da Conferência de Estocolmo de 1972 e a conseqüente onda conscientizadora que passou a vigorar entre os países desenvolvidos, a legislação brasileira sobre o tema ambiental tornou-se mais consistente, ampla e voltada para a conservação.

A crescente pressão sobre as cavernas brasileiras proporcionou o despertar de uma preocupação em ordenar seu uso. Isto se refletiu no amadurecimento da legislação que evoluiu pretensamente no sentido de resguardar o patrimônio espeleológico brasileiro. É notório que o arcabouço jurídico brasileiro relacionado às cavidades naturais subterrâneas apresenta ainda muitas incongruências e contradições. No entanto, mesmo apresentando problemas, ainda se crê na necessidade de salvar este importante ecossistema.

Segundo Keila M. R. Fonseca (2005), conforme consta na Constituição Federal (CF) de 1988 (BRASIL, 1988), todas as cavidades naturais subterrâneas são bens da União (Art. 20, inciso X), portanto, de uso comum do povo. Tais bens podem ser caracterizados como locais abertos à utilização pública, a comunidade ou ao uso coletivo. No entender da autora, caso a caverna possua sítios arqueológicos e/ou paleontológicos em seus limites, por preceito constitucional do art. 216, V, ela faz parte do Patrimônio Cultural Brasileiro, devendo receber proteção específica.

O Patrimônio Espeleológico brasileiro é composto, na sua maioria, por cavernas de calcário. Contudo, também existem cavernas em outros tipos de litologia, tais como arenito, micaxisto, granito e ferro. Sabemos que no Brasil, o conflito existente nas atividades minerárias em região de ocorrências de cavernas é delicado e complexo, pois envolve o dilema "Preservação Ambiental x Desenvolvimento Socioeconômico".

Ao longo dos anos, a crescente perda do Patrimônio Espeleológico brasileiro, ocasionado pelo avanço das áreas urbanas, geração de demandas no setor de construção civil (mineradoras) e expansão da fronteira agrícola culminaram num quadro de descaracterização não só do carste como da região de entorno de cavernas (Marra, 2001) e até mesmo, a supressão completa de muitas delas. De acordo com Lino (2001), dentre as atividades lesivas ao Patrimônio Espeleológico, a mineração configura-se como a de maior impacto.

No país inteiro encontramos atividades de mineração, principalmente em calcário, que se deparam com cavernas em meio a sua área de lavra. Várias empresas já estavam instaladas e operando no território brasileiro antes mesmo da assinatura do Decreto 99.556/90 (BRASIL, 1990). Desta forma, sustentam que já detinham o direito de lavra em áreas com cavernas e que esse direito teria sido comprometido pelo Decreto, que proibiu a destruição de cavernas, impossibilitando a mineração em áreas com potencial espeleológico.

Originalmente, o Dec. 99.556/90 (Art.2) continha um texto bastante claro e simples ao estabelecer que todas as cavernas brasileiras deveriam ser preservadas e ter a integridade de seus ecossistemas garantida – independentemente de suas localizações, morfologias e/ou atributos. Desta forma, várias empresas de mineração que se instalaram após sua edição, por ocasião do licenciamento ambiental se viram obrigadas a parar suas atividades por estarem em áreas de ocorrência de cavernas.

A Resolução Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº 347 (BRASIL, CONAMA, 2004) de 10 de setembro de 2004 trouxe ao debate um novo tema ao estabelecer, em seu Inciso II, Art. 2º, o conceito de "cavidade natural subterrânea relevante, para fins de anuência pelo IBAMA no processo de licenciamento". Onde se enquadrava neste contexto "aquela que apresente atributos ecológicos, ambientais, cênicos, científicos, culturais ou sócio-econômicos no contexto local ou regional em razão, entre outras, das seguintes características:

- a) dimensão, morfologia ou valores paisagísticos;
- b) peculiaridades geológicas, geomorfológicas ou mineralógicas;
- c) vestígios arqueológicos ou paleontológicos;
- d) recursos hídricos significativos;
- e) ecossistemas frágeis; espécies endêmicas, raras ou ameaçadas de extinção;
- f) diversidade biológica; ou
- g) relevância histórico-cultural ou socioeconômica na região.”

Essa Resolução trouxe alguns avanços como o incentivo ao conhecimento e a regulamentação do uso do Patrimônio Espeleológico. No entanto, não resolveu o problema das atividades de mineração relacionadas às cavernas, pois o Decreto nº 99.556 não fazia menção à relevância desse patrimônio ou à seus atributos, o que não permitiu a aplicação integral da Resolução CONAMA nº 347/004. Em virtude da impossibilidade jurídica de aplicação integral, a principal intenção da Resolução não foi atendida, além do texto ser considerado confuso, pois não estabelece qual o tratamento dispensado às cavernas pouco relevantes, que não precisariam da anuência do IBAMA, e nem mesmo se as cavernas relevantes teriam uma abordagem especial quando do licenciamento da atividade lesiva. Em consonância com o Decreto nº 99.556 original, a Resolução nº 347/2004 também define as competências para licenciamento de atividades potencialmente poluidoras ou degradadoras do Patrimônio Espeleológico, ao estabelecer, em seu Art. 4º: “A localização, construção, instalação, ampliação, modificação e operação de empreendimentos e atividades, considerados efetiva ou potencialmente poluidores ou degradadores do patrimônio espeleológico ou de sua área de influência dependerão de prévio licenciamento pelo órgão ambiental competente, nos termos da legislação vigente.”

Desde 1990, é público que existe a obrigatoriedade de licenciamento ambiental, com elaboração de EIA/RIMA (Estudos de Impacto Ambiental/ Relatório de Impacto Ambiental), para efetivação

de atividades e empreendimentos potencialmente lesivos às cavernas brasileiras, conforme exigido pelo Dec. 99.556/90 (Art. 3º), regulamentado pela Port. IBAMA/887/90 (Art. 4º). Sendo que a licença ambiental para esses casos, só pode ser emitida ou renovada mediante a garantia de que a integridade física das cavernas afetadas e a manutenção de seus respectivos equilíbrios ecológicos sejam asseguradas.

No entanto, mesmo diante de estudos suficientes, e adequados o IBAMA não poderia anuir as licenças ambientais de empreendimentos que envolvessem a supressão de cavernas, pois a legislação específica sobre o Patrimônio Espeleológico brasileiro não permitia esta ação.

Nesse contexto, a exigência de EIA/RIMA para atender ao licenciamento de atividades minerárias em áreas de cavernas não resolvia a situação, apenas a postergava. Pois, mesmo com estudos informando que determinada caverna não era relevante, sua supressão não era legalmente aceita, assim como a promoção de qualquer forma de impacto em sua área de influência.

O licenciamento ambiental de hidrelétricas e de atividade minerária no Brasil, em especial de calcário e ferro (litologias altamente propícias à formação de cavernas), com necessidade de supressão, caminhava para uma situação extremamente delicada. A legislação, por si só, não foi suficiente para garantir a proteção do Patrimônio Espeleológico. Vários alagamentos e supressões de cavernas foram realizados pelas empresas mineradoras a revelia da legislação ambiental.

Esta situação realça o conflito de interesses existente entre a preservação de um ambiente frágil, importante e pouco estudado como o cavernícola, e a necessidade nacional de um desenvolvimento econômico e o atendimento de demandas consideradas sociais.

Um modo de se resolver esta situação seria adequar a legislação específica de cavernas à realidade econômica, condicionando os empreendimentos, efetiva ou potencialmente lesivos às cavernas, ao licenciamento regularmente praticado no país,

sob rigor técnico-científico, mas com possibilidades de mitigação de danos ou compensação para aqueles não mitigáveis. Em novembro de 2008 foi publicado o Decreto nº 6.640 dando nova redação aos arts. 10, 20, 30, 40 e 50 e acrescentando os arts. 5-A e 5-B ao Decreto nº 99.556, de 10 de outubro de 1990, buscando conciliar os interesses entre as questões ambientais e econômicas. Maiores detalhes sobre este Decreto, bem como suas implicações, os avanços e retrocessos que representa, quando comparados com a legislação anterior serão discutidos no item 3.1. “Contextualização do Decreto nº 6640 e suas implicações na conservação do Patrimônio Espeleológico”.

A legislação ambiental de proteção às cavernas brasileiras é bastante ampla e encontra-se relacionada na Tabela 1 (anexo I).

Em tramitação no Congresso Nacional existe o Projeto de Lei nº 5071/1990, apresentado pelo ex-Deputado Fábio Feldman, que em consonância com o Decreto nº 99.556/90, prevê punição para o uso parcial ou total de cavidades naturais subterrâneas, com pena de detenção de 6 meses a 3 anos. Este PL já foi aprovado no âmbito da Câmara dos Deputados, estando pendente apenas de revisão das alterações a ele propostas pelo Substitutivo do Senado Federal.

7.2 Histórico das ações do Governo Federal na gestão do Patrimônio Espeleológico brasileiro e o papel atual do CECAV com a criação do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio)

7.2.1 Histórico das ações do Governo Federal na gestão do Patrimônio Espeleológico brasileiro

As leis, resoluções, portarias e decretos, relacionados no item anterior, pertencem ao arcabouço jurídico criado visando à proteção e conservação do Patrimônio Espeleológico brasileiro. Essa ampla legislação foi fruto de discussões iniciadas na década de 1980 e representam ações concretas do Governo Federal para gestão deste patrimônio. Vale salientar que as discussões sempre envolveram um embate entre o setor econômico, interessado em utilizar os

recursos naturais e o setor ambiental, preocupado com a preservação e conservação do patrimônio. A vasta extensão do território contribui para um quadro de dificuldades no que concerne à proteção do patrimônio espeleológico nacional. Visando melhorar este quadro, o Governo Brasileiro, por meio do IBAMA, criou o CECAV - Centro Nacional de Estudo, Proteção e Manejo de Cavernas (IBAMA, 1997), que desde sua criação participa ativamente na elaboração de normas e regulação de uso, além de atuar de maneira indireta nesse importante papel na definição de políticas públicas voltadas à proteção aos sistemas cársticos brasileiros.

Como órgão regulador, tem mostrado o quão difícil é o conhecimento e a conseqüente proteção deste vasto patrimônio. Apesar dos limitados recursos financeiros e humanos, alguns passos foram dados na criação de condições de uso atual, conservação, risco e perspectivas para as cavernas e seus ambientes.

As estratégias utilizadas na proteção dizem respeito, ainda, a coibir desmatamentos não licenciados em áreas de influência de cavernas, impedir que efluentes sanitários sejam carreados ou percolados diante de usos incompatíveis, monitorar frentes de lavras em áreas de ocorrência de cavernas, inibir assoreamentos provenientes de rejeitos (depósito de estéril minerário), fiscalizar a intervenção turística em cavernas e controlar e orientar empreendedores para definição de linhas de manejo espeleológico. Tal conduta cabe não só ao Governo Federal, mas também aos estados e municípios.

Com a criação de Unidades de Conservação (Federais, Estaduais e Municipais) que incluem cavidades naturais subterrâneas em seus limites, foi criado mais um mecanismo de proteção para garantir um tratamento diferenciado a cavernas, conferindo-lhes um maior status na conservação e manejo. Como exemplo, no âmbito federal, podemos citar a criação de unidades de conservação com objetivo focado no patrimônio espeleológico, como o Parque Nacional Cavernas de Peruaçu/MG que é possuidor de cavidades e sítios arqueológicos de considerável valor. Como iniciativa municipal e

estadual citam-se, respectivamente, a criação do Parque Municipal Lagoa Azul localizado em Bonito/MS e o Parque Estadual Cavernas de Botuverá/SC. Iniciativas pontuais também têm contribuído para a proteção do patrimônio espeleológico. Exemplo disto é o estudo conjunto entre o Serviço Geológico do Brasil (CPRM) e IBAMA realizado na Área de Proteção Ambiental (APA) Carste Lagoa Santa/MG, cujo principal objetivo foi o zoneamento espeleológico da área pertencente a APA. A partir deste trabalho (CPRM/IBAMA, 1998) foi possível estabelecer diretrizes concretas para a proteção dos ambientes cársticos da APA. Ainda neste trabalho houve menção a palavra “relevância”, ou seja, em 1998, ano em que foi elaborado, podemos detectar já uma tendência em separar sítios espeleológicos de diferentes graus de importância. A definição da relevância das cavidades foi baseada em parâmetros fixos, aplicados através de valoração numérica.

Outro trabalho que merece destaque entre as ações do Governo Federal é o Relatório do Ministério de Minas e Energia (MME), “Relevância de Cavidades Naturais Subterrâneas – Contextualização, impactos ambientais e aspectos jurídicos” de autoria do consultor Augusto Auler (2006) onde o mesmo estabelece ampla discussão sobre o tema, realizando um histórico da evolução da legislação, uma abordagem sobre os impactos da atividade minerária sobre o patrimônio espeleológico e elabora um apanhado de propostas existentes sobre as metodologias de classificação dos graus de relevância de cavernas.

7.2.2 Papel atual do CECAV com a criação do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade

Com a criação do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (Lei nº. 11.516 de 28/08/2007) (BRASIL, 2007a) e a definição de suas finalidades e ações (Decreto nº. 6.100 de 26/04/2007) (BRASIL 2007b), alguns Centros Especializados do IBAMA foram incorporados à estrutura organizacional do Instituto Chico Mendes, conforme Portaria nº 78, de 03/09/2009 (INSTITUTO CHICO MENDES, 2009), que cria os Centros Nacionais de Pesquisa e Conservação

(CPC). Essa Portaria atribui aos Centros uma nova formatação, sendo que os mesmos estão divididos em dois grandes grupos – Centros com expertise técnico-científica em grupos taxonômicos e Centros com expertise técnico-científica em biomas, ecossistemas ou manejo sustentado dos recursos naturais, dentre os quais se encontra o CECAV, hoje denominado Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas. Diante das atuais competências delegadas aos Centros de Pesquisa, algumas atribuições anteriormente desenvolvidas no âmbito do IBAMA não foram recepcionadas pela referida Portaria, principalmente àquelas relacionadas ao licenciamento ambiental.

A Portaria estabeleceu o CECAV como um centro de pesquisa, tornando-se dessa forma uma unidade descentralizada do Instituto ao qual compete produzir, por meio da pesquisa científica, do ordenamento e da análise técnica de dados, o conhecimento necessário à conservação do Patrimônio Espeleológico e da biodiversidade a ele associada. Além dessas atribuições, outra finalidade é a execução de ações de manejo para a conservação e uso dos recursos naturais nas unidades de conservação federais de uso sustentável. Os centros poderão dispor de Bases Avançadas para sua atuação, que contarão necessariamente com patrimônio, quadro de servidores do Instituto e responsáveis devidamente designados. Bases Avançadas são unidades físicas do Instituto Chico Mendes, mantidas com estrutura própria ou formalmente cedida, localizada em sítio estratégico para execução de ações de pesquisa e conservação afetas aos CPCs.

Por meio da Portaria Ministerial Nº 358, de 30 de setembro 2009 (MMA, 2009), instituiu-se o Programa Nacional de Conservação do Patrimônio Espeleológico e foram estabelecidas diretrizes para melhor execução das políticas públicas ambientais através do estabelecimento de critérios e normas que permitam a utilização sustentável das cavidades, por meio do manejo espeleológico, gerenciamento e o monitoramento de outras atividades.

O programa tem por objetivo desenvolver uma estratégia nacional de conservação e uso

sustentável das cavernas brasileiras, por meio de ações, como a criação de 30 unidades de conservação federais, a realização de um Inventário Anual do Patrimônio Espeleológico Nacional, a elaboração de Planos de Ação para o Patrimônio Espeleológico, o diagnóstico das unidades espeleológicas do Brasil, além do lançamento da Revista Brasileira de Espeleologia, entre outras.

A evolução das políticas públicas, aliada a legislação em vigor, através de novas estratégias e instrumentos de gestão tem representado um avanço significativo no ordenamento do uso e estabelecimento de prioridades no que tange ao diagnóstico do Patrimônio Espeleológico nacional.

7.3 Contextualização do Decreto nº 6640 e suas implicações na conservação do Patrimônio Espeleológico: as principais diferenças em relação à legislação anterior, anuência nos processos de licenciamento (Resolução CONAMA nº 347/2004) e a compensação ambiental.

7.3.1 Contextualização do Decreto nº 6640 e suas implicações na conservação do Patrimônio Espeleológico: as principais diferenças com relação à legislação anterior

Uma das características marcantes do Decreto nº 99.556, em sua versão original, era o seu caráter estritamente conservacionista, quando em seu artigo 1º definia que “As cavidades naturais subterrâneas existentes no território nacional brasileiro constituem Patrimônio Cultural brasileiro, e, como tal, serão preservadas e conservadas de modo a permitir estudos e pesquisas de ordem técnico-científica, bem como atividades de cunho espeleológico, ético-cultural, turístico, recreativo e educativo”. Segundo a bacharel em direito Keila Maria Resende (Resende, 2005) havia uma incongruência legal entre o Art. 1º do Decreto e o Art. 216 da Constituição Federal que trata do Patrimônio Cultural brasileiro, mas não inclui as cavidades naturais subterrâneas. Portanto, o Decreto estaria contrariando a Constituição Federal.

Segundo Marchesan et al o Decreto nº 99.556/90 propôs um regime jurídico próprio para a proteção das cavidades naturais subterrâneas

existentes no território nacional (Art. 1º), para as suas áreas de influência (Art. 2º) e para áreas de ocorrências de cavernas ou áreas de potencial espeleológico (Art. 3º). Entretanto, em 07 de novembro de 2008 foi editado o Decreto nº 6.640 que alterou de maneira significativa o quadro de proteção do Patrimônio Espeleológico brasileiro, reduzindo drasticamente o status protecionista já existente. Os autores destacam os seguintes pontos polêmicos que o Decreto nº 6.640/08 apresenta, e que o distinguem da situação anterior:

- a) Desobriga a elaboração de EIA-RIMA, vinculando apenas os empreendimentos e atividades potencialmente poluidores e degradadores do Patrimônio Espeleológico ao licenciamento ambiental (Art. 5º, a);
- b) As cavernas de alta, média e baixa relevância poderão ser objetos de **impactos negativos irreversíveis**, sendo que as cavernas consideradas de “baixa relevância” poderão ser destruídas sem qualquer tipo de compensação patrimonial ou mesmo ambiental (art. 4º, § 5);
- c) Confirma a posição do CECAV de que todas as cavernas são relevantes.

A respeito do item b, vale frisar que segundo o § 4, Art. 5º-A, mediante impactos negativos irreversíveis em cavidade natural subterrânea, o empreendimento deverá ser submetido à legislação que regulamenta a Compensação Ambiental, contido no Art. 36 da Lei Nº 9.985 de 18 Julho de 2000 que institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação, regulamentado pelo Decreto nº 4.340, de 22 de agosto 2002 e alterado pelos Decreto nº 5.566 de 26/10/05 e Decreto nº 6.848 de 14/05/10 (mais detalhes a respeito no item 3.3: Compensação Ambiental).

Em janeiro de 2009, foi ajuizada no Supremo Tribunal Federal (STF) uma Ação Direta de Inconstitucionalidade (ADI 4218) contra o Decreto nº 6.640/2008. A ação foi proposta pelo procurador-geral da República, Antonio Fernando Souza, que acolheu representação da Associação do Ministério Público do Meio Ambiente (Abrampa),

encaminhada pela Sociedade Brasileira de Espeleologia (SBE). Segundo Fernando Souza, os critérios de utilização de cavernas somente podem ser fixados por lei, e não por meio de um decreto, conforme o parágrafo 3º do inciso III da CF. Outro dispositivo constitucional violado seria o inciso IV do artigo 84, que veda a edição autônoma de decretos. O decreto contestado alterou a redação dos artigos do Decreto 99.556/1990 e modificou dispositivos que determinavam a edição de lei específica para regulamentar a exploração de cavernas. Fernando Souza reitera que as novas regras subvertem o modelo constitucional e alteram o regime jurídico de preservação das cavernas. Ele pede que sejam cassados os artigos 2º, 3º, 4º, 5º, 5º-A e seus parágrafos (do decreto de 1990), na nova redação dada pelo Decreto 6.640/2008 (site STF). Até o presente momento, a ADI 4218 ainda não foi julgada pelo STF não existindo, portanto, previsão para o desenlace da situação.

Independente da movimentação de sustação do Decreto nº 6.640/08, o CECAV foi incumbido de coordenar a elaboração de uma metodologia conforme dita o Art. 5º: “A metodologia para a classificação do grau de relevância das cavidades naturais subterrâneas, considerando o disposto no art. 2º, será estabelecida em ato normativo do Ministro de Estado do Meio Ambiente, ouvidos o Instituto Chico Mendes, o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA e demais setores governamentais afetos ao tema, no prazo de sessenta dias, contados da data de publicação deste Decreto.”

Para execução de tal tarefa, foram convidados cinquenta e dois profissionais e pesquisadores pertencentes a quinze instituições, entre elas Ministério do Meio Ambiente (MMA), Ministério das Minas e Energia (MME), Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), Serviço Geológico do Brasil (CPRM), Instituto do Patrimônio Histórico Nacional (IPHAN), Instituto Brasileiro de Mineração (IBRAM), Instituto Carste, Fundação Nacional do Índio (FUNAI), Universidades, entre outras. Nos dias 26 e 27 de janeiro de 2009, foi realizada uma oficina

técnico-participativa quando estes profissionais reuniram-se em Brasília para iniciarem uma discussão a respeito do tema “metodologia para classificação do grau de relevância de cavidades naturais subterrâneas.” Além desta oficina, foram realizadas sete entrevistas direcionadas para o levantamento de informações e detalhamento das propostas. O CECAV realizou ainda quatro reuniões temáticas (aspectos bióticos, abióticos, jurídicos e sócio-econômicos) com especialistas para resolução de dúvidas e consolidação final do documento. Após este processo de construção conjunta, ocorreu em 17 de março de 2009 uma reunião final com a apresentação e avaliação da proposta metodológica. O resultado deste trabalho foi então apresentado ao MMA, alterado e convertido na Instrução Normativa nº 2, de 21 de agosto de 2009, contendo as seguintes características:

São características do Ato Normativo proposto (IN nº 02 de 21 de agosto de 2009) (MMA,2009):

- Propõe um método de classificação não matemático;
- Define claramente todos os termos técnicos utilizados (anexo I e II da IN nº 02);
- Define o enfoque local e regional;
- Prevê um período de dois anos para aplicação e revisão do ato normativo;
- Exige um estudo aprofundado da caverna por equipe multidisciplinar;
- Reforça a exigência no Decreto de que as cavidades testemunhos devem possuir atributos similares àquelas suprimidas e devem ser mantidas em caráter permanente, intactas e protegidas;
- Cria um comitê consultivo que será coordenado pelo Instituto Chico Mendes para fins de acompanhamento e avaliação do ato normativo.

7.3.2 Anuência nos processos de Licenciamento

É de suma importância esclarecer o papel e as atribuições dos órgãos ambientais competentes (OEMAs e IBAMA) que realizam o licenciamento

ambiental de empreendimentos e atividades consideradas lesivas às cavidades naturais subterrâneas, bem como de sua área de influência.

Considerando as competências e atribuições do ICMBIO, principalmente as ações evidenciadas para os Centros de Pesquisas na Portaria nº 078/2009 e buscando compreender o papel do CECAV nos processos de licenciamento ambiental citados na Resolução nº 347/2004, foram solicitadas orientações à Procuradoria Federal Especializada junto ao Instituto Chico Mendes sobre a definição do ente responsável para conferir a referida anuência.

Por meio do Parecer nº 116/2010/PFE-ICMBIO/GAB, de 16 de março de 2010, a Procuradoria Federal Especializada junto ao Instituto Chico Mendes, ao revisitar a questão sobre a competência do Instituto para conceder ou não a anuência nos processos de licenciamento mencionados no art. 4º, § 1º, da Resolução CONAMA nº 347/2004 analisa a questão de forma diferente da posição anterior e aprofunda a análise acerca das finalidades institucionais do Instituto Chico Mendes, conforme sua lei de criação. Dentre os itens do Art. 1º do Decreto nº 11.516/2007, o único que não se refere a ações em Unidades de Conservação é o item III que traz o seguinte texto: “fomentar e executar programas de pesquisa, preservação e conservação da biodiversidade e de educação ambiental”. E o referido Procurador salienta que “Nesse sentido, a atribuição legal do Instituto Chico Mendes para fomentar e executar referidos programas nunca poderá representar atividades de licenciamento ambiental, controle da qualidade ambiental, autorização de uso dos recursos naturais e fiscalização, monitoramento e controle ambiental fora das unidades de conservação, sob pena de adentrar as raíais da competência do IBAMA e negar vigência a Lei nº 7.735/1989 (Lei de Criação do IBAMA). Dessa forma, conclui que não compete ao Instituto Chico Mendes a concessão da anuência prevista na Resolução CONAMA nº 347/2004, posicionamento acatado pela Presidência do Instituto, em 22 de março de 2010.

Ressalta-se, entretanto, que o artigo 8º da Resolução CONAMA nº 428, de 17 de dezembro de

2010, revoga o inciso II, do art. 2º e o §1º do art. 4º da Resolução CONAMA nº 347/2004, excluindo do ordenamento jurídico a definição de cavidade natural relevante para fins de anuência do IBAMA e a própria anuência.

A respeito do licenciamento de empreendimentos turísticos envolvendo cavernas, o Parecer nº 185/2009/PFE-ICMBIO/GAB segue a mesma linha do Parecer nº 116/2010, fazendo alusão ao Art. 6º da Resolução CONAMA nº 347/2004, esclarece que pertence à seara de competência administrativa do IBAMA a aprovação do Plano de Manejo em referência.

Algumas situações merecem algumas considerações:

a) Documentos de solicitação de assentimento para a realização de pesquisa mineral:

A pesquisa mineral compreende um conjunto de atividades que, dependendo de suas características, são consideradas efetiva ou potencialmente poluidoras ou degradadoras de cavidades naturais subterrâneas. São exemplos a realização de sondagens, escavações (trincheiras) e beneficiamentos que envolvam o uso de quantidades significativas da substância mineral pesquisada (rocha onde porventura ocorrem cavidades naturais subterrâneas). Ainda assim, nos casos em que tais solicitações não estejam autuadas em processos de licenciamento ambiental, a legislação supracitada obriga ao licenciamento não apenas os empreendimentos, mas também as atividades potencialmente poluidoras ou degradadoras de cavidades naturais subterrâneas. Portanto, os documentos de solicitação devem ser encaminhados pelo empreendedor ao órgão ambiental competente pelo licenciamento (OEMA, IBAMA) para adequação, ou seja, para que se proceda a análise e a avaliação do grau dos impactos ao Patrimônio Espeleológico afetado, com base no art. 5º da Resolução CONAMA nº 347/2004. Neste caso, orienta-se que:

- i Seja realizada prospecção exocárstica em toda a extensão da área afetada pelo empreendimento, para avaliar a ocorrência ou não de cavidades. Os caminhamentos realizados para a prospecção devem contemplar todas as feições geomorfológicas típicas associadas às cavernas (geomorfologia cárstica), além de serem registrados e comprovados por meio das rotas armazenadas em GPS;
 - ii Caso ocorram cavidades nessas áreas, identificar suas características básicas, descrevendo:
 - Coordenadas geográficas das cavidades existentes obtidas com equipamento de GPS, em coordenadas geográficas, graus decimais, datum WGS 84 e a partir da captura de sinais advindos de um mínimo de 4 unidades bem distribuídas na constelação dos satélites, no ponto onde localizam-se as bases topográficas “zero” referentes às entradas da cavidade.
 - Denominação local;
 - Município, nome da fazenda ou da região em que se insere;
 - Dados de identificação do proprietário da área onde a caverna está inserida;
 - Altitude;
 - Topografia básica da cavidade;
 - Projeção horizontal da caverna, em superfície, acrescida de um entorno de duzentos e cinquenta metros, em forma de poligonal convexa;
 - Descrição das entradas e formas de acessos;
 - Registro fotográfico.
 - iii Como produto desse levantamento, apresentar Mapa de Situação do empreendimento, em escala de detalhe, que permita a visualização das seguintes informações:
 - Topografia detalhada da área do empreendimento com indicação das curvas de nível;
 - Caminhamentos percorridos;
 - Feições geológicas e geomorfológicas (cársticas e/ou pseudo-cársticas) como dolinas, sumidouros, ressurgências;
 - Vias de acesso e os corpos d’água.
- b) Elaboração de Termo de Referência para levantamentos do Patrimônio Espeleológico:**
- Diante dos objetivos institucionais definidos na Portaria nº 78, não compete ao CECAV elaborar termos de referência a serem seguidos pelos órgãos de meio ambiente responsáveis pelo processo de licenciamento ambiental. Não obstante, o CECAV disponibiliza em sua página eletrônica*
- Orientações Básicas a Realização de Estudos Espeleológicos¹ e Orientações Básicas para a Elaboração de Plano de Manejo Espeleológico², as quais podem ser utilizadas por qualquer instituição na confecção de termo de referência para estudos ambientais de empreendimentos licenciados pela mesma.**
- c) Necessidade de apresentar Levantamento do Patrimônio Espeleológico da área afetada pela implantação de linhas de transmissão, empreendimentos hidrelétricos, mineração, rodovias, entre outros:**
- As cavidades constantes na base de dados do CECAV representam apenas uma pequena
-
- 1 Orientações que estabelecem diretrizes básicas para a realização do levantamento espeleológico da área de influência de empreendimentos potencialmente lesivos ao Patrimônio Espeleológico, levando-se em consideração o princípio da precaução (<http://www.icmbio.gov.br/cecav> em Termo de Referência).
- 2 Orientações que estabelecem diretrizes básicas para a elaboração do Plano de Manejo Espeleológico (http://www.icmbio.gov.br/cecav/index.php?id_menu=345).

porção de todo o universo de cavernas existentes no território brasileiro que até o momento foram prospectadas por pessoas físicas, grupos ou instituições, cujos dados foram publicados em diversos meios de divulgação e, depois, sistematizados, georreferenciados e analisados por este Centro. Portanto, orientamos que seja realizada prospecção exocárstica em toda a extensão da área afetada pelo empreendimento para avaliar a ocorrência ou não de cavidades. Os caminhamentos realizados para a prospecção devem contemplar todas as feições geomorfológicas típicas associadas às cavernas (geomorfologia cárstica), além de serem registrados e comprovados por meio das rotas armazenadas em GPS. Porém, compete ao órgão ambiental responsável pelo licenciamento (OEMA, IBAMA) analisar e avaliar os estudos espeleológicos no âmbito do licenciamento, inclusive o grau dos impactos ao Patrimônio Espeleológico afetado, com base no art. 5º da Resolução CONAMA nº 347/2004, e, portanto, considerar a prospecção exocárstica realizada satisfatória ou não.

Visando contribuir para o entendimento das etapas envolvidas neste tipo de licenciamento ambiental, o Anexo II apresenta as principais atribuições dos órgãos de licenciamento e do Instituto Chico Mendes no processo e no anexo III é apresentada uma proposta de fluxograma envolvendo os procedimentos discutidos.

7.3.3 Compensação Ambiental referente ao Patrimônio Ambiental

A Compensação Ambiental é um mecanismo financeiro de compensação pelos efeitos de **impactos não mitigáveis** ocorridos quando da implantação de empreendimentos, e identificados **no processo de licenciamento ambiental**.

No caso do Decreto Nº 6.640, de 7 de Novembro de 2008, as cavidades naturais subterrâneas classificadas com grau de relevância alto, médio ou baixo poderão ser objeto de impactos negativos irreversíveis, mediante licenciamento ambiental.

No Artigo 4º do referido Decreto foram estabelecidas as possíveis formas de compensação ambiental para empreendimento que ocasione impacto negativo irreversível:

- 1 Para cada cavidade natural subterrânea com grau de relevância alto:
 - O empreendedor deverá adotar medidas e ações para assegurar a preservação, em caráter permanente, de DUAS CAVIDADES naturais subterrâneas, com o mesmo grau de relevância, de mesma litologia e com atributos similares à que sofreu o impacto, que serão consideradas CAVIDADES TESTEMUNHO (Parágrafo 1º).
 - A preservação dessas cavidades deverá, sempre que possível, ser efetivada em área contínua e no mesmo grupo geológico da cavidade que sofreu o impacto (Parágrafo 2º).
 - Não havendo, na área do empreendimento, outras cavidades representativas que possam ser preservadas sob a forma de cavidades testemunho, o Instituto Chico Mendes poderá definir, de comum acordo com o empreendedor, outras formas de compensação (Parágrafo 3º).
 - No caso do parágrafo 3º, artigo 4º do Decreto 99.556/90, os procedimentos administrativos e técnicos adotados pelo Instituto Chico Mendes para a execução das outras formas de compensação são aqueles contidos na Instrução Normativa ICMBio n.º 30/2012.

Obs.: As cavidades testemunhos são de relevância máxima, o que as tornam preservadas definitivamente (em caráter permanente).
- 2 Para cada cavidade natural subterrânea com grau de relevância médio:
 - O empreendedor deverá adotar medidas e financiar ações, nos termos definidos pelo órgão ambiental competente, 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 (Parágrafo 4º).

- 3 Para cada 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 (Parágrafo 5º).

Neste caso, vale salientar que o empreendedor terá de seguir a legislação que regulamenta a Compensação Ambiental, contido no Art. 36 da Lei Nº 9.985 de 18 Julho de 2000 que institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação, regulamentado pelo Decreto nº 4.340, de 22 de agosto 2002 e alterado pelos Decreto nº 5.566 de 26/10/05 e Decreto nº 6.848 de 14/05/10.

7.4 Referências Bibliográficas:

AULER, Augusto. **Histórico da espeleologia brasileira: o Brasil colonial e a época dos naturalistas**. Belo Horizonte: Grupo Bambuí, 2004. Disponível em: <http://www.redespeleo.org.br>

AULER, Augusto; ZOGBI, Leda. **Espeleologia: noções básicas**. Redespeleo Brasil, São Paulo. 2005.

BRAIDWOOD, R. J. **Homens pré-históricos**. Editora Universidade de Brasília. Brasília. 1975.

BRASIL. Constituição (1988). **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília: Senado Federal, 1988.

BRASIL. CONAMA. **Resolução CONAMA. nº. 347, de 10 de setembro de 2004**. Dispõe sobre a proteção do Patrimônio Espeleológico. In: **IBAMA. CECAV. Legislação espeleológica**. Disponível em: http://www.ibama.gov.br/cecav/index.php?id_menu=159.

BRASIL. **Decreto Lei nº. 99.556, de 01 de outubro de 1990**. Dispõe sobre a proteção das cavidades naturais subterrâneas existentes no território nacional, e dá outras providências. In: **INSTITUTO BRASILEIRO**

DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS (IBAMA). Centro Nacional de Estudo, Proteção e Manejo de Cavernas (CECAV). Legislação espeleológica. Disponível em: http://www.ibama.gov.br/cecav/index.php?id_menu=159

BRASIL. **Lei nº. 11.516 de 28 de agosto de 2007**. Dispõe sobre a criação do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. In: http://www.planalto.gov.br/ccivil/_Ato2007-2010/2007/L11516.htm.

BRASIL. **Decreto nº. 6.100 de 26 de abril de 2007**. Aprova a estrutura regimental e o Quadro Demonstrativo dos Cargos em Comissão e das Funções Gratificadas do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade - Instituto Chico Mendes, e dá outras providências. In: http://www.planalto.gov.br/CCIVIL/_Ato2007-2010/2007/Decreto/D6100.htm

CPRM/IBAMA. **Patrimônio Espeleológico, Histórico e Cultural, APA Carste de Lagoa Santa**, Volume III, 1998. <http://www.cprm.gov.br/gestao/apacarste/Zoneamento%20Ambiental%20Apa%20Carste%20Lagoa%20Santa.pdf>

CRUZ, Jocy Brandão. **Levantamento Espeleológico: prospecção, identificação e caracterização de cavidades naturais subterrâneas no lajedo do Ara-puá, Felipe Guerra/RN**, tendo como suporte as geotecnologias. 122 f. Monografia (Bacharelado em Geografia) – Departamento de Geografia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2008.

FONSECA, Keila Maria Resende. **Cavidades Naturais Subterrâneas: Patrimônio Cultural Brasileiro**. Informativo SBE, 2005, p. 24-27.

INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE. **Portaria nº 78 de 03 de setembro de 2009**. Criar os Centros Nacionais de Pesquisa e Conservação. In: http://www.icmbio.gov.br/cecav/index.php?id_menu=159

ICMBio: http://www.icmbio.gov.br/cpb/index.php?id_menu=24&id_arq=124

LINO, C.F.. **Cavernas. O fascinante Brasil subterrâneo**. Ed. Gaya. São Paulo. 2001.

MARCHESAN, Ana Maria Moreira; RODRIGUES, José Eduardo Ramos; MIRANDA, Marcos Paulo de Souza; CUREAU, Sandra; SOUZA, Zani Cajueiro Tobias de Souza, **Inconstitucionalidades do Decreto nº6640/2008 que dispõe sobre o Patrimônio Espeológico brasileiro**, texto não publicado.

MARRA, Ricardo José Calembo. **Cavernas**: Patrimônio Espeológico Nacional. Edições IBAMA. Brasília. 2001.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Portaria nº 358 de 30 de setembro de 2009**. In: Cria o Plano Nacional de Conservação do Patrimônio Espeológico Brasileiro. In: http://www.icmbio.gov.br/cecav/index.php?id_menu=159

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Instrução Normativa nº 02 de 20 de agosto de 2009**. Institui a metodologia de classificação do grau de relevância de cavidades naturais subterrâneas. In: http://www.icmbio.gov.br/cecav/index.php?id_menu=159

SUPREMO TRIBUNAL FEDERAL STF: <http://www.stf.jus.br/portal/cms/verNoticiaDetalhe.asp?>

Foram consultados documentos diversos do arquivo interno do CECAV tais como memorandos, ofícios, pareceres e notas técnicas para a elaboração do presente texto.

Tabela 7.1: Legislação brasileira sobre cavernas

Ano	Legislação	Tema/ Objetivo principal
1961	Lei nº 3.924	Dispõe sobre os Monumentos Arqueológicos e Pré-Históricos.
1986	Resolução CONAMA nº 009	Cria Comissão Especial para assuntos relativos à preservação do Patrimônio Espeleológico Nacional (PEN).
1987	Resolução CONAMA nº 005	Preservação do Patrimônio Espeleológico Nacional.
1988	Constituição Federal, Art. 20, Inciso X	Cavernas são Bens da União.
1990	Portaria IBAMA nº 887	Promoção de diagnóstico da situação do PEN, a constituição de um Sistema Nacional de Informações Espeleológicas, a limitação do uso das cavernas e a obrigatoriedade de EIA para atividades potencialmente lesivas as cavernas.
1990	Decreto Federal nº 99.556	Compete ao IBAMA preservar, conservar, fiscalizar e controlar o uso do PEN brasileiro, bem como fomentar levantamentos, estudos e pesquisas. Reafirma obrigatoriedade do e dá garantias de conservação da caverna e de sua área de influência.
1990	Portaria Ibama nº 887	Dispõe sobre o uso das Cavidades Subterrâneas, entre outros.
1997	Resolução CONAMA nº 237	Regula o licenciamento ambiental.
1997	Portaria IBAMA 057	Criação do CECAV – Centro de Estudo, Conservação e Manejo de Cavernas.
2001	Portaria nº 014	Interdita o uso turístico na Gruta de Ecos/Goiás
2001	Portaria nº 015	Disciplina o acesso e uso de cavernas turísticas na Chapada Diamantina/BA.
2004	Resolução CONAMA nº 347/04	Dispõe sobre a proteção do patrimônio espeleológico.
2006	Instrução Normativa nº 100	Regulamenta o mergulho em cavernas.
2008	Decreto Federal nº 6640	Dá nova redação aos arts. 1º, 2º, 3º, 4º e 5º e acrescenta os arts. 5-A e 5-B ao Decreto no 99.556, de 1º de outubro de 1990, que dispõe sobre a proteção das cavidades naturais subterrâneas existentes no território nacional.
2009	Portaria MMA nº 358	Institui o Programa Nacional de Conservação do Patrimônio Espeleológico.
2009	Instrução Normativa/MMA nº 02	Regulamenta a classificação do grau de relevância das cavidades naturais subterrâneas.
2009	Portaria do Instituto Chico Mendes, nº 078	Cria o Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas – Cecav, desta vez com nova denominação e no âmbito do Instituto Chico Mendes.

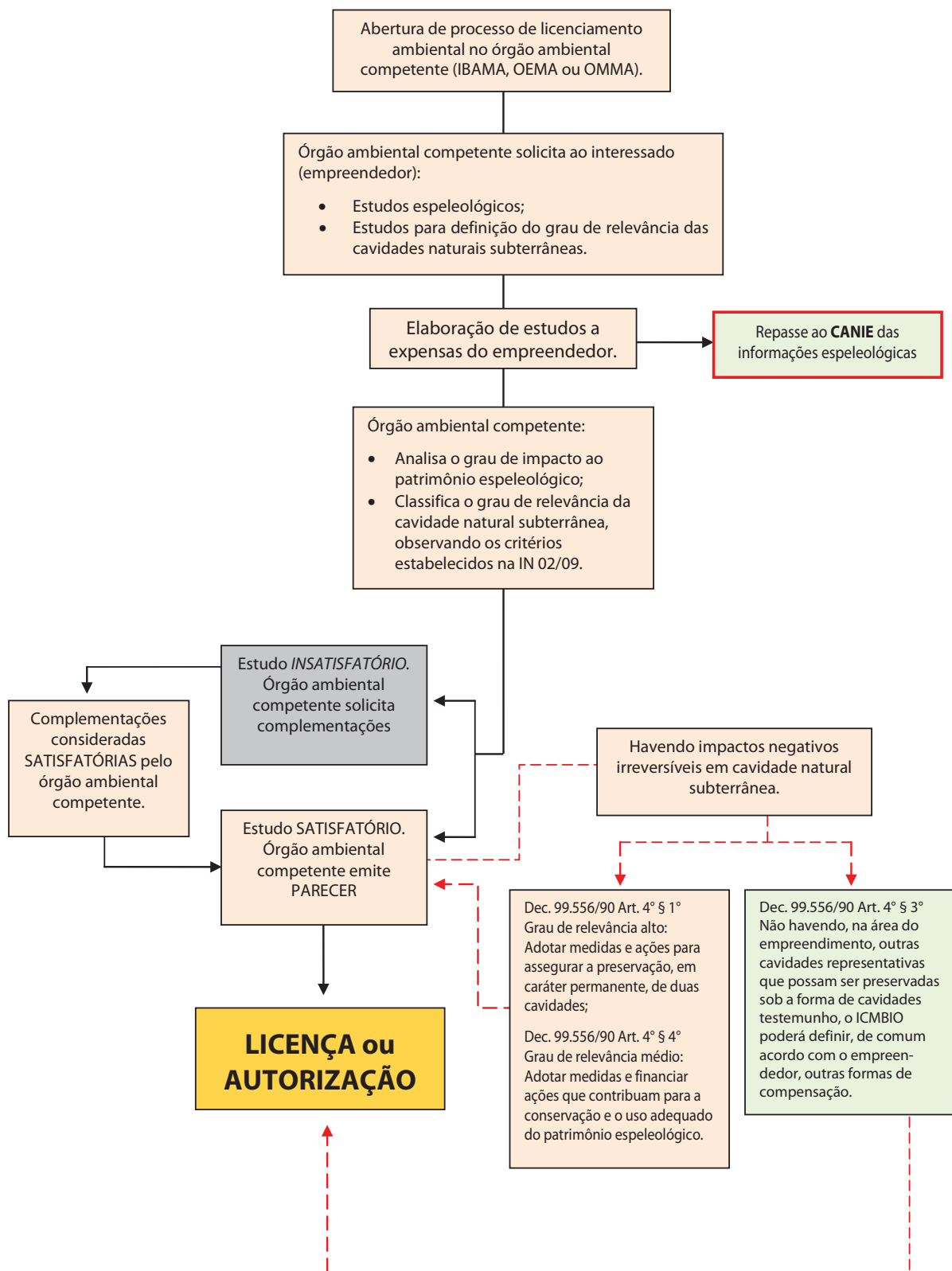
ANEXO II

**PRINCIPAIS ATRIBUIÇÕES DOS ÓRGÃOS AMBIENTAIS EM LICENCIAMENTOS
ENVOLVENDO CAVIDADES NATURAIS SUBTERRÂNEAS**

ÓRGÃOS LICENCIADORES (OEMAs, IBAMA)	1. Solicitar ao responsável pelo empreendimento ou atividade em processo de licenciamento ambiental a elaboração, as suas expensas, dos estudos necessários para a avaliação dos impactos ao patrimônio espeleológico afetado e para a classificação do grau de relevância das cavidades naturais subterrâneas na área de influência do empreendimento, de acordo com a metodologia estabelecida na Instrução Normativa nº 2, de 20 de agosto de 2009. Para o levantamento espeleológico da área de influência do empreendimento, o CECAV disponibiliza em página eletrônica as Orientações Básicas a Realização de Estudos Espeleológicos ¹ . Para os estudos, poderão ser utilizados dados e informações já apresentadas em outros estudos ambientais no âmbito do licenciamento do respectivo empreendimento ou atividade, desde que estes possibilitem definir o grau de relevância das cavidades em estudo, conforme a Instrução Normativa nº 2 e a avaliação dos responsáveis técnicos dos estudos ambientais.
	2. Solicitar esclarecimentos e complementações em decorrência da análise dos documentos, projetos e estudos apresentados, quando couber.
	3. Analisar e avaliar o grau dos impactos ao patrimônio espeleológico afetado, com base no art. 5º da Resolução CONAMA nº 347/2004.
	4. Analisar e classificar o grau de relevância das cavidades naturais subterrâneas porventura existentes na área do empreendimento e potencialmente afetadas pelo mesmo, de acordo com a metodologia estabelecida na Instrução Normativa nº 2, de 20 de agosto de 2009, e prevista no Decreto nº 99.556, de 1º de outubro de 1990, alterado pelo Decreto nº 6.640 de 7 de novembro de 2008.
	5. Realizar audiência pública de acordo com a legislação, quando couber;
	6. Definir, no caso de empreendimento que ocasione impacto negativo irreversível em cavidade natural subterrânea com grau de relevância médio, medidas e ações, a serem adotadas e financiadas pelo empreendedor, 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.
	7. Definir, no caso de empreendimento que ocasione impacto negativo irreversível em cavidade natural subterrânea com grau de relevância baixo, a compensação ambiental de que trata o art. 36 da Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000, deverá ser prioritariamente destinada à criação e implementação de unidade de conservação em área de interesse espeleológico, sempre que possível na região do empreendimento.
	8. Emitir parecer técnico conclusivo e, quando couber, parecer jurídico, com a avaliação dos impactos ao patrimônio espeleológico afetado, a classificação do grau de relevância das cavidades naturais subterrâneas e as formas de compensação, com base na análise dos estudos apresentados e observando os critérios estabelecidos no art. 5º da Resolução CONAMA nº 347/2004, e na Instrução Normativa MMA nº 2V/2009.
	9. Deferimento ou não das autorizações ou licenças ambientais requeridas.
INSTITUTO CHICO MENDES	10. No caso de empreendimento que ocasione impacto negativo irreversível em cavidade natural subterrânea com grau de relevância alto, e não havendo, na área do empreendimento, outras cavidades representativas que possam ser preservadas sob a forma de cavidades testemunho, o Instituto Chico Mendes poderá definir, de comum acordo com o empreendedor, outras formas de compensação.

¹ Orientações que estabelecem diretrizes básicas para a realização do levantamento espeleológico da área de influência de empreendimentos potencialmente lesivos ao Patrimônio Espeleológico, levando-se em consideração o princípio da precaução (<http://www.icmbio.gov.br/cecv> em **Termo de Referência**).

ANEXO III



8 LEGISLAÇÃO AMBIENTAL APLICADA

RESOLUÇÃO CONAMA Nº 347, DE 10 DE SETEMBRO DE 2004 – COMENTADA

Cristiano Fernandes Ferreira
Jocy Brandão Cruz
Jose Carlos Ribeiro Reino
André Afonso Ribeiro

Dispõe sobre a proteção do patrimônio espeleológico.

O CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE-CO-NAMA, no uso das competências previstas na Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, regulamentada pelo Decreto nº 99.274, de 6 de julho de 1990, e tendo em disposto em seu Regimento Interno, aprovado pela Portaria nº 499, de 18 de dezembro de 2002, e

Considerando a necessidade de aprimorar e atualizar o Programa Nacional de Proteção ao Patrimônio Espeleológico, aprovado pela Comissão Especial instituída pela Resolução CONAMA nº 9, de 24 de janeiro de 1986, e de disciplinar o uso desse patrimônio;

Considerando a necessidade de licenciamento ambiental das atividades que afetem ou possam afetar o patrimônio espeleológico ou a sua área de influência, nos termos da Resolução CONAMA nº 237, de 19 de dezembro de 1997 e, quando couber, a Resolução nº 001, de 1986;

Considerando a necessidade de se incorporar ao sistema de licenciamento ambiental os instrumentos de gestão ambiental do patrimônio espeleológico, visando o uso sustentável e a melhoria contínua da qualidade de vida das populações residentes no entorno de cavidades naturais subterrâneas;

Considerando que as cavidades naturais subterrâneas existentes no território nacional constituem bens da União de que trata o art. 20, inciso X, da Constituição Federal, impondo-se a necessidade de sua preservação e conservação de modo a possibilitar estudos, pesquisas e atividades de ordem técnico-científica, étnica, cultural, espeleológica, turístico, recreativo e educativo;

Considerando que as cavidades naturais subterrâneas compõem o Patrimônio Espeleológico Nacional;

Considerando que o princípio da precaução aplica-se a proteção do patrimônio espeleológico;

Considerando a necessidade de se instituir procedimentos de monitoramento e controle ambiental, visando a evitar e minimizar a degradação e a destruição de cavidades naturais subterrâneas e outros ecossistemas a elas associados, resolve:

Art. 1º Instituir o Cadastro Nacional de Informações Espeleológicas-CANIE, e estabelecer, para fins de proteção ambiental das cavidades naturais subterrâneas, os procedimentos de uso e exploração do patrimônio espeleológico nacional.

Comentário: *Instrumento de gestão ambiental do patrimônio espeleológico a ser incorporado ao sistema de licenciamento ambiental. Por meio dele o Cecav atuará no monitoramento e aperfeiçoamento dos instrumentos relacionados ao controle e uso das cavidades naturais subterrâneas (I.N. MMA 2/2009, Art. 22).*

Art. 2º Para efeito desta Resolução ficam estabelecidas as seguintes definições:

- I cavidade natural subterrânea é todo e qualquer espaço subterrâneo penetrável pelo ser humano, com ou sem abertura identificada, popularmente conhecido como caverna, gruta, lapa, toca, abismo, fuma e buraco, incluindo seu ambiente, seu conteúdo mineral e hídrico, as comunidades bióticas ali encontradas e o corpo rochoso onde as mesmas se inserem, desde que a sua formação tenha sido por processos naturais, independentemente de suas dimensões ou do tipo de rocha encaixante.
- II cavidade natural subterrânea relevante para fins de anuência pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis-IBAMA no processo de licenciamento - aquela que apresente significativos atributos ecológicos, ambientais, cênicos, científicos, culturais ou socioeconômicos, no contexto local

ou regional em razão, entre outras, das seguintes características:

Comentário: *Inciso revogado pela Resolução CO-NAMA Nº 428, de 17 de dezembro de 2010 (Art. 8º).*

- a) dimensão, morfologia ou valores paisagísticos;
 - b) peculiaridades geológicas, geomorfológicas ou mineralógicas;
 - c) vestígios arqueológicos ou paleontológicos;
 - d) recursos hídricos significativos;
 - e) ecossistemas frágeis; espécies endêmicas, raras ou ameaçadas de extinção;
 - f) diversidade biológica; ou
 - g) relevância histórico-cultural ou socioeconômica na região.
- III patrimônio espeleológico: o conjunto de elementos bióticos e abióticos, socioeconômicos e históricos-culturais, subterrâneos ou superficiais, representados pelas cavidades naturais subterrâneas ou a estas associadas;

Comentário: *O Patrimônio Espeleológico brasileiro não se limita às cavernas e demais feições físicas associadas. A biologia subterrânea, os aspectos sociais, econômicos, históricos e culturais a ele relacionados devem ser considerados em sua definição.*

- IV área de influência sobre o patrimônio espeleológico: área que compreende os elementos bióticos e abióticos, superficiais e subterrâneos, necessários à manutenção do equilíbrio ecológico e da integridade física do ambiente cavernícola;
- V plano de manejo espeleológico: documento técnico mediante o qual, com fundamento nos objetivos gerais da área, se estabelece o seu zoneamento e as normas que devem presidir o uso da área e o manejo dos recursos naturais, inclusive a implantação das estruturas físicas necessárias à gestão da cavidade natural subterrânea; e

- VI zoneamento espeleológico: definição de setores ou zonas em uma cavidade natural subterrânea, com objetivos de manejo e normas específicos, com o propósito de proporcionar os meios e as condições para que todos os objetivos do manejo sejam atingidos.

Art. 3º O Cadastro Nacional de Informações Espeleológicas CANIE, parte integrante do Sistema Nacional de Informação do Meio Ambiente - SINIMA, será constituído por informações correlatas ao patrimônio espeleológico nacional.

§ 1º Caberá ao IBAMA, realizar a gestão do CANIE, criando os meios necessários para sua execução.

Comentário: *Alterado pela I.N. MMA no 2, de 20 de agosto de 2009, a qual estabelece em seu Art. 20 que cabe ao Instituto Chico Mendes instituir o Cadastro Nacional de Informações Espeleológicas - CANIE, parte integrante do Sistema Nacional de Informação do Meio Ambiente- SINIMA. Caberá ao Instituto Chico Mendes realizar a gestão do CANIE, criando os meios necessários para sua execução (§ 1º).*

§ 2º O órgão ambiental competente estabelecerá, mediante instrumentos legais de cooperação junto a entidades governamentais e não-governamentais, a alimentação do CANIE por informações espeleológicas disponíveis no país.

Comentário: *No caso, o Instituto Chico Mendes é o órgão competente (I.N MMA n.o 2, de 20 de agosto de 2009, Art. 20, § 2º).*

§ 3º Os órgãos ambientais competentes deverão repassar ao CANIE as informações espeleológicas inseridas nos processos de licenciamento ambiental.

Comentário: *I.N nº 2, de 20 de agosto de 2009, Art. 20, § 3º.*

§ 4º O empreendedor que vier a requerer licenciamento ambiental deverá realizar o cadastramento prévio no CANIE dos dados do patrimônio espeleológico mencionados no processo de licenciamento independentemente do cadastro ou registro existentes em outros órgãos.

Comentário: *I.N n.º 2, de 20 de agosto de 2009, Art. 20, § 4.º.*

§ 5º Caberá ao IBAMA no prazo de até cento e oitenta dias, ouvindo os diversos setores que compõe o CONAMA, instituir o CANIE.

Comentário: *O Instituto Chico Mendes, no prazo de 90 dias, deverá instituir o Cadastro Nacional de Informações Espeleológicas - CANIE (I.N MMA n.º 2, de 20 de agosto de 2009, Caput Art. 20).*

Art. 4º A localização, construção, instalação, ampliação, modificação e operação de empreendimentos e atividades, considerados efetiva ou potencialmente poluidores ou degradadores do patrimônio espeleológico ou de sua área de influência dependerão de prévio licenciamento pelo órgão ambiental competente, nos termos da legislação vigente.

Comentário: *O licenciamento deve considerar como parâmetro de análise o patrimônio espeleológico e sua área de influência (Art.2º, III, IV), não restringindo a análise e avaliação técnica exclusivamente à cavidade natural subterrânea.*

A competência ora mencionada não é definida pela ocorrência ou não de cavidades naturais subterrâneas e sim de acordo com as principais diretrizes para a execução do licenciamento ambiental (Lei 6.938/81, Lei Complementar nº 140/2011, Resoluções CONAMA nº 001/86 e nº 237/97) de empreendimento ou atividade potencialmente poluidora ou degradadora do meio ambiente, consideradas suas características específicas (porte, localização, etc.).

§ 1º As autorizações ou licenças ambientais, na hipótese de cavidade natural subterrânea relevante ou de sua área de influência, na forma do art. 2º inciso II, dependerão, no processo de licenciamento, de anuência prévia do IBAMA, que deverá se manifestar no prazo máximo de noventa dias, sem prejuízo de outras manifestações exigíveis.

Comentário: *Parágrafo revogado pela Resolução CONAMA Nº 428, de 17 de dezembro de 2010*

(Art.8º). Portanto, fica excluída do ordenamento jurídico a regra que condicionava à prévia anuência do IBAMA as autorizações ou licenças ambientais referentes a empreendimentos e atividades situados em regiões de ocorrência de cavernas, deixando também de vigorar, por consequência, a definição de cavidade natural subterrânea relevante para fins de anuência dessa Instituição (art. 2º, inciso II).

§ 2º A área de influência sobre o patrimônio espeleológico será definida pelo órgão ambiental competente que poderá, para tanto, exigir estudos específicos, às expensas do empreendedor.

Comentário: *A definição da área de influência é de suma importância para a adequada avaliação do grau de impacto de empreendimentos/atividades sobre o Patrimônio Espeleológico. O órgão ambiental competente definirá a área, a partir de estudos específicos, com os elementos bióticos e abióticos necessários à manutenção do equilíbrio ecológico e da integridade física do ambiente cavernícola.*

§ 3º Até que se efetive o previsto no parágrafo anterior, a área de influência das cavidades naturais subterrâneas será a projeção horizontal da caverna acrescida de um entorno de duzentos e cinquenta metros, em forma de polígono convexa.

Comentário: *Esta definição é de caráter provisório, não eximindo a obrigatoriedade de definir a área de influência com base em estudos específicos. O entorno previsto no §3º poderá, a partir dos resultados dos estudos, aumentar ou diminuir a área de influência da cavidade.*

§ 4º A pesquisa mineral com guia de utilização em área de influência sobre o patrimônio espeleológico deverá se submeter ao licenciamento ambiental.

Comentário: *A pesquisa mineral compreende um conjunto de atividades que, dependendo de suas características, são consideradas efetiva ou potencialmente poluidoras ou degradadoras de cavidades naturais subterrâneas. São exemplos*

a realização de sondagens, escavações (trincheiras) e beneficiamentos que envolvam o uso de quantidades significativas da substância mineral pesquisada (rocha onde porventura ocorrem cavidades naturais subterrâneas). Ainda assim, nos casos em que tais solicitações não estejam autuadas em processos de licenciamento ambiental, a legislação supracitada obriga ao licenciamento não apenas os empreendimentos, mas também as atividades potencialmente poluidoras ou degradadoras de cavidades naturais subterrâneas. Portanto, a pesquisa mineral, mesmo sem guia de utilização, merece análise e avaliação do grau de impacto ao patrimônio espeleológico afetado, com base no art. 5º da Resolução CONAMA nº 347/2004.

Art. 5º Na análise do grau de impacto, o órgão licenciador considerará, entre outros aspectos, a intensidade, a temporalidade, a reversibilidade e a sinergia dos referidos impactos.

Parágrafo único. Na avaliação dos impactos ao patrimônio espeleológico afetado, o órgão licenciador deverá considerar, entre outros aspectos:

- I suas dimensões, morfologia e valores paisagísticos;
- II suas peculiaridades geológicas, geomorfológicas e mineralógicas;
- III a ocorrência de vestígios arqueológicos e paleontológicos;

Comentário: *Eventualmente esses atributos serão avaliados por outros entes públicos (IPHAN, DNPM, p.ex.).*

- IV recursos hídricos;
- V ecossistemas frágeis ou espécies endêmicas, raras ou ameaçadas de extinção;
- VI a diversidade biológica; e
- VII sua relevância histórico-cultural ou sócio-econômica na região.

Art. 6º Os empreendimentos ou atividades turísticos, religiosos ou culturais que utilizem o ambiente

constituído pelo patrimônio espeleológico deverão respeitar o Plano de Manejo Espeleológico, elaborado pelo órgão gestor ou o proprietário da terra onde se encontra a caverna, aprovado pelo IBAMA.

Comentário: *Por meio do Parecer nº 185/2009/PFE-ICMBIO/GAB, de 09 de setembro de 2009, a Procuradoria Federal Especializada junto ao Instituto Chico Mendes esclarece que pertence à esfera de competência administrativa do IBAMA a aprovação do Plano de Manejo em referência.*

§ 1º O IBAMA disponibilizará termo de referência para elaboração do Plano de Manejo Espeleológico de que trata este artigo, consideradas as diferentes categorias de uso do patrimônio espeleológico ou de cavidades naturais subterrâneas.

Comentário: *o Cecav disponibiliza Orientações Básicas para a Elaboração de Plano de Manejo Espeleológico visando contribuir com os órgãos licenciadores na elaboração de termos de referência sob sua competência.*

§ 2º No caso das cavidades localizadas em propriedades privadas o uso das mesmas dependerá de plano de manejo espeleológico submetido à aprovação do IBAMA.

Art. 7º As atividades de pesquisa técnico-científica em cavidades naturais subterrâneas que impliquem em coleta ou captura de material biológico ou mineral, ou ainda de potencial interferência no patrimônio espeleológico, dependerão de prévia autorização do IBAMA, ou de órgão do SISNAMA devidamente conveniado.

Comentário: *As atividades de pesquisa técnico-científica mencionadas dependem de autorização do Instituto Chico Mendes, por meio do SISBIO (I.N. IBAMA nº 154/2007). – www.ibama.gov.br/sisbio.*

Por meio do Sistema de Autorização e Informação em Biodiversidade (Sisbio) pesquisadores poderão solicitar, via Internet, autorizações para as seguintes atividades com finalidade científica ou didática (no âmbito do ensino superior):

- *Coleta e transporte de material biológico;*
- *Captura ou marcação de animais silvestres in situ;*
- *Manutenção temporária de espécimes de fauna silvestre em cativeiro para experimentação científica;*
- *Realização de pesquisa em unidade de conservação federal ou em cavernas.*

Coletas ou capturas associadas ao processo de licenciamento ambiental (estudos ambientais, p.ex.) não são contempladas pelo SISBIO e, nesse caso, dependem da autorização do órgão ambiental competente.

§ 1º Quando o requerente for estrangeiro, o projeto de pesquisa deverá atender as exigências previstas na legislação em vigor, devendo o requerimento ser decidido em noventa dias, contados a partir da data em que o órgão certifique o encerramento da instrução.

§ 2º Para obtenção da autorização da pesquisa, o requerente deverá apresentar a documentação exigida pelo IBAMA.

Comentário: verificar regras do SISBIO.

§ 3º O requerente deverá assinar termo, em que se comprometa a fornecer ao IBAMA os relatórios de sua pesquisa, que serão encaminhados ao CANIE.

Comentário: *os termos de uso, acesso e disponibilidade às informações do SISBIO esclarecem que as informações contidas em qualquer parte dos Relatórios de Atividades são de uso restrito e exclusivo do pesquisador, portanto, não são para uso público; Seu uso para outras finalidades que não seja para a gestão da unidade de conservação ou à proteção de espécies em nome do ICM-Bio, antes da data da liberação das informações especificada pelo pesquisador devem preceder de autorização deste (verificar regras do SISBIO).*

§ 4º A subdelegação, substituição ou repasse da responsabilidade da execução do projeto aprovado, dependerá de prévia anuência do IBAMA.

Comentário: verificar regras do SISBIO.

Art. 8º Nos casos de licenciamento ambiental de empreendimentos e atividades considerados efetiva ou potencialmente causadores de significativa alteração e degradação do patrimônio espeleológico, para os quais se exija Estudo Prévio de Impacto Ambiental-EIA e respectivo Relatório de Impacto Ambiental ao Meio Ambiente-RIMA, o empreendedor é obrigado a apoiar a implantação e a manutenção de unidade de conservação, de acordo com o previsto no art. 36 da Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000.

Comentário: *O Decreto nº 6.640/ 2008 desobriga a elaboração de EIA-RIMA ao alterar a redação original do Art.3º, vinculando apenas os empreendimentos e atividades potencialmente poluidores e degradadores do Patrimônio Espeleológico ao licenciamento ambiental (Art. 5º, a). Entretanto, no § 4º de seu Art. 5º-A, estabelece que havendo impactos negativos irreversíveis em cavidades naturais subterrâneas pelo empreendimento, a compensação ambiental de que trata o art. 36 da Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000, deverá ser prioritariamente destinada à criação e implementação de unidade de conservação em área de interesse espeleológico, sempre que possível na região do empreendimento.*

§ 1º O apoio a que se refere o caput desse artigo poderá nos termos do art. 33, do Decreto nº 4.340, de 22 de agosto de 2002, constituir-se em estudos e pesquisas desenvolvidas, preferencialmente na região do empreendimento, que permitam identificar áreas para a implantação de unidades de conservação de interesse espeleológico.

§ 2º O apoio que trata o caput desse artigo se aplica às hipóteses do art. 36, da Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000, que regulamenta o art. 225, § 1º, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, que institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências, e demais atos legais em vigência.

Art. 9º Sem prejuízo da imediata aplicação desta Resolução, o Ministério do Meio Ambiente, constituirá

Grupo de Trabalho Interministerial, que terá cento e oitenta dias para subsidiar o Programa Nacional de Proteção ao Patrimônio Espeleológico e elaborar critérios complementares para caracterização da relevância de que trata o art. 2º inciso II, a serem submetidos ao Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA.

Comentário: *A Portaria MMA n.º 358, de 30 de setembro de 2009, institui o Programa Nacional de Conservação do Patrimônio Espeleológico. O detalhamento dos critérios de relevância foi estabelecido por meio do Decreto n.º 6.640/2008 e da Instrução Normativa MMA n.º 02/2009.*

Art. 10º O órgão ambiental competente, ao indeferir o pedido de licença ou autorização, ou ainda sua renovação comunicará, em até trinta dias, a contar de sua decisão, ao empreendedor e aos órgãos reguladores da atividade em questão, bem como ao Ministério Público, para as medidas cabíveis.

Art. 11º O órgão ambiental competente fará articulação junto aos órgãos competentes do patrimônio histórico-cultural e mineral para, através de termo de cooperação, proteger os patrimônios espeleológico, arqueológico e paleontológico e alimentar o banco de dados do CANIE.

Art. 12º Na ocorrência de sítios arqueológicos e paleontológicos junto à cavidade natural subterrânea, o órgão ambiental licenciador comunicará aos órgãos competentes responsáveis pela gestão e proteção destes componentes.

Art. 13º Os empreendimentos ou atividades já instalados ou iniciados terão o prazo de sessenta dias para requerer sua regularização, nos termos desta Resolução.

Art. 14º Esta Resolução entra em vigor na data de sua publicação.

Art. 15º Fica revogada a Resolução CONAMA nº 5, de 6 de agosto de 1987.

MARINA SILVA
Presidente do Conselho

DECRETO Nº 99.556, DE 1º DE OUTUBRO DE 1990 – COMENTADO

Cristiano Fernandes Ferreira
Jocy Brandão Cruz
Jose Carlos Ribeiro Reino
André Afonso Ribeiro

Dispõe sobre a proteção das cavidades naturais subterrâneas existentes no território nacional, e dá outras providências.

O VICE-PRESIDENTE DA REPÚBLICA, no exercício do cargo de PRESIDENTE DA REPÚBLICA, no uso da atribuição que lhe confere o art. 84, inciso IV, da Constituição, e tendo em vista o disposto nesta, arts. 20, X, e 216, como na Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, e no Decreto nº 99.274, de 7 de junho de 1990,

DECRETA:

Art. 1º As cavidades naturais subterrâneas existentes no território nacional constituem patrimônio cultural brasileiro, e, como tal, serão preservadas e conservadas de modo a permitir estudos e pesquisas de ordem técnico-científica, bem como atividades de cunho espeleológico, étnico-cultural, turístico, recreativo e educativo:

Parágrafo único. Entende-se como cavidade natural subterrânea todo e qualquer espaço subterrâneo penetrável pelo homem, com ou sem abertura identificada, popularmente conhecido como caverna, 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 a sua formação haja ocorrido por processos naturais, independentemente de suas dimensões ou do tipo de rocha encaixante. Nesta designação estão incluídos todos os termos regionais, tais como gruta, lapa, toca, abismo, furna e buraco.

Art. 2º A utilização das cavidades naturais subterrâneas e de sua área de influência deve fazer-se consoante a legislação específica, e somente dentro de condições que assegurem sua integridade física e a manutenção do respectivo equilíbrio ecológico:

Parágrafo único. A área de influência de uma cavidade natural subterrânea há de ser definida por estudos técnicos específicos, obedecendo às peculiaridades e características de cada caso.

Art. 3º É obrigatória a elaboração de estudo de impacto ambiental para as ações ou os empreendimentos de qualquer natureza, ativos ou não, temporários ou permanentes, previstos em áreas de ocorrência de cavidades naturais subterrâneas ou de potencial espeleológico, os quais, de modo direto ou indireto, possam ser lesivos a essas cavidades, ficando sua realização, instalação e funcionamento condicionados à aprovação, pelo órgão ambiental competente, do respectivo relatório de impacto ambiental.

Parágrafo único. No que concerne às ações e empreendimentos já existentes, se ainda não efetivados os necessários estudo e relatório de impacto ambiental, devem estes ser realizados, em prazo a ser fixado pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente CONAMA.

Art. 4º Cabe ao poder público, inclusive à União, esta por intermédio do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama), preservar, conservar, fiscalizar e controlar o uso do patrimônio espeleológico brasileiro, bem como fomentar levantamentos, estudos e pesquisas que possibilitem ampliar o conhecimento sobre as cavidades naturais subterrâneas existentes no território nacional.

Parágrafo único. No cumprimento do disposto no caput deste artigo, o Ibama pode efetivar, na forma da lei, acordos, convênios, ajustes e contratos com entidades públicas ou privadas, nacionais, internacionais ou estrangeiras.

Art. 5º Para efeito deste decreto, consideram-se:

I — patrimônio espeleológico: o conjunto de elementos bióticos e abióticos, sócio-econômicos e históricoculturais, subterrâneos ou superficiais, representados pelas cavidades naturais subterrâneas ou a estas associados;

II — áreas de potencial espeleológico: as áreas que, devido à sua constituição geológica e geomorfológica, sejam suscetíveis do desenvolvimento de cavidades naturais subterrâneas, como as de ocorrência de rochas calcárias;

III — atividades espeleológicas: as ações desportivas, ou aquelas técnico-científicas de prospecção, mapeamento, documentação e pesquisa que subsidiem a identificação, o cadastramento, o conhecimento, o manejo e a proteção das cavidades naturais subterrâneas.

Art. 1º As cavidades naturais subterrâneas existentes no território nacional deverão ser protegidas, de modo a permitir estudos e pesquisas de ordem técnico-científica, bem como atividades de cunho espeleológico, étnico-cultural, turístico, recreativo e educativo. (Redação dada pelo Decreto nº 6.640, de 2008).

Comentário: A principal alteração em relação à redação original foi desfazer a relação jurídica inicial entre as cavidades naturais subterrâneas existentes no território nacional e o patrimônio cultural brasileiro.

Parágrafo único. Entende-se por cavidade natural subterrânea todo e qualquer espaço subterrâneo acessível pelo ser humano, com ou sem abertura identificada, popularmente conhecido 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. (Redação dada pelo Decreto nº 6.640, de 2008).

Comentário: o conceito continua essencialmente o mesmo do Decreto nº 99.556/90, cuja mudança perceptível é a substituição do termo "homem" por "ser humano". Os principais aspectos de importância desta conceituação são: as cavernas podem ter ou não aberturas identificadas, ou seja, podem estar oclusas no maciço e virem a

ser descobertas por processos naturais ou antrópicos, por exemplo, mineração; não importa o termo utilizado, inclusive nomes diferentes daqueles descritos no parágrafo único (fenda, gruta, etc.), mas caracterizada a cavidade natural subterrânea, esta será regida pelas regras deste Decreto; independente de suas dimensões, será considerada cavidade natural subterrânea qualquer até mesmo um espaço subterrâneo com pequeno desenvolvimento, desde que possibilite a entrada do ser humano; é possível a ocorrência de cavernas em vários tipos de rocha, mesmo pouco solúveis, como as graníticas, p.ex.

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. (Redação dada pelo Decreto nº 6.640, de 2008).

Comentário: A classificação deve seguir a metodologia definida na IN MMA nº 02/2009. Entretanto, seja no Decreto, quanto na IN, a presença de qualquer atributo listado como de máxima relevância será conclusiva para a classificação (classificação direta). Ressalta-se que a classificação depende da análise de todos os atributos listados, bem como sob os dois enfoques, local e regional, isto é, mesmo que a análise identifique um atributo que classifique a cavidade em determinado grau de relevância, deverão ser analisados os demais atributos relacionados àquele grau e grau superior, alguns inclusive para o caso de sua ausência. Mesmo para o caso de grau de relevância máximo é necessária a análise de todos os atributos previstos no § 4º deste artigo, visto que tais cavidades não podem ser objeto de impactos negativos irreversíveis e, portanto, fundamental conhecer os atributos descritos no caput para efeito de eventual avaliação de impacto de atividades e empreendimentos próximos.

O Decreto não estabelece cavidade natural subterrânea sem relevância, ou seja, toda cavidade passa a ter relevância.

§ 1º A análise dos atributos geológicos, para a determinação do grau de relevância, deverá ser realizada comparando cavidades da mesma litologia. (Incluído pelo Decreto nº 6.640, de 2008).

Comentário: a base de comparação é a litologia, fator determinante para a aplicação das normas (calcário com calcário, arenito com arenito, etc.).

§ 2º Para efeito deste Decreto, entende-se por enfoque local a unidade espacial que engloba a cavidade e sua área de influência e, por enfoque regional, a unidade espacial que engloba no mínimo um grupo ou formação geológica e suas relações com o ambiente no qual se insere. (Incluído pelo Decreto nº 6.640, de 2008).

Comentário: A abordagem dessas relações confere à análise um caráter subjetivo e por vezes peculiar, já que características específicas dos atributos, decorrentes de processos naturais impostos ao grupo ou à formação geológica, apresentam respostas (relações) também específicas. Por isso, buscou-se aprimorar a definição de enfoque regional por meio da Instrução Normativa MMA nº 02/2009 (Art. 14, §1º), a qual também refina a definição de enfoque local.

Para que seja aplicado o disposto neste Decreto, ou seja, a avaliação de atributos sob o enfoque local é necessário que a área de influência seja definida conforme § 2º, Art. 4º da Resolução Conama nº 347/2004, por meio de estudos específicos. Porém, conforme o § 3º, do referido artigo, até que se efetive o previsto no §2º, a área de influência das cavidades naturais subterrâneas será a projeção horizontal da caverna acrescida de um entorno de duzentos e cinquenta metros, em forma de poligonal convexa. Destaca-se que os estudos poderão identificar, inclusive, área de influência diferente daquela pré-estabelecida na Resolução em referência.

§ 3º Os atributos das cavidades naturais subterrâneas listados no caput serão classificados, em termos de sua importância, em acentuados, significativos ou baixos. (Incluído pelo Decreto nº 6.640, de 2008).

§ 4º Entende-se por cavidade natural subterrânea com grau de relevância máximo aquela que possui pelo menos um dos atributos listados abaixo: (Incluído pelo Decreto nº 6.640, de 2008).

- I gênese única ou rara; (Incluído pelo Decreto nº 6.640, de 2008).
- I morfologia única; (Incluído pelo Decreto nº 6.640, de 2008).
- III dimensões notáveis em extensão, área ou volume; (Incluído pelo Decreto nº 6.640, de 2008).
- IV espeleotemas únicos; (Incluído pelo Decreto nº 6.640, de 2008).
- V isolamento geográfico; (Incluído pelo Decreto nº 6.640, de 2008).
- VI abrigo essencial para a preservação de populações geneticamente viáveis de espécies animais em risco de extinção, constantes de listas oficiais; (Incluído pelo Decreto nº 6.640, de 2008).
- VII hábitat essencial para preservação de populações geneticamente viáveis de espécies de troglóbios endêmicos ou relíquias; (Incluído pelo Decreto nº 6.640, de 2008).
- VIII hábitat de troglóbio raro; (Incluído pelo Decreto nº 6.640, de 2008).
- IX interações ecológicas únicas; (Incluído pelo Decreto nº 6.640, de 2008).
- X cavidade testemunho; ou (Incluído pelo Decreto nº 6.640, de 2008).
- XI destacada relevância histórico-cultural ou religiosa. (Incluído pelo Decreto nº 6.640, de 2008).

Comentário: independente dos enfoques analisados ou a relação de atributos, a presença de qualquer um desses atributos define a relevância da cavidade em grau máximo, exceto o

isolamento geográfico, que requer estudos para verificar sua relevância em grau alto ou médio, conforme § 5º a seguir.

§ 5º Para efeitos do § 4º, o atributo a que se refere seu inciso V só será considerado no caso de cavidades com grau de relevância alto e médio. (Incluído pelo Decreto nº 6.640, de 2008).

Comentário: o isolamento geográfico só se aplica aos casos em que a caverna for considerada de relevância alta ou média. Nos casos de cavernas nunca estudadas, que não indiquem a priori atributos de relevância máxima, tais aspectos podem vir a ser identificados ainda assim a posteriori, com a realização dos estudos pelo empreendedor. Portanto, é recomendado que o isolamento geográfico seja um atributo de análise preliminar para a classificação de relevância de cavidades.

§ 6º Entende-se por cavidade natural subterrânea com grau de relevância alto aquela cuja importância de seus atributos seja considerada, nos termos do ato normativo de que trata o art. 5º: (Incluído pelo Decreto nº 6.640, de 2008).

- I acentuada sob enfoque local e regional; ou (Incluído pelo Decreto nº 6.640, de 2008).
- II acentuada sob enfoque local e significativa sob enfoque regional. (Incluído pelo Decreto nº 6.640, de 2008).

§ 7º Entende-se por cavidade natural subterrânea com grau de relevância médio aquela cuja importância de seus atributos seja considerada, nos termos do ato normativo de que trata o art. 5º: (Incluído pelo Decreto nº 6.640, de 2008).

- I acentuada sob enfoque local e baixa sob enfoque regional; ou (Incluído pelo Decreto nº 6.640, de 2008).
- II significativa sob enfoque local e regional. (Incluído pelo Decreto nº 6.640, de 2008).

§ 8º Entende-se por cavidade natural subterrânea com grau de relevância baixo aquela cuja

importância de seus atributos seja considerada, nos termos do ato normativo de que trata o art. 5º: (Incluído pelo Decreto nº 6.640, de 2008).

- I significativa sob enfoque local e baixa sob enfoque regional; ou (Incluído pelo Decreto nº 6.640, de 2008).
- II baixa sob enfoque local e regional. (Incluído pelo Decreto nº 6.640, de 2008).

Comentário: *O Decreto exige a metodologia (IN) para esclarecer quais os atributos correspondentes a cada nível de importância, sob os enfoques local e regional. O nível de importância dos aspectos/parâmetros, quanto ao enfoque local e regional, não foi totalmente contemplado no Decreto em relação à classe de relevância, conforme tabela a seguir:*

Aspectos ou parâmetros	Enfoque local	Enfoque regional	Classe de relevância
Nível de importância	Significativa	Acentuada	?
	Baixa	Acentuada	?
	Baixa	Significativa	?

§ 9º Diante de fatos novos, comprovados por estudos técnico-científicos, o Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade - Instituto Chico Mendes poderá rever a classificação do grau de relevância de cavidade natural subterrânea, tanto para nível superior quanto inferior. (Incluído pelo Decreto nº 6.640, de 2008).

Comentário: *Não há uma definição precisa sobre quais seriam tais “fatos novos”, entretanto, visto que têm de ser comprovados por estudos técnico-científicos, entende-se que deve haver certa formalidade para a apresentação dos fatos (p.ex. denúncia, novos estudos, manifestações em audiências públicas), bem como o rigor de uma análise técnica-científica. A alteração do nível mencionada no parágrafo deve ser encarada com seriedade, visto que pode acarretar tanto na supressão de determinada cavidade, quanto*

na inviabilidade de empreendimentos e atividades em licenciamento.

Art. 3º A cavidade natural subterrânea com grau de relevância máximo e sua área de influência não podem ser objeto de impactos negativos irreversíveis, sendo que sua utilização deve fazer-se somente dentro de condições que assegurem sua integridade física e a manutenção do seu equilíbrio ecológico. (Redação dada pelo Decreto nº 6.640, de 2008).

Comentário: *Exemplos da utilização mencionada são os empreendimentos turísticos em cavernas com o devido plano de manejo espeleológico aprovado, conforme previsto na Resolução Conama nº 347/04.*

Aos empreendimentos turísticos que porventura prevejam impactos negativos irreversíveis na cavidade a ser utilizada deverá ser aplicada a regra estabelecida no Art. 5º-A, ou seja, o licenciamento pelo órgão ambiental competente e a classificação do grau de relevância da cavidade natural subterrânea, observando os critérios estabelecidos pelo Ministério do Meio Ambiente. Caso a cavidade seja classificada com grau de relevância máximo, se aplica o previsto no Art. 3º, cabendo ao empreendedor, portanto, apresentar alternativas que excluam os impactos negativos irreversíveis a cavidade, caso contrário, o empreendimento deve ter o pedido de licenciamento indeferido. No caso de cavernas com grau de relevância alto, médio ou baixo, se aplicam as regras previstas no Art. 4º.

“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. (Redação dada pelo Decreto nº 6.640, de 2008).

Comentário: *principal alteração decorrente do Decreto nº 6.640/2008, diferentemente da redação original que permitia o uso de cavidades naturais subterrâneas e de sua área de influência*

somente dentro de condições que assegurassem sua integridade física e a manutenção do respectivo equilíbrio ecológico.

§ 1º No caso de empreendimento que ocasione impacto negativo irreversível em cavidade natural subterrânea com grau de relevância alto, o empreendedor deverá adotar, como condição para o licenciamento ambiental, medidas e ações para assegurar a preservação, em caráter permanente, de duas cavidades naturais subterrâneas, com o mesmo grau de relevância, de mesma litologia e com atributos similares à que sofreu o impacto, que serão consideradas cavidades testemunho. (Incluído pelo Decreto nº 6.640, de 2008).

Comentário: *Ponto sensível! Assegurar a preservação das cavernas é condição para o licenciamento, porém, não há definição no Decreto ou na I.N. da(s) forma(s) de preservação em caráter permanente.*

Outro aspecto importante é a similaridade de atributos entre as cavernas impactadas e as preservadas em compensação. Ressalta-se que as cavernas preservadas passam ao grau de máxima relevância por serem definidas como cavidades testemunho.

§ 2º A preservação das cavidades naturais subterrâneas, de que trata o § 1º, deverá, sempre que possível, ser efetivada em área contínua e no mesmo grupo geológico da cavidade que sofreu o impacto. (Incluído pelo Decreto nº 6.640, de 2008).

§ 3º Não havendo, na área do empreendimento, outras cavidades representativas que possam ser preservadas sob a forma de cavidades testemunho, o Instituto Chico Mendes poderá definir, de comum acordo com o empreendedor, outras formas de compensação. (Incluído pelo Decreto nº 6.640, de 2008).

Comentário: *o artigo trata das regras básicas para a compensação decorrente de impactos em cavidades. O Memorando Nº 514/2010/AGU/PGF/PFE-ICMBIO da Procuradoria Federal*

Especializada junto ao Instituto Chico Mendes esclarece que “esse dispositivo excepcional, que fala em “outras formas de compensação”, deve ser compreendido no contexto normativo no qual está inserido, de forma que essas outras formas de compensação não devem fugir da idéia de proteção do patrimônio espeleológico, até para afastar qualquer confusão com o instituto da compensação ambiental (art. 36, Lei do SNUC)”. Portanto, buscando facilitar essa distinção, o CECAV passou a denominar de COMPENSAÇÃO ESPELEOLÓGICA as medidas tratadas no artigo 4º.

Ponto sensível! Apesar de o Decreto mencionar a área do empreendimento como unidade espacial para a compensação, é importante ressaltar que os estudos para a avaliação do grau de relevância podem extrapolar tais limites, principalmente para a avaliação de atributos sob o enfoque regional.

O termo “outras formas de compensação” é entendido pelo Instituto Chico Mendes/Cecav como uma alternativa para a compensação em área diferente a área do empreendimento (UC p.ex.), e não como uma situação que exclua por completo a preservação de outras cavidades de alta relevância.

Com o objetivo de regulamentar este dispositivo o ICMBio publicou a Instrução Normativa Nº 30 de 2012, a qual estabelece procedimentos administrativos e técnicos para a execução de compensação espeleológica.

P.ex. a aquisição de terras localizadas em unidades de conservação com pendência de regularização fundiária, que contenham as cavernas a serem preservadas (resultantes da compensação citada no §1º), para a sua doação ao órgão ambiental gestor (federal, estadual ou municipal), visando contribuir com a regularização da UC e a proteção do patrimônio espeleológico brasileiro, em comum acordo com o empreendedor e o Instituto Chico Mendes (Art. 4º, §3º).

§ 4º 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, nos termos definidos pelo órgão ambiental competente, 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. (Incluído pelo Decreto nº 6.640, de 2008).

Comentário: *Competência do órgão responsável pelo licenciamento ambiental ou daquele competente para definir compensações no âmbito do licenciamento do empreendimento/ atividade.*

As medidas e ações mencionadas fazem parte do conjunto de informações que deverão ser disponibilizadas para compor a base de dados do Cecav (Canie).

§ 5º 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. (Incluído pelo Decreto nº 6.640, de 2008).

Comentário: *O disposto no parágrafo não exclui outras formas de compensação ambiental, conforme art. 36 da Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000. De acordo com o Art 5-A, § 4º: Em havendo impactos negativos irreversíveis em cavidades naturais subterrâneas pelo empreendimento, a compensação ambiental de que trata o art. 36 da Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000, deverá ser prioritariamente destinada à criação e implementação de unidade de conservação em área de interesse espeleológico, sempre que possível na região do empreendimento. Portanto, não há impacto negativo irreversível em cavidade natural subterrânea sem a devida compensação (ver § 4º, Art. 5º-A).*

Art. 5º A metodologia para a classificação do grau de relevância das cavidades naturais subterrâneas,

considerando o disposto no art. 2º, será estabelecida em ato normativo do Ministro de Estado do Meio Ambiente, ouvidos o Instituto Chico Mendes, o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - IBAMA e demais setores governamentais afetos ao tema, no prazo de sessenta dias, contados da data de publicação deste Decreto. (Redação dada pelo Decreto nº 6.640, de 2008).

Comentário: *I.N. MMA nº 2 de 2009.*

Art. 5º-A. A localização, construção, instalação, ampliação, modificação e operação de empreendimentos e atividades, considerados efetiva ou potencialmente poluidores ou degradadores de cavidades naturais subterrâneas, bem como de sua área de influência, dependerão de prévio licenciamento pelo órgão ambiental competente. (Incluído pelo Decreto nº 6.640, de 2008).

Comentário: *Considera uma variedade de empreendimentos além da mineração, p.ex. hidrelétricas, agricultura, assentamentos, rodovias, turismo, além de atividades, inclusive a pesquisa mineral, as quais, dependendo de suas características, são efetiva ou potencialmente poluidores ou degradadores.*

§ 1º O órgão ambiental competente, no âmbito do processo de licenciamento ambiental, deverá classificar o grau de relevância da cavidade natural subterrânea, observando os critérios estabelecidos pelo Ministério do Meio Ambiente. (Incluído pelo Decreto nº 6.640, de 2008).

Comentário: *É competência do órgão ambiental responsável pelo licenciamento de tais empreendimentos e atividades. A classificação decorre da análise dos estudos apresentados pelo empreendedor, os quais devem ser elaborados conforme a metodologia estabelecida na IN MMA nº 2/2009.*

§ 2º Os estudos para definição do grau de relevância das cavidades naturais subterrâneas impactadas deverão ocorrer a expensas do responsável pelo empreendimento ou atividade. (Incluído pelo Decreto nº 6.640, de 2008).

§ 3º Os empreendimentos ou atividades já instalados ou iniciados terão prazo de noventa dias, após a publicação do ato normativo de que trata o art. 5º, para protocolar junto ao órgão ambiental competente solicitação de adequação aos termos deste Decreto. (Incluído pelo Decreto nº 6.640, de 2008).

Comentário: *a IN MMA nº 2/2009 foi publicada em 20 de agosto de 2009, logo, o prazo de 90 dias expirou em 19 de novembro de 2009.*

§ 4º Em havendo impactos negativos irreversíveis em cavidades naturais subterrâneas pelo empreendimento, a compensação ambiental de que trata o art. 36 da Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000, deverá ser prioritariamente destinada à criação e implementação de unidade de conservação em área de interesse espeleológico, sempre que possível na região do empreendimento. (Incluído pelo Decreto nº 6.640, de 2008).

Comentário: *Não há impacto negativo irreversível em cavidade natural subterrânea sem a devida compensação. O parágrafo dirime eventual incerteza quanto à obrigatoriedade de efetuar compensação ambiental em casos de impactos em cavidade natural subterrânea com grau de relevância baixo (art. 4º, § 5º). De outra forma cavidades de relevância baixa não teriam qualquer tipo de compensação.*

Art. 5-B. Cabe à União, por intermédio do IBAMA e do Instituto Chico Mendes, aos Estados, ao Distrito Federal e aos Municípios, no exercício da competência comum a que se refere o art. 23 da Constituição, preservar, conservar, fiscalizar e controlar o uso do patrimônio espeleológico brasileiro, bem como fomentar levantamentos, estudos e pesquisas que possibilitem ampliar o conhecimento sobre as cavidades naturais subterrâneas existentes no território nacional. (Incluído pelo Decreto nº 6.640, de 2008).

Comentário: *Com a criação do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (Lei nº. 11.516 de 28/08/2007) e a definição de*

suas finalidades e ações (Decreto nº. 6.100 de 26/04/2007), alguns Centros Especializados do IBAMA foram incorporados à estrutura organizacional do Instituto Chico Mendes, conforme Portaria nº 78, de 03/09/2009, que cria os Centros Nacionais de Pesquisa e Conservação. Diante das atuais competências delegadas aos Centros de Pesquisa, atribuições anteriormente desenvolvidas no âmbito do IBAMA não foram recepcionadas pela Portaria nº 78, principalmente àquelas relacionadas ao licenciamento ambiental.

Dessa forma, o Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas - CECAV, criado pela Portaria nº 78, passa a ter como objetivo realizar pesquisas científicas e ações de manejo para conservação dos ambientes cavernícolas e espécies associadas, assim como auxiliar no manejo das Unidades de Conservação federais com ambientes cavernícolas.

A Procuradoria Federal Especializada junto ao Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, ao tratar da aferição da competência institucional deste Instituto em relação ao licenciamento ambiental em áreas de ocorrência de patrimônio espeleológico, por meio do Parecer nº 116/2010/PFE-ICMBIO/GAB, de 16/03/2010, esclarece, com base na comparação entre as leis de criação do Instituto Chico Mendes e do IBAMA, respectivamente Lei nº 11.516/2007 e Lei nº 7.735/1989 (com alterações da Lei nº 11.516/2007), que a atribuição legal do ICMBio nunca poderá representar atividades de licenciamento ambiental, controle da qualidade ambiental, autorização de uso dos recursos naturais e fiscalização, monitoramento e controle ambiental fora das unidades de conservação, sob pena de adentrar as raias da competência do IBAMA e negar vigência à Lei nº 7.735/1989.

Parágrafo único. Os órgãos ambientais podem efetivar, na forma da lei, acordos, convênios, ajustes e contratos com entidades públicas ou privadas, nacionais, internacionais ou estrangeiras, para

auxiliá-los nas ações de preservação e conservação, bem como de fomento aos levantamentos, estudos e pesquisas que possibilitem ampliar o conhecimento sobre as cavidades naturais subterrâneas existentes no território nacional. (Incluído pelo Decreto nº 6.640, de 2008).

Comentário: *grupos de espeleologia, universidades, instituições privadas, organizações não governamentais, pesquisadores, etc.*

Art. 6º As infrações ao disposto neste decreto estão sujeitas às penalidades previstas na Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, e normas regulamentares.

Art. 7º Este Decreto entra em vigor na data de sua publicação, revogadas as disposições em contrário.

Brasília, 1º de outubro de 1990;

169º da Independência e 102º da República.

ITAMAR FRANCO

Bernardo Cabral

INSTRUÇÃO NORMATIVA MMA Nº- 2, DE 20 DE AGOSTO DE 2009 – COMENTADA

Cristiano Fernandes Ferreira
Jocy Brandão Cruz
Jose Carlos Ribeiro Reino
André Afonso Ribeiro

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, resolve:

Art. 1º O grau de relevância das cavidades naturais subterrâneas será classificado de acordo com a metodologia estabelecida nesta Instrução Normativa.

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, avaliados sob enfoque local e regional.

Comentário: *A classificação não prevê cavidades irrelevantes ou sem relevância, portanto, toda cavidade natural subterrânea tem relevância.*

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 geneticamente viáveis de espécies animais em risco de extinção, constantes de listas oficiais;
- VII habitat essencial para preservação de populações geneticamente viáveis de espécies de troglóbios endêmicos ou relíquias;
- 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 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. 5º 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. 6º 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. 7º Para efeito de classificação do grau de relevância de uma cavidade serão considerados de importância acentuada, sob enfoque local e regional, os atributos com pelo menos uma das seguintes configurações:

Comentário: *ocorrendo ao menos uma das configurações listadas, a caverna será considerada de acentuada importância local e regional, ou seja, de alta relevância.*

- I Localidade tipo;
- II Presença de populações estabelecidas de espécies com função ecológica importante;
- III Presença de táxons novos;
- IV Alta riqueza de espécies;
- V Alta abundância relativa de espécies;
- VI Presença de composição singular da fauna;
- VII Presença de troglóbios que não sejam considerados raros, endêmicos ou relictos;
- VIII Presença de espécies troglomórficas;
- IX Presença de troglóxeno obrigatório;
- X Presença de população excepcional em tamanho;
- XI Presença de espécie rara;
- XII Alta projeção horizontal da cavidade em relação às demais cavidades que se distribuem na mesma unidade espeleológica, conforme definido no § 3º do art. 14, desta Instrução Normativa;

XIII Alta área da projeção horizontal da cavidade em relação às demais cavidades que se distribuem na mesma unidade espeleológica, conforme definido no § 3º do art. 14, desta Instrução Normativa;

XIV Alto volume da cavidade em relação às demais cavidades que se distribuem na mesma unidade espeleológica, conforme definido no § 3º do art. 14, desta Instrução Normativa;

XV Presença significativa de estruturas espeleogenéticas raras;

XVI Lago ou drenagem subterrânea perene com influência acentuada sobre os atributos da cavidade que tenham as configurações relacionadas nos incisos deste artigo;

Comentário: *única exceção ao comentário do Caput. Este inciso somente será considerado se houver outro atributo da lista na mesma caverna, ou seja, sua aplicação depende de outro atributo para classificar a caverna como de alta relevância.*

XVII Diversidade da sedimentação química com muitos tipos de espeleotemas e processos de deposição;

XVIII Configuração notável dos espeleotemas;

XIX Alta influência da cavidade sobre o sistema cárstico;

XX Presença de inter-relação da cavidade com alguma de relevância máxima;

Comentário: *implica na obrigatoriedade de avaliar e definir a área de influência (AI) das cavidades de relevância máxima.*

Os estudos espeleológicos devem avaliar a sobreposição de áreas de influências das cavidades existentes na área do empreendimento/atividade. Mesmo que uma cavidade de grau de relevância máximo, e sua respectiva área de influência, não estejam localizadas na área diretamente afetada (ADA) pelo empreendimento/atividade, a sobreposição parcial da área de influência de outra

cavidade de alto, médio ou baixo grau de relevância àquela (Al da cavidade de grau máximo) deverá ser avaliada considerando os efetivos ou potenciais impactos que, porventura incidentes sobre parte de outras áreas de influência, possam interferir nos elementos bióticos e abióticos da área de influência de cavidade de máxima relevância, caracterizando a inter-relação mencionada no inciso.

- XXI Reconhecimento nacional ou mundial do valor estético/ cênico da cavidade;
- XXII Visitação pública sistemática na cavidade, com abrangência regional ou nacional.

Comentário: *Em caso de CNS considerada de alta relevância por este fator, deve-se considerar que as outras duas cavidades a serem definidas como compensações também devem ser turísticas. Para tanto, devem ser elaborados os Planos de Manejo Espeleológicos das outras duas cavernas com esse potencial. (Artigo 6º, Resolução CONAMA nº 347/2004).*

Parágrafo único. Para efeitos de classificação, também serão considerados como de importância acentuada sob o enfoque regional os atributos com as configurações listadas nos incisos desse artigo.

Art. 8º Para efeito de classificação do grau de relevância de uma cavidade serão considerados de importância acentuada sob enfoque local, os atributos com pelo menos uma das seguintes configurações:

Comentário: *Havendo a ocorrência de pelo menos uma das configurações listadas, a caverna será considerada de acentuada importância local, ou seja, no mínimo como de médio grau de relevância, considerando-se os artigos 4º e 5º desta.*

- I População residente de quirópteros;
- II Constatação de uso da cavidade por aves silvestres como local de nidificação;
- III Alta diversidade de substratos orgânicos;
- IV Média riqueza de espécies;
- V Média abundância relativa de espécies;

- VI Constatação de uso da cavidade por espécies migratórias;
- VII Presença de singularidade dos elementos faunísticos da cavidade sob enfoque local;
- VIII Presença de estrutura geológica de interesse científico;
- IX Presença de registros paleontológicos;
- X Reconhecimento local do valor estético/cênico da cavidade;
- XI Visitação pública sistemática na cavidade, com abrangência local;
- XII Presença de água de percolação ou condensação com influência acentuada sobre os atributos da cavidade que tenham as configurações relacionadas nos incisos deste artigo;

Comentário: *Exceção ao comentário do Caput. Este inciso somente será considerado se houver outro atributo da lista na mesma caverna, ou seja, sua aplicação depende de outro atributo para classificar a caverna como, no mínimo, de média relevância.*

- XIII Lago ou drenagem subterrânea intermitente com influência acentuada sobre os atributos da cavidade que tenham as configurações relacionadas nos incisos deste artigo.

Comentário: *Exceção ao comentário do Caput. Este inciso somente será considerado se houver outro atributo da lista na mesma caverna, ou seja, sua aplicação depende de outro atributo para classificar a caverna como, no mínimo, de média relevância.*

Art. 9º Para efeito de classificação do grau de relevância de uma cavidade serão considerados de importância significativa sob enfoque local e regional, os atributos com pelo menos uma das seguintes configurações:

Comentário: *ocorrendo ao menos uma das configurações listadas, a caverna será considerada de significativa importância local e regional, ou*

seja, de média relevância, considerando-se o artigo 5º desta IN.

- I Presença de singularidade dos elementos faunísticos sob enfoque regional;
- II Média projeção horizontal da cavidade em relação às demais cavidades que se distribuem na mesma unidade espeleológica, conforme definido no § 3º do art. 14, desta Instrução Normativa;
- III Média área da projeção horizontal da cavidade em relação às demais cavidades que se distribuem na mesma unidade espeleológica, conforme definido no § 3º do art. 14, desta Instrução Normativa;
- IV Alto desnível da cavidade em relação às demais cavidades que se distribuem na mesma unidade espeleológica, conforme definido no § 3º do art. 14, desta Instrução Normativa;
- V Médio volume da cavidade em relação às demais cavidades que se distribuem na mesma unidade espeleológica, conforme definido no § 3º do art. 14, desta Instrução Normativa;
- VI Presença de estruturas espeleogenéticas raras;
- VII Lago ou drenagem subterrânea intermitente com influência significativa sobre os atributos da cavidade que tenham as configurações relacionadas nos incisos deste artigo;

Comentário: *Exceção ao comentário do Caput. Este inciso somente será considerado se houver outro atributo da lista na mesma caverna, ou seja, sua aplicação depende de outro atributo para classificar a caverna como de média relevância.*

- VIII Diversidade da sedimentação química com muitos tipos de espeleotemas ou processos de deposição;
- IX Sedimentação clástica ou química com valor científico;
- X Reconhecimento regional do valor estético/cênico da cavidade;
- XI Uso constante, periódico ou sistemático para fins educacionais, recreativos ou esportivos.

Parágrafo único. Para efeitos de classificação, também serão considerados como de importância significativa, sob o enfoque regional, os atributos com as configurações listadas nos incisos desse artigo.

Art. 10º Para efeito de classificação do grau de relevância de uma cavidade serão considerados de importância significativa sob enfoque local, os atributos com pelo menos uma das seguintes configurações:

Comentário: *havendo a ocorrência de pelo menos uma das configurações listadas, a caverna será considerada de significativa importância local. Entretanto, essa ocorrência isolada não define a relevância da cavidade, sendo necessário definir a sua importância regional.*

- I Baixa diversidade de substratos orgânicos;
- II Baixa riqueza de espécies;
- III Baixa abundância relativa de espécies;
- IV Presença de singularidade dos elementos faunísticos sob enfoque local;
- V Média projeção horizontal da cavidade em relação às demais cavidades que se distribuem na mesma unidade geomorfológica, conforme definido no § 1º do art. 14, desta Instrução Normativa;
- VI Média área da projeção horizontal da cavidade em relação às demais cavidades que se distribuem na mesma unidade geomorfológica, conforme definido no § 1º do art. 14, desta Instrução Normativa;
- VII Alto desnível da cavidade em relação às demais cavidades que se distribuem na mesma unidade geomorfológica, conforme definido no § 1º do art. 14, desta Instrução Normativa;
- VIII Médio volume da cavidade em relação às demais cavidades que se distribuem na mesma unidade geomorfológica, conforme definido no § 1º do art. 14, desta Instrução Normativa;
- IX Poucos tipos de espeleotemas e processos de deposição em termos de diversidade de sedimentação química;

- X Uso esporádico ou casual para fins educacionais, recreativos ou esportivos;
- XI Visitação pública esporádica ou casual na cavidade;
- XII Presença de água de percolação ou condensação com influência sobre os atributos da cavidade que tenham as configurações relacionadas nos incisos deste artigo; e
- XIII Lago ou drenagem subterrânea intermitente com influência sobre os atributos da cavidade que tenham as configurações relacionadas nos incisos deste artigo.

Art. 11º Quando a configuração de atributos sob enfoque local não for considerada de importância acentuada ou significativa, será, por exclusão, considerada de importância baixa.

Art. 12º Quando a configuração de atributos sob enfoque regional não for considerada de importância acentuada ou significativa, será, por exclusão, considerada de importância baixa.

Art. 13º Os estudos para definição do grau de relevância das cavidades naturais subterrâneas deverão ser iniciados com a análise das configurações de atributos sob enfoque regional, seguindo a chave de classificação do Anexo III 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 1990, a importância dos atributos sob enfoque local assumirá a mesma importância identificada para os atributos sob enfoque regional.

Comentário: Por exemplo, caso a caverna apresente um atributo de significativa importância regional, mas localmente seja de baixa importância, assim mesmo será considerada de significativa importância local, pois a escala regional predomina sobre a local quando superior. Neste exemplo, a caverna de baixa relevância local assume ao final média relevância, devido à classificação regional.

Art. 14º 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.

Comentário: O artigo trata da escala de análise, calcada em dois planos, local e regional. Os estudos espeleológicos devem trazer uma discussão bem detalhada acerca do tema, pois em cada local haverá uma situação distinta para a definição das escalas, haja vista a complexidade ambiental envolvida. O licenciador deve insistir numa metodologia bem detalhada de definição dessas escalas.

As unidades de análise estabelecidas na IN não se limitam às unidades espaciais de análise relacionadas às áreas de influência do empreendimento/atividade, ou seja, área de influência indireta (AI), direta (AID) e diretamente afetada (ADA). As unidades local e regional serão estabelecidas por critérios diferentes daqueles que definem das áreas de influência de empreendimentos/atividades.

É importante o repasse ao Cecav das informações relacionadas à definição das unidades (locais e regionais) apresentadas nos estudos espeleológicos e aprovados pelo órgão ambiental licenciador, no âmbito dos processos de licenciamento ambiental. Tais informações podem contribuir para a definição das unidades espeleológicas brasileiras, a fim de se estabelecer áreas uniformes de análise e evitar a sobreposição de unidades diferentes que poderiam, por exemplo, favorecer tratamentos estatísticos inadequados, favoráveis a determinados empreendimentos, mas prejudiciais à conservação do patrimônio espeleológico, principalmente de cavidades testemunhos.

§ 1º 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.

§ 2º As análises referentes ao enfoque regional são delimitadas pela unidade espeleológica.

§ 3º 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.

Comentário: *Os efeitos de diversos fatores ambientais (clima, vegetação, hidrologia, tectônica, etc.) ao longo do tempo evidenciam a diferenciação de compartimentos em um mesmo grupo ou formação geológica, demonstrando a importância de caracterizar áreas com características homogêneas, porém diferenciadas em relação às demais porventura existentes no grupo ou formação e assim adequar as análises espeleológicas às especificidades das áreas estudadas.*

§ 4º Os estudos espeleológicos poderão utilizar métodos analíticos e descritivos para a avaliação e a integração de dados e informações.

Art. 15º 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;

Comentário: *Dados multitemporais: vide art. 16º, parágrafos 2º e 3º desta IN*

- 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.

Comentário: *Todos os incisos devem ser demonstrados nos estudos de aplicação da metodologia. As consultas relatadas podem ser demonstradas através de atas ou outros documentos.*

Parágrafo único. Os profissionais responsáveis pela realização dos estudos espeleológicos devem estar inscritos no Cadastro Técnico Federal.

Art. 16º 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 cavernícola.

§ 1º Os estudos biológicos devem levar em consideração também o sistema subterrâneo, do qual a cavidade natural subterrânea faz parte.

Comentário: *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 (Anexo II). Cavernas funcionam como "janelas".*

§ 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.

Comentário: *Na maioria das regiões brasileiras é possível a realização das coletas em seis meses. Por meio de um adequado planejamento das coletas, em menos de um ano é possível obter resultados para os estudos bioespeleológicos. Entretanto, tal celeridade pode também não refletir a realidade bioespeleológica das cavernas, que podem ter ciclos diferentes dos anuais. Ressalta-se que este período de tempo é menor que o mínimo necessário para se observar as variações sazonais, bem como padrões rítmicos estatisticamente significantes.*

§ 3º Em regiões que não apresentem estações seca e chuvosa bem definidas, as amostragens deverão ser realizadas em duas estações com características climáticas distintas.

§ 4º 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.

§ 5º As variáveis dos atributos “Riqueza de espécies” e “Abundância relativa de espécies” deverão ser definidas comparando-se com outras cavidades da mesma litologia sob enfoque local.

§ 6º Não havendo base de comparação sob enfoque local quanto às variáveis dos atributos “Riqueza de espécies” e “Abundância relativa de espécies”, mediante justificativa técnico-científica, esta comparação poderá ser feita sob enfoque regional.

§ 7º 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.

§ 8º Nos casos em que não for identificada a espécie, os atributos “Riqueza de espécies” e “Abundância relativa de espécies” deverão ser analisados considerando o número de morfo-espécies.

§ 9º Os procedimentos de levantamento faunístico devem seguir métodos consagrados ou de eficácia comprovada cientificamente.

Art. 17º O atributo referente à destacada relevância histórico-cultural ou religiosa de uma cavidade, previsto no inciso XI do § 4º do art. 2º do Decreto no 99.556, de 1990, será objeto de avaliação pelo órgão competente.

Comentário: *Considerando que o Decreto 6.640/08 estabelece o atributo “relevância histórico-cultural ou religiosa de uma cavidade”, e que durante reunião com representantes do IPHAN foi argumentado que a análise e definição de tal atributo competem àquele Instituto, resta estabelecer os procedimentos para se obter a manifestação*

do referido instituto no âmbito dos processos de licenciamento ambiental.

Art. 18º Constatada a presença de agentes patogênicos e vetores de doença nas cavidades estudadas, o fato deverá ser informado às autoridades de saúde pública.

Comentário: *as principais ocorrências são: histoplasmoze (fezes de morcegos), leishmaniose (mosquito palha), etc. São necessários cuidados especiais para vistorias.*

Art. 19º 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 e biológicos representativos do ecossistema cavernícola, compreendendo o resgate, transporte adequado e a destinação a coleções científicas institucionais.

Comentário: *Atribuição do responsável pelo empreendimento/atividade. As informações relacionadas às medidas exigidas no artigo serão inseridas no CANIE.*

A respeito de autorizações para “coleta para elaboração de EIA-RIMA” compete ao próprio órgão licenciador dar a autorização, sem a necessidade de análise e manifestação do Cecav. Caso seja de interesse do órgão licenciador, o Cecav poderá fornecer orientações a respeito dos métodos de coletas mais adequados/utilizados para o ambiente cavernícola.

Sugere-se que em caso de “coletas para salvamento e transporte”, a autorização conste na própria licença ambiental deferida ao empreendimento.

Parágrafo único. São vedados impactos negativos irreversíveis em cavidades que apresentem ocorrência de táxons novos até que seja realizada a sua descrição científica formal.

Art. 20º O Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade - Instituto Chico Mendes, no prazo de 90 dias, deverá instituir o Cadastro Nacional

de Informações Espeleológicas-CANIE, parte integrante do Sistema Nacional de Informação do Meio Ambiente- SINIMA, que será constituído por informações correlatas ao Patrimônio Espeleológico Nacional, de acordo com a Política de Informação do Ministério do Meio Ambiente constante da Portaria no 160, de 2009.

§ 1º Caberá ao Instituto Chico Mendes realizar a gestão do CANIE, criando os meios necessários para sua execução.

§ 2º 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.

§ 3º Os órgãos ambientais licenciadores deverão repassar ao CANIE as informações espeleológicas inseridas nos processos de licenciamento ambiental, inclusive a classificação do grau de relevância.

Comentário: *Enquanto não for implantado o CANIE, os órgãos estaduais de meio ambiente precisam solicitar ao empreendedor cópia digital adicional dos estudos espeleológicos para envio ao Cecav. Porém, não exime os órgãos ambientais de alimentarem o CANIE com as informações espeleológicas quando este estiver implantado.*

§ 4º 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.

Comentário: *Quando da sua implementação, os empreendedores deverão atender o disposto no parágrafo.*

§ 5º 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.

Art. 21º A preservação de 2 (duas) cavidades

testemunho definidas em procedimento de licenciamento ambiental, será condicionante para o licenciamento de empreendimentos que causem impactos a outra cavidade de alta relevância.

§ 1º As cavidades testemunhos preservadas deverão apresentar configurações similares de atributos que determinaram a classificação de alta relevância para a cavidade alvo de impactos 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 irreversíveis.

Art. 22º O Instituto Chico Mendes, por meio da atuação do CECAV, Centro Especializado voltado à pesquisa e conservação de cavernas, atuará no monitoramento e aperfeiçoamento dos instrumentos relacionados ao controle e uso das cavidades naturais subterrâneas.

Comentário: *A atuação do Cecav se dará na esfera do monitoramento e do aperfeiçoamento de instrumentos, portanto, sem o objetivo de interferir diretamente no licenciamento ou na fiscalização ambiental.*

§ 1º O CECAV 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 CECAV 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.

§ 3º O Instituto Chico Mendes, através do CECAV, coordenará um comitê técnico consultivo, para fins de acompanhamento e avaliação da aplicação deste ato normativo nos processos de licenciamento

ambiental, com a finalidade de propor ao Ministério do Meio Ambiente o aprimoramento das regras técnicas previstas, sempre que entender necessário.

Comentário: O comitê prevê a participação de representantes dos órgãos de meio ambiente licenciadores de empreendimentos e atividades que envolvem o uso de cavidades. O cumprimento das regras estabelecidas nesta IN visa, portanto, resultados além dos licenciamentos em referência, já que por meio do tratamento das informações oriundas de estudos espeleológicos, e das respectivas análises dos órgãos licenciadores poderão ser aperfeiçoadas as regras então estabelecidas, bem como o aprimoramento dos instrumentos relacionados ao controle e uso das cavidades naturais subterrâneas.

§ 4º A criação e composição do referido comitê serão definidas em ato normativo do Presidente do Instituto Chico Mendes, no prazo de sessenta dias, contados da data de publicação desta Instrução Normativa.

Comentário: Inicialmente instituído por meio da PORTARIA Nº 636, de 22 de dezembro de 2010, o Comitê Técnico Consultivo foi redefinido na PORTARIA Nº 32, de 2 de março de 2012 e, assim, composto por 12 (doze) membros titulares e respectivos suplentes, sendo todos especialistas, entidades e instituições direta ou indiretamente afetas à espeleologia, com mandato de 2 (dois) anos, renovável ou substituível a qualquer tempo a critério do dirigente máximo da instituição que representa. Foram designados para a composição inicial do Comitê os seguintes representantes:

- a) Um representante da Diretoria de Pesquisa, Avaliação e Monitoramento da Biodiversidade do Instituto Chico Mendes - DIBIO/ICMBio;
- b) Um representante do Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas - CECAV/ICMBio;
- c) Um representante da Diretoria de Licenciamento Ambiental do IBAMA - DILIC/IBAMA;
- d) Um representante do Serviço Geológico do Brasil - CPRM;
- e) Um representante da Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral do Ministério de Minas e Energia - SGM;
- f) Um representante da Associação Brasileira de Entidades Estaduais de Meio Ambiente - ABEMA;
- g) Um representante da Universidade Federal de Lavras - UFLA;
- h) Um representante da Sociedade Brasileira e Espeleologia - SBE;
- i) Um representante da Redespeleo Brasil;
- j) Um representante do Instituto Brasileiro de Mineração - IBRAM;
- k) Um representante da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência - SBPC;
- l) Um representante da Associação Brasileira dos Investidores em Autoprodução de Energia - ABIAPE
- m) Um representante do Departamento Nacional de Produção Mineral – DNPM / Ministério das Minas e Energia

Posteriormente, por decisão dos membros, foi incorporado ao Comitê um representante do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo – IG/USP.

Art. 23º Esta Instrução Normativa deverá ser revista em um prazo máximo de dois anos contados da data de publicação desta Instrução Normativa.

Art. 24º Ficam aprovados os Anexos I, II e III como parte integrante desta Instrução Normativa.

Art. 25º Esta Instrução Normativa entra em vigor na data de sua publicação.

CARLOS MINC

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 em sua totalidade ou em parte dela, grande extensão (horizontal ou vertical), área ou volume 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 (relictos filogenético), ou ainda, cujos parentes epígeos mais próximos se encontram em uma região geográfica distinta (relictos geográfico).	Presença
		Ausência
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	Variável
Localidade tipo	Caverna, citada como local geográfico de onde foram coletados os exemplares tipo utilizados na descrição de determinada espécie ou táxon superior.	Presença
		Ausência
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.	Presença
		Ausência
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.	Presença
		Ausência
Local de nidificação de aves silvestres	Utilização da cavidade por aves silvestres como local de nidificação.	Constatação de uso
		Uso não constatado
Diversidade de substratos orgânicos	Substratos potenciais ao estabelecimento de fauna cavernícola, incluindo os ambientes aquático e terrestre (avaliação qualitativa dos substratos). Devem ser considerados 7 tipos diferentes de substrato: -Guano (morcegos, aves, insetos) -Material vegetal -Detritos -Raízes -Carcaças -Fezes de vertebrados não voadores -Bolotas de regurgitação.	Alta
		Baixa
Táxons novos	Ocorrência de animais pertencentes a táxons ainda não descritos formalmente.	Presença
		Ausência
Riqueza de espécies	Estimativa do número de espécies presentes na caverna.	Alta
		Média
		Baixa
Abundância relativa de espécies	Estimativa da quantidade de indivíduos de cada espécie, considerando vertebrados e os invertebrados cujos adultos possuam tamanho corporal igual ou superior a 1 cm.	Alta (30% ou mais das espécies apresentam abundância alta)
		Média (de 10% a 20% das espécies apresentam abundância alta)
		Baixa (menos de 10% das espécies apresentam abundância alta)
Composição singular da fauna	Ocorrência de populações estabelecidas de espécies de grupos pouco comuns ao ambiente cavernícola.	Presença
		Ausência
Troglóbios	Animais de ocorrência restrita ao ambiente subterrâneo.	Presença de espécies não consideradas raras, endêmicas ou relictas

TABELA II - continuação

Atributo considerado para classificação do grau de relevância das cavidades	Conceito	Variável
		Ausência
Espécies troglomórficas	Ocorrência de animais cujas características morfológicas revelem especialização decorrente do isolamento no ambiente subterrâneo.	Presença
		Ausência
Trogloxeno obrigatório	Trogloxeno que precisa necessariamente utilizar a cavidade para completar seu ciclo de vida.	Presença
		Ausência
População excepcional em tamanho	Conjunto de indivíduos da mesma espécie com número excepcionalmente grande de indivíduos.	Presença
		Ausência
Espécies migratórias	Utilização da cavidade por espécies migratórias.	Constatação de uso
		Uso não constatado
Singularidade dos elementos faunísticos da cavidade sob enfoque local	Especificidade ou endemismo dos elementos bióticos identificados na cavidade, se comparados àqueles também encontrados no enfoque local.	Presença
		Ausência
Singularidade dos elementos faunísticos da cavidade sob enfoque regional	Especificidade apresentada pelos elementos bióticos identificados na cavidade, se comparadas aquelas também encontradas nas cavidades na mesma unidade espeleológica.	Presença
		Ausência
Espécie rara	Ocorrência de organismos representantes de espécies cavernícolas não-troglóbias com distribuição geográfica restrita e pouco abundante.	Presença
		Ausência
Projeção horizontal	Soma da projeção horizontal dos eixos de desenvolvimento da cavidade e classificação do resultado em relação à média (μ) [considerando o desvio padrão (σ) do conjunto de dados] observada nas cavidades que se distribuem na mesma unidade espeleológica.	Alta ($> \mu + \sigma$)
		Média [intervalo entre ($\mu - \sigma$) e ($\mu + \sigma$)]
		Baixa ($< \mu - \sigma$)
Desnível	Diferença entre a cota do piso mais alta e a mais baixa da cavidade comparada com a média dos desníveis das cavidades que se distribuem na mesma unidade espeleológica.	Alto ($> \mu$)
		Baixo ($\leq \mu$)
Área da projeção horizontal da caverna	Comparação, em superfície, da área calculada da cavidade em relação às áreas calculadas ou estimadas de outras cavidades [considerando a média (μ) e o desvio padrão (σ) do conjunto de dados] que se distribuem na mesma unidade espeleológica.	Alta ($> \mu + \sigma$)
		Média [intervalo entre ($\mu - \sigma$) e ($\mu + \sigma$)]
		Baixa ($< \mu - \sigma$)
Volume	Comparação do volume da cavidade sob análise em relação aos volumes calculados ou estimados de outras cavidades [considerando a média (μ) e o desvio padrão (σ) do conjunto de dados] que se distribuem na mesma unidade espeleológica.	Alto ($> \mu + \sigma$)
		Médio [intervalo entre ($\mu - \sigma$) e ($\mu + \sigma$)]
		Baixo ($< \mu - \sigma$)
Estruturas espelogenéticas	Estruturas na rocha herdadas do processo de formação da cavidade (ex. scallops, bell holes, marmitas, meandros de teto, anastomoses)	Presença significativa de estruturas espeleogenéticas raras

TABELA II - continuação

Atributo considerado para classificação do grau de relevância das cavidades	Conceito	Variável
	pendentes, meios tubos, box work e assemelhados), padrões morfológicos ou seções geométricas, sob enfoque regional.	Presença de estruturas espeleogenéticas raras
		Estruturas espeleogenéticas sem destaque ou ausentes
Estruturas geológicas de interesse científico	Estrutura na rocha matriz de importância científica (ex. contatos, tectonismo, mineralogia).	Presença
		Ausência
Água de percolação ou condensação	Infiltração de água através de poros, diáclases, falhas, ou umidade existente na atmosfera da caverna sob a forma condensada e sua influência sobre o sistema hídrico e biótico.	Presença significativa
		Não significativa ou ausente
Lago ou drenagem subterrânea	Corpo ou curso d'água, perene ou intermitente, presente na cavidade. Sua relação (influência e/ou contribuição) com a dinâmica hídrica e biológica, local e regional.	Perene
		Intermitente e significativa para o sistema hidrológico ou biológico
		Intermitente e significativa para a cavidade
		Não significativo ou ausente
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, etc.).	Muitos tipos de espeleotemas e processos de deposição
		Muitos tipos de espeleotemas ou processos de deposição
		Poucos tipos e processos
		Ausência de tipos e processos
Configuração dos espeleotemas	Aspecto, maturidade ou abundância dos depósitos minerais secundários.	Notável
		Pouco significativo
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.	Presença com valor científico
		Presença sem valor científico ou ausência
Registros paleontológicos	Fósseis de animais e vegetais (restos, vestígios).	Presença
		Ausência
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).	Alta
		Baixa

TABELA II - continuação

Atributo considerado para classificação do grau de relevância das cavidades	Conceito	Variável
Inter-relação da cavidade com alguma de relevância máxima	Sobreposição de áreas de influência.	Presença
		Ausência
Reconhecimento do Valor estético/cênico	Reconhecimento do valor paisagístico atribuído à cavidade (paisagem subterrânea ou superficial).	Nacional/Mundial
		Regional
		Local
		Sem reconhecimento
Uso educacional, recreativo ou esportivo	Ocorrência de visitação por grupo de usuários com interesse específico à investigação ou exploração espeleológica, recreação ou esporte.	Constante, periódico ou sistemático
		Esporádico, casual
		Sem utilização
Visitação Pública	Visitação de interesse difuso.	Com Plano de Manejo (aprovado ou em elaboração)
		Periódica ou sistemática
		Esporádico ou casual
		Sem utilização

ANEXO II

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.

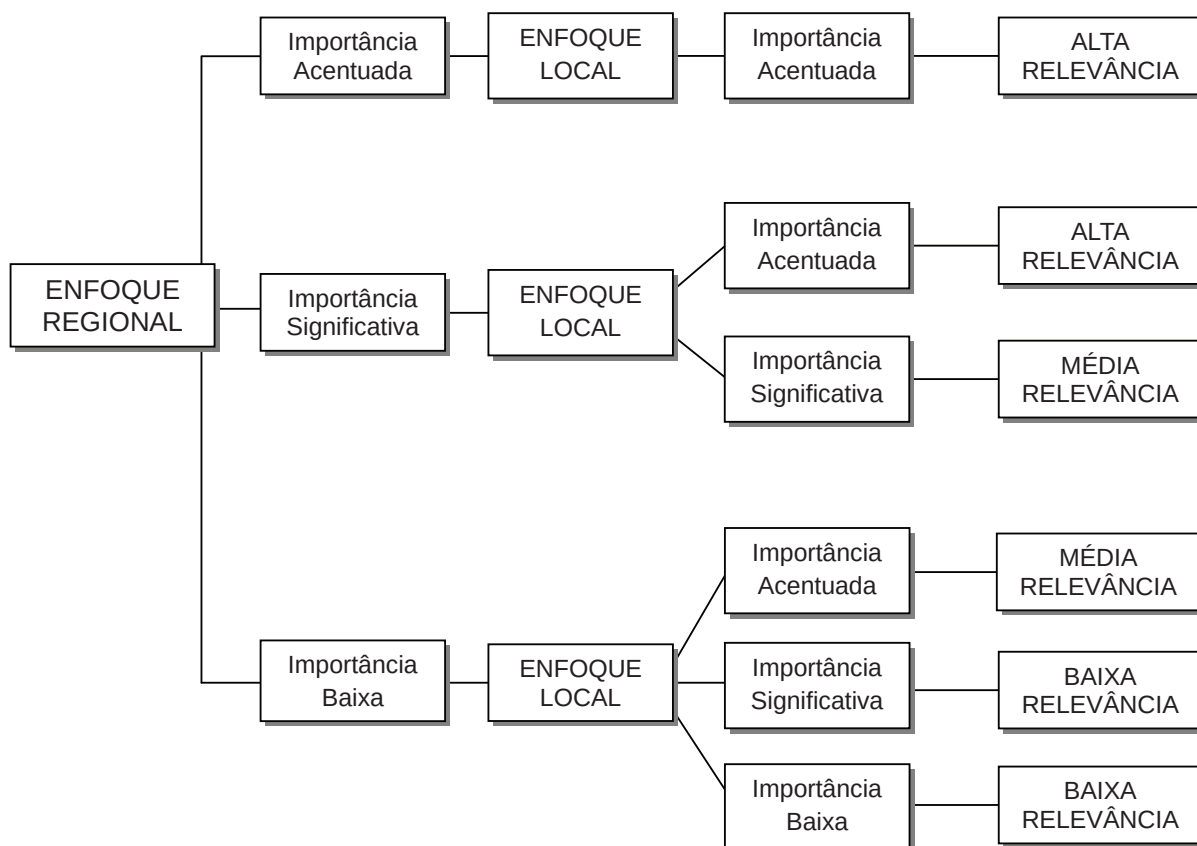
Patrimônio Espeleológico: conjunto de elementos bióticos e abióticos, sócio-econômicos e histórico-culturais, subterrâneos ou superficiais, representado pelas cavidades naturais subterrâneas ou a estas associadas.

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 lapiasados 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.

Anexo III:

Chave de classificação do grau de relevância de cavidades naturais subterrâneas



INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº- 30, DE 19 DE SETEMBRO DE 2012 - COMENTADA**Cristiano Fernandes Ferreira****Jocy Brandão Cruz****Jose Carlos Ribeiro Reino****André Afonso Ribeiro**

Estabelecer procedimentos administrativos e técnicos para a execução de compensação espeleológica de que trata o art. 4º, § 3º, do Decreto nº 99.556, de 1º de outubro de 1990, alterado pelo Decreto nº 6.640, de 7 de novembro de 2008, para empreendimentos que ocasionem impacto negativo irreversível em cavidade natural subterrânea classificada com grau de relevância alto e que não possuam na sua área, conforme análise do órgão licenciador, outras cavidades representativas que possam ser preservadas sob a forma de cavidades testemunho.

O PRESIDENTE DO INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE - INSTITUTO CHICO MENDES, nomeado pela Portaria nº 304, de 28 de março de 2012, da Ministra de Estado Chefe da Casa Civil da Presidência da República, publicada no Diário Oficial da União de 29 de março de 2012, e no uso das atribuições que lhe confere o Art. 21, Anexo I do Decreto nº 7.515 de 08 de julho de 2011, publicado no Diário Oficial da União do dia subsequente, que aprovou a Estrutura Regimental do Instituto Chico Mendes e deu outras providências;

Considerando que, nos termos do art. 4º, §1º, do Decreto nº 99.556, de 1º de outubro de 1990, alterado pelo Decreto nº 6.640, de 7 de novembro de 2008, em caso de impacto negativo irreversível em cavidade natural subterrânea com grau de relevância alto, deve o empreendedor adotar, como condição para o licenciamento ambiental, medidas e ações para assegurar a preservação, em caráter permanente, de duas cavidades naturais subterrâneas, com o mesmo grau de relevância, de mesma litologia e com atributos similares à que sofreu o impacto, que serão consideradas cavidades testemunho;

Considerando que, conforme o disposto no art. 4º, § 3º, do Decreto nº 99.556, de 1º de outubro de 1990, alterado pelo Decreto nº 6.640, de 7 de

novembro de 2008, não havendo, na área do empreendimento, outras cavidades representativas que possam ser preservadas sob a forma de cavidades testemunho, compete ao Instituto Chico Mendes definir, de comum acordo com o empreendedor, outras formas de compensação;

Considerando o Decreto nº 7.515, de 8 de julho de 2011, que atribui ao Instituto Chico Mendes a proposição e edição de normas e padrões de gestão, de conservação e proteção do patrimônio espeleológico, e sua biodiversidade associada;

Considerando que a Instrução Normativa MMA nº 2, de 20 de agosto de 2009, estabelece a metodologia para a classificação do grau de relevância das cavidades naturais subterrâneas, base para a avaliação e definição das cavidades testemunhos tratadas no Decreto nº 6.640, de 7 de novembro de 2008;

Considerando os aspectos estabelecidos na Resolução CONAMA nº 347, de 10 de setembro de 2004, a serem julgados pelo órgão licenciador, na análise do grau de impacto ao patrimônio espeleológico afetado;

Considerando a necessidade de o Instituto Chico Mendes padronizar procedimentos para a definição de compensação espeleológica, conforme o disposto no art. 4º, § 3º, do Decreto nº 99.556, de 1º de outubro de 1990, alterado pelo Decreto nº 6.640, de 7 de novembro de 2008, resolve:

Art. 1º Estabelecer procedimentos administrativos e técnicos para a execução de compensação espeleológica de que trata o art. 4º, § 3º, do Decreto nº 99.556, de 1º de outubro de 1990, alterado pelo Decreto nº 6.640, de 7 de novembro de 2008, para empreendimentos que ocasionem impacto negativo irreversível em cavidade natural subterrânea classificada com grau de relevância alto e que não possuam na sua área, conforme análise do órgão licenciador, outras cavidades representativas que possam ser preservadas sob a forma de cavidades testemunho.

Comentário: Por meio do PARECER nº 0663/2012/PFE-ICMBIO-SEDE/PGF/AGU, em 19/11/2012, a Procuradoria Federal Especializada junto ao Instituto

Chico Mendes esclarece que estando o empreendimento situado no interior de Unidade de Conservação Federal tem o ICMBio competência para autorizar o licenciamento (com fundamento, seja no art. 36 da Lei 9985/00, no art. 25 do Decreto 4340/02, seja nas Resoluções CONAMA 13/90 e 428/10) e, por decorrência, atestar a impossibilidade de cumprimento das condições previstas na atual redação do art. 4º, §1º do Decreto 99.556/90. Destaca ainda que não faria sentido à autarquia definir alternativa de compensação, conforme disposto no § 3º do mesmo artigo 4º, se não concordasse com a impossibilidade de cumprimento do § 1º. Nesse caso (UC Federal), o art. 3º, inciso I desta IN deve ser lido não como delegando aos órgãos licenciadores tal competência, mas no sentido de munir o ICMBio, em instrução dos autos, de informações que lhe permitam ao final propor outras formas de compensação, não sem antes atestar ele próprio a impossibilidade de cumprimento do §1º.

Dessa forma, o CECAV orienta que os procedimentos estabelecidos na IN Nº 30/2012 sejam integrados aos procedimentos para análise dos pedidos e concessão da Autorização para o Licenciamento Ambiental de atividades ou empreendimentos que afetem as unidades de conservação federais, suas zonas de amortecimento ou áreas circundantes estabelecidos por meio da Instrução Normativa ICMBio Nº 5, de 2 de setembro de 2009, de modo a serem executados simultaneamente.

Art. 2º O procedimento para execução de compensação espeleológica obedecerá às seguintes etapas:

- I requerimento do interessado à Diretoria de Pesquisa, Avaliação e Monitoramento da Biodiversidade DIBIO/Instituto Chico Mendes, visando à abertura de processo para definição de compensação espeleológica;
- II abertura de processo e encaminhamento ao CECAV;

- III análise técnica e avaliação do CECAV quanto à proposta de compensação espeleológica apresentada pelo empreendedor, inclusive com a realização, quando necessário, de vistoria nas áreas sujeitas a impacto ambiental ou naquelas propostas para conservação;
- IV manifestação do Instituto Chico Mendes, conforme previsto no art. 6º;
- V celebração de Termo de Compromisso Ambiental – TCA entre o Instituto Chico Mendes e o empreendedor, conforme art. 7º;
- VI publicação de extrato do TCA no Diário Oficial da União;
- VII envio de cópia do TCA firmado ao órgão licenciador; e
- VIII assinatura de Certidão de Cumprimento Integral de Compensação Ambiental.

Parágrafo único. A cobrança de serviços administrativos, técnicos e outros, prestados pelo Instituto Chico Mendes seguirá o estabelecido na Portaria MMA n.º 366, de 07 de outubro de 2009 e suas futuras atualizações.

Art. 3º A abertura de processo pelo Instituto Chico Mendes para análise de proposta de compensação espeleológica somente se dará com o recebimento dos seguintes documentos:

- I Documento do órgão licenciador competente que ateste a impossibilidade de cumprimento do art. 4º, § 1º, do Decreto nº 99.556/90, considerando a justificativa técnica apresentada pelo empreendedor;
- II Estudo de Impacto Ambiental (EIA), contendo os estudos espeleológicos do empreendimento, inclusive de classificação do grau de relevância de cavidades, e arquivos geoespacializados;
- III Relatório síntese sobre as cavidades naturais subterrâneas e respectivas áreas de influência que sofrerão impactos negativos decorrentes das atividades autorizadas no respectivo processo de licenciamento ambiental, contendo localização geoespacializada das cavidades;

- IV Proposta de compensação espeleológica, conforme descrito no art. 4º, priorizando assegurar a preservação, em caráter permanente, de cavidades naturais subterrâneas com o mesmo grau de relevância, preferencialmente de mesma litologia e com atributos similares às que sofrerão o impacto negativo irreversível; e

Comentário: *apesar de demonstrada a impossibilidade de cumprimento do art. 4º, § 1º, do Decreto nº 99.556/90, a compensação poderá propor a preservação de cavidades testemunhos em proporção diferente daquela estabelecida no referido artigo, ou seja, duas cavidades naturais subterrâneas para cada uma que sofreu o impacto, de modo a proteger e manter áreas com o testemunho de características mais semelhante possível às da região afetada.*

- V justificativa técnica, elaborada pelo empreendedor, de que a proposta apresentada compensará as perdas ambientais e do patrimônio espeleológico decorrentes da instalação e operação do empreendimento.

Art. 4º As propostas de compensação espeleológica de que trata o art. 4º, § 3º, do Decreto nº 99.556/90, deverão contemplar ao menos uma das seguintes ações, obedecendo à seguinte ordem de prioridade:

- I Criação de Reserva Particular do Patrimônio Natural, em área de propriedade do empreendedor, que tenha como objetivo principal a proteção do patrimônio espeleológico;
- II Criação de unidade de conservação de proteção integral com o objetivo principal de proteger o patrimônio espeleológico, incluindo a elaboração dos estudos necessários, bem como a aquisição e a doação ao Instituto Chico Mendes das propriedades localizadas na área proposta para a unidade;
- III Regularização fundiária e demarcação de áreas de ocorrência do patrimônio espeleológico em unidades de conservação.

§ 1º A autoridade competente poderá, em atenção ao caso concreto e de forma a melhor proteger o patrimônio espeleológico, alterar a ordem de prioridade dos incisos I a III do artigo 4º, desde que devidamente fundamentada.

§ 2º De forma complementar, as propostas poderão contemplar:

- I elaboração, revisão ou implantação de plano de manejo em unidades de conservação que protejam o patrimônio espeleológico;
- II desenvolvimento de pesquisas necessárias à conservação e uso sustentável do patrimônio espeleológico brasileiro e dos ecossistemas associados;
- III aquisição de bens e serviços necessários à implantação, gestão, monitoramento e proteção do patrimônio espeleológico.

§ 3º A implantação do plano de manejo de que trata o § 1º, inciso I, inclui a aquisição de bens e serviços necessários à implantação, gestão, monitoramento e proteção da unidade de conservação, bem como de sua zona de amortecimento;

§ 4º As propostas de compensação espeleológica deverão estabelecer comparação entre as cavernas impactadas e aquelas a serem preservadas em caráter permanente, assim como apresentar o ganho ambiental da proposta para a proteção do patrimônio espeleológico e biodiversidade associada.

Comentário: *as exigências estabelecidas neste dispositivo subsidiarão a análise de proporcionalidade, adequação e equivalência entre os impactos às cavernas e a proposta de compensação, para a qual serão considerados os princípios da razoabilidade, da prevenção e da precaução, com o objetivo maior de atestar a existência de efetivo caráter compensatório na proposta.*

Art. 5º Na análise técnica da proposta de compensação espeleológica serão considerados:

Comentário: *Ao discorrer sobre a compensação excepcional, a Procuradoria Federal Especializada junto ao Instituto Chico Mendes, por meio do*

Memorando n.º 514/2010/AGU/PGF/PFE-ICMBIO (15/9/2010), expressa o seguinte entendimento:

“Entendemos que esse dispositivo excepcional, que fala em “outras formas de compensação”, deve ser compreendido no contexto normativo no qual está inserido, de forma que essas outras formas de compensação não devem fugir da idéia de proteção do patrimônio espeleológico, até para afastar qualquer confusão com o instituto da compensação ambiental (art. 36, Lei do SNUC

Por isso, é preciso interpretar as normas citadas no sentido de que, não havendo duas cavidades para serem preservadas na mesma litologia, com atributos similares, em áreas contínuas e no mesmo grupo geológico da cavidade que sofreu o impacto (até porque, quanto a estes últimos requisitos o próprio decreto fala em “sempre que possível”), deve-se partir para outra solução acordada com o empreendedor, que pode inclusive ser a preservação de duas cavidades de alta relevância, mesmo que de outra litologia, ou alguma outra medida, desde que seja exclusivamente voltada para a proteção do patrimônio espeleológico brasileiro”. (grifamos)

- I a dimensão do impacto sofrido pelo patrimônio espeleológico e ocasionado pelo empreendimento, considerando o disposto no art. 5º da Resolução CONAMA nº 347, de 10 de setembro de 2004;
- II os atributos das cavidades naturais subterrâneas e suas respectivas áreas de influência, que serão objeto de impactos negativos irreversíveis, conforme Instrução Normativa MMA nº 2, de 20 de agosto de 2009;
- III os atributos das cavidades naturais subterrâneas e suas respectivas áreas de influência, que serão preservadas como cavidades testemunho na área do empreendimento, conforme Instrução Normativa MMA nº 2, de 20 de agosto de 2009;
- IV os atributos ambientais e espeleológicos

da área a ser preservada pela proposta de compensação;

- V as medidas e ações para assegurar a preservação, em caráter permanente, da área proposta para compensação.

§ 1º Caso os elementos apresentados para subsidiar a análise e manifestação sejam insuficientes, serão solicitadas informações, documentos e estudos complementares ao empreendedor.

§ 2º O CECAV poderá, sempre que entender necessário, solicitar ao órgão licenciador as informações consideradas necessárias para análise da proposta de compensação espeleológica, na forma do art. 2º, § 5º, da Lei n.º 10.650, de 16 de abril de 2003.

Art. 6º Após análise técnica da proposta de compensação espeleológica pelo CECAV, o Instituto Chico Mendes manifestar-se-á por:

- I aceitar a proposta integralmente;
- II aceitar a proposta parcialmente e apresentar complementações;
- III rejeitar integralmente a proposta e apresentar contraproposta.

Art. 7º A execução da compensação espeleológica será estabelecida por meio de Termo de Compromisso Ambiental (TCA) firmado entre as partes.

§ 1º O TCA estabelecerá qual unidade do Instituto Chico Mendes será responsável por acompanhar e verificar o fiel cumprimento do TCA, devendo, caso se faça necessário, complementar, retificar, suspender ou cancelar o TCA, mediante justificativa.

§ 2º O TCA definirá os meios, ações e cronograma para implementação das ações previstas.

§ 3º Constatado eventual descumprimento das obrigações previstas no TCA por parte do empreendedor, este será notificado pelo Instituto Chico Mendes, devendo apresentar justificativa escrita no prazo de 15 (quinze) dias a contar do recebimento da notificação.

§ 4º O Instituto Chico Mendes deverá aceitar ou rejeitar motivadamente a justificativa apresentada e

notificar o empreendedor de sua decisão no prazo de 30 (trinta) dias, a contar do recebimento da justificativa.

§ 5º Rejeitada a justificativa, hipótese em que o empreendedor será considerado inadimplente, o Instituto Chico Mendes notificará o órgão licenciador no prazo de 10 (dez) dias, a contar da data do recebimento pelo empreendedor da notificação da decisão rejeitadora, para fins de suspensão ou cancelamento das licenças ambientais descumpridas.

§ 6º Não apresentada justificativa, hipótese em que o empreendedor será considerado inadimplente, o Instituto Chico Mendes notificará o órgão licenciador para fins de suspensão ou cancelamento da licença ambiental, no prazo de 10 (dez) dias a contar do término do prazo quinzenal previsto no parágrafo terceiro.

Art. 8º O prazo para manifestação do Instituto Chico Mendes frente ao requerimento de que trata esta Instrução Normativa será de até 60 (sessenta) dias, contados a partir da data de protocolo.

Parágrafo único. Em caso de solicitação de complementação de informações, conforme §§ 1º e 2º, art. 5º desta IN, haverá novo prazo de 60 (sessenta) dias contados a partir da data de protocolo das devidas complementações.

Art. 9º Os processos de compensação espeleológica em andamento na data de publicação desta Instrução Normativa deverão se adequar aos procedimentos estabelecidos nesta IN no prazo de 90 (noventa) dias.

Art. 10º Esta Instrução Normativa entra em vigor na data de sua publicação.

Art. 11º Ficam revogadas as disposições em contrário.

ROBERTO RICARDO VIZENTIN

CURSO DE ESPELEOLOGIA E LICENCIAMENTO AMBIENTAL

Contatos dos Instrutores

Nome	Instituição	E-mail	Telefone
André Afonso Ribeiro	CECAV/ICMBIO	andre.ribeiro@icmbio.gov.br	(61) 3035.3477
Augusto Sarreilo Auler	Instituto do Carste	aauler@gmail.com	(31) 9314-1570
Cristiano Fernandes Ferreira	CECAV/ICMBIO	cristiano.ferreira@icmbio.gov.br	(61) 3035.3477
Jocy Brandão Cruz	CECAV/ICMBIO	jocy.cruz@icmbio.gov.br	(61) 3035.3468
Jose Carlos Ribeiro Reino	CECAV/ICMBIO	jose.reino@icmbio.gov.br	(61) 3035.3477
Luis Beethoven Piló	Instituto do Carste	lbpilo@gmail.com	(31) 9769 8657
Rodrigo Lopes	Laboratório de Ecologia Subterrânea / Departamento de Biologia / UFLA	drops@ufla.br	(31) 9111 8690
Vítor Marcos Aguiar de Moura	Grupo Bambui de Pesquisas Espeleológicas / Instituto do Carste	vmamoura@gmail.com	(31) 9206 8325

projeto gráfico e composição
ADÆQUATIO ESTÚDIO DE CRIAÇÃO

impressão
Gráfica e Editora Rona