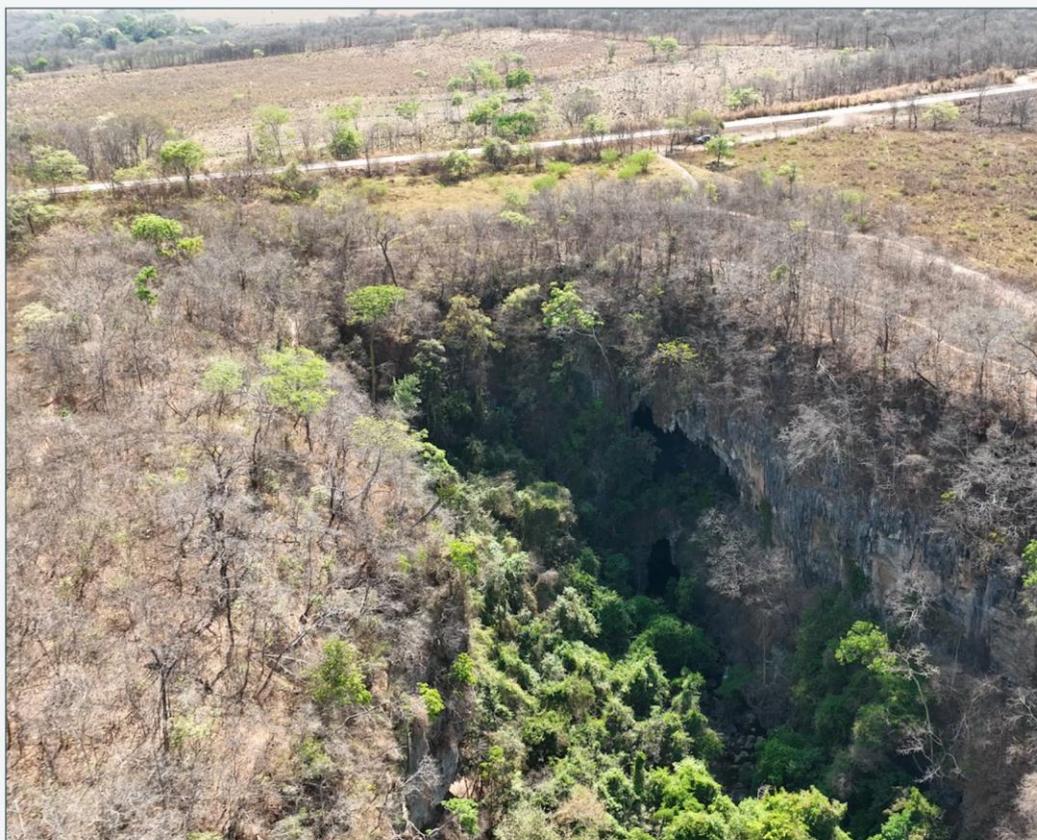


ÁREA DE INFLUÊNCIA SOBRE O PATRIMÔNIO ESPELEOLÓGICO

Reedição 2022



**ORIENTAÇÕES BÁSICAS À REALIZAÇÃO
DE ESTUDOS ESPELEOLÓGICOS**

Ministério do Meio Ambiente
Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade
Diretoria de Pesquisa, Avaliação e Monitoramento da Biodiversidade
Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas

ÁREA DE INFLUÊNCIA SOBRE O PATRIMÔNIO ESPELEOLÓGICO

***ORIENTAÇÕES BÁSICAS À REALIZAÇÃO
DE ESTUDOS ESPELEOLÓGICOS***

Reedição 2022

ICMBio

Reedição, Brasília, 2022

Presidente

JAIR MESSIAS BOLSONARO

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE

Ministro

JOAQUIM ALVARO PEREIRA LEITE

Secretaria Executiva

FELIPE RIBEIRO DE MELLO

Secretaria de Biodiversidade

MARIA BEATRIZ PALATINUS MILLIET

INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA
BIODIVERSIDADE

Presidente

MARCOS SIMANOVIC

Diretor de Pesquisa, Avaliação e Monitoramento da
Biodiversidade

MARCOS AURÉLIO VENANCIO

Coordenador do Centro Nacional de Pesquisa e
Conservação de Cavernas

JOCY BRANDÃO CRUZ

ÁREA DE INFLUÊNCIA SOBRE O PATRIMÔNIO
ESPELEOLÓGICO: Orientações básicas à realização de
estudos espeleológicos
Reedição 2022

Equipe técnica:

ANDRÉ AFONSO RIBEIRO

CRISTIANO FERNANDES FERREIRA

JOCY BRANDÃO CRUZ

JOSÉ CARLOS RIBEIRO REINO

PAULO F. P. PESSOA

JOSÉ ANTONIO FERRARI

Fotos Capa

Pains/MG, Allan Calux

INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE
Diretoria de Pesquisa, Avaliação e Monitoramento da Biodiversidade
Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas
Rodovia BR 450, km 8,5 via Epia, Parque Nacional de Brasília
CEP 70635-800 - Brasília/DF - Tel: 61 2028-9792
<http://www.icmbio.gov.br/CECAV>

ÁREA DE INFLUÊNCIA SOBRE O PATRIMÔNIO ESPELEOLÓGICO ORIENTAÇÕES BÁSICAS À REALIZAÇÃO DE ESTUDOS ESPELEOLÓGICOS

1. Introdução

Em 2004, com a publicação da Resolução CONAMA 347, que dispõe sobre a proteção do patrimônio espeleológico, foi trazido ao arcabouço jurídico o conceito de área de influência sobre o patrimônio espeleológico. O Decreto 99.556/90, com as alterações dadas pelo Decreto 6.640/2008, também se utiliza do conceito, em especial em seu artigo 3º, ao tratar da proteção das cavidades naturais subterrâneas com grau de relevância máximo.

Contudo, a aplicação do conceito "área de influência" no âmbito do licenciamento ambiental, por sua complexidade técnica, entre outros fatores, tem levado os empreendedores a submeter estudos ambientais que, em boa parte dos casos, recorrem ao §3º do artigo 4º da CONAMA 347/2004, limitando, provisoriamente, a área de influência sobre o patrimônio espeleológico ao entorno de 250m da cavidade natural subterrânea.

Diante desse cenário, os órgãos responsáveis pelo licenciamento ambiental de empreendimentos em áreas de ocorrência de cavernas têm se deparado com as seguintes questões, entre tantas outras:

- Como definir a área de influência sobre o patrimônio espeleológico?
- Quais estudos devem ser solicitados ao empreendedor?
- Os 250 metros, definidos em caráter provisório, são efetivos, excessivos ou insuficientes?
- Como assegurar a proteção de cavidades com grau de relevância máximo?

Nesse contexto, e com intuito de contribuir para o avanço das discussões, o CECAV promoveu encontro técnico para discussão do tema entre os dias 15 a 18/04/2013, em Belo Horizonte/MG, com participação de representantes e especialistas de todos os setores envolvidos com o licenciamento ambiental e/ou conservação do patrimônio espeleológico.

Como resultado deste encontro e posterior trabalho da equipe do CECAV, foi elaborado este documento, com diretrizes e orientações técnicas para realização dos estudos necessários à definição das áreas de influência sobre o patrimônio espeleológico, no âmbito do licenciamento ambiental.

Importante ressaltar que cabe a cada órgão licenciador avaliar a aplicabilidade e ponderar sobre o conjunto das orientações ora apresentadas, de acordo com os impactos previstos para cada tipo de empreendimento, bem como para cada litologia de ocorrência de cavidades naturais subterrâneas e demais características ambientais. Recomenda-se, para tanto, avaliar a adoção de termos de referência específicos para cada situação de análise.

Destaca-se ainda a importância das áreas de influência do empreendimento, sobretudo a área diretamente afetada - ADA, estarem bem estabelecidas, devendo haver recomendações específicas para algumas situações, por exemplo, empreendimentos situados em áreas de recarga de aquíferos cársticos.

CONCEITOS:

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. (Resolução CONAMA 347/2004)

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. (Resolução CONAMA 347/2004)

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. (Instrução Normativa MMA 2/2009, Anexo II)

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 e apresentar fluxo de indivíduos/genético. (Instrução Normativa MMA 2/2009, Anexo II)

INTEGRIDADE FÍSICA: manutenção do aspecto morfológico original da caverna, de forma a evitar quaisquer alterações na morfologia das paredes, teto e piso. Também se refere à preservação do aspecto original de formações como espeleotemas ou sedimentos clásticos.

2. DIRETRIZES PARA ESTUDO DE ELEMENTOS FÍSICOS DO PATRIMÔNIO ESPELEOLÓGICO

O sistema cárstico no qual está inserido o empreendimento, ou sistema subterrâneo com ocorrência de cavidade natural ou de potencial espeleológico, deve ser delimitado e caracterizado levando-se em consideração:

- Aspectos geológicos, geotécnicos, geomorfológicos, pedológicos, hidrológicos, hidrogeológicos e climáticos;
- Topografia;
- Recursos hídricos superficiais (regime e parâmetros relevantes do ciclo hidrológico);
- Feições cársticas (ocorrência de cavernas, dolinas, vales cegos, ressurgências etc.) e demais elementos indicativos de fenômenos e processos de dissolução;
- Zonas de recarga autóctone e alóctone, circulação e descarga.

2.1 Pressupostos sobre a dinâmica evolutiva de cavidades naturais subterrâneas

A dinâmica evolutiva de uma caverna abrange processos geomorfológicos e hidrológicos como: (i) entrada de água superficial e meteórica; (ii) carreamento de sedimentos para o interior da caverna (alóctones) e geração de sedimentos autóctones; (iii) processos dissolutivos e erosivos responsáveis pela ampliação da caverna.

ENTRADA (OU SAÍDA) DE ÁGUA:

Cavernas que comportam drenagens ativas ou intermitentes funcionam como sumidouros e/ou ressurgências. A manutenção do fluxo de drenagem é essencial para que a caverna preserve sua dinâmica hídrica. Estas drenagens estão, em geral, intimamente associadas à manutenção do ecossistema subterrâneo.

Não só a quantidade (vazão), mas também a qualidade da água deverá ser monitorada e conservada de modo a garantir as inter-relações físicas e biológicas da caverna. Muitas vezes a conservação da drenagem é complexa, pois envolve a bacia de contribuição hídrica.

Recomenda-se a elaboração de estudos para a delimitação da bacia de contribuição, incluindo cartografia planialtimétrica, estudos hidrogeológicos, além de técnicas com traçadores, quando necessário.

Cavernas que funcionam como surgências, mas que captam água infiltrada difusamente no maciço e não possuem um ponto único de coleta (sumidouro) exigem tratamento mais complexo. Nesses casos, sugere-se que os estudos apresentem justificativas e propostas alternativas para definição da área de influência do patrimônio espeleológico associado.

2.1.1 Infiltração

A infiltração de água originada da chuva é importante para a preservação da atividade hídrica da caverna, que resultará na continuidade dos processos de gênese de espeleotemas, manutenção da alta umidade relativa típica da atmosfera subterrânea.

A preservação da infiltração hídrica passa pela manutenção da permeabilidade de uma área que habilite a preservação do fluxo d'água tanto oriundo de percolação vertical através de água meteórica (chuvas), quanto a partir da percolação lateral. Esta área será variável, devendo ser estabelecida separadamente para cada caso. São recomendados estudos para definição da bacia de contribuição, podendo também ser usadas técnicas com traçadores.

2.1.2 Entrada e geração de sedimentos

Sedimentos podem ter origem autóctone (gerados a partir do interior da caverna) ou alóctone (provindos de fora da caverna). Os sedimentos são importantes para a manutenção do ecossistema da caverna, como modificadores da morfologia subterrânea e como fonte potencial de material paleoambiental, arqueológico e paleontológico.

Para a determinação da área necessária para preservação da dinâmica da sedimentação alóctone e autóctone carregada por águas, tanto de infiltração quando de drenagem, orienta-se solicitar estudos de delimitação da bacia potencial de contribuição hídrica, podendo também ser usadas técnicas com traçadores com o objetivo de maior detalhamento.

2.1.3 Processos espeleogenéticos

É fundamental que a evolução espeleogenética da caverna seja assegurada. Os processos erosivos e dissolutivos que levam ao surgimento e alargamento dos vazios envolvem, particularmente, agentes hídricos, embora movimentos tectônicos, agentes eólicos e mesmo agentes biológicos possam exercer alguma influência.

Sendo os agentes hídricos os principais catalisadores da espeleogênese, os estudos das drenagens e dos processos de infiltração podem fornecer, em grande parte, importantes informações para a preservação da dinâmica espeleogenética.

2.2 Delimitando sistemas cársticos em rochas carbonáticas

O primeiro passo é compreender a relação das rochas carstificáveis com o relevo. Para tanto, recomenda-se:

1. Mapas e perfis geológicos;
2. Topografia da área de interesse;
3. Localizar cavidades naturais, sumidouros e ressurgências, depressões fechadas e vales cegos;

Comentário: Consulta aos bancos de dados espeleológicos. Caso haja mapa espeleotopográfico da cavidade, utilizá-lo.

4. Definir zonas de recarga (autóctones e alóctones) e nível de base (zona de descarga) da faixa carbonática.

A realização de testes com traçadores leva à identificação de conexões hidrológicas entre sumidouros e ressurgências, permitindo a separação de diferentes sistemas hidrológicos. Trata-se de método de investigação direta e recomenda-se sua aplicação em empreendimentos potencialmente poluidores ou degradadores de cavidades naturais subterrâneas, bem como de sua área de influência, com indícios de importância e/ou conexão hídrica local ou regional.

2.2.1 Identificando os diferentes sistemas:

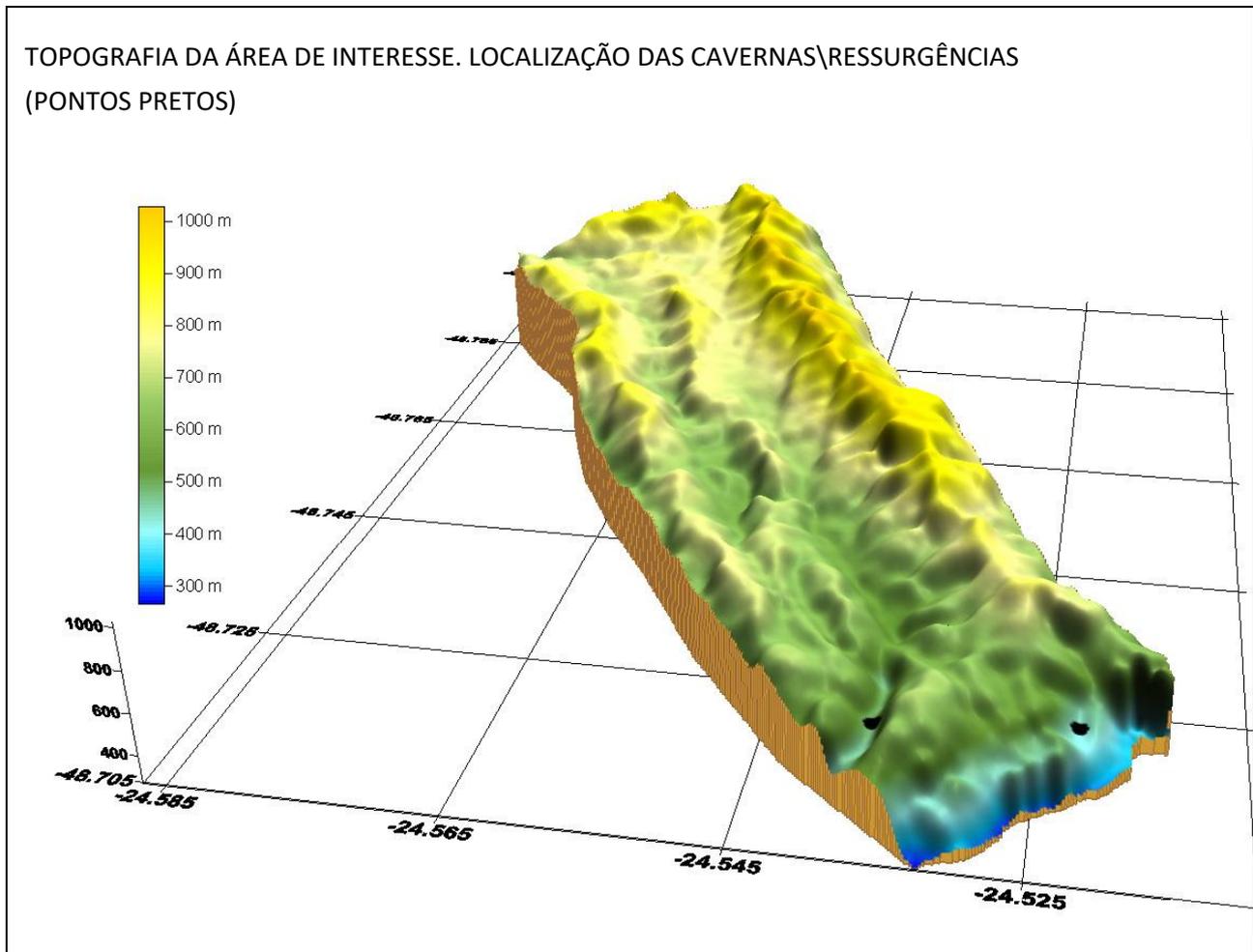
Os sistemas cársticos são efetivamente delineados pela área total da bacia, da qual o carste pode ser apenas uma parte. Portanto, recomenda-se ainda estimar os limites dos diferentes hidrossistemas.

Em alguns casos, os divisores topográficos e os contatos litológicos com rochas não carstificáveis facilitam esta delimitação, como é o caso de faixas carbonáticas relativamente estreitas, margeadas por outras litologias. Mas esta situação pode não estar presente em paisagens formadas sobre extensas áreas carbonáticas.

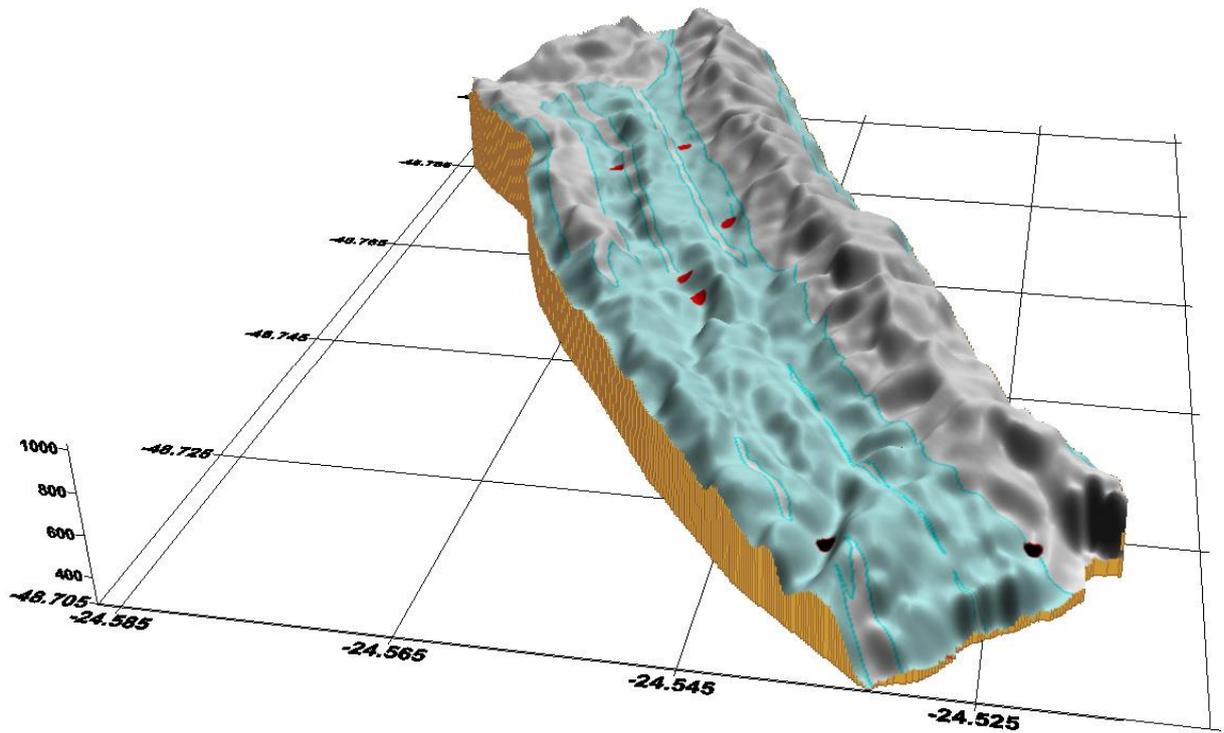
Deve-se lembrar de antemão que, mesmo ao nível de bacia, o sistema pode ser oscilante no tempo e no espaço, ou seja: (p.ex.) no final do período úmido, quando sob regime de cargas hidráulicas mais

elevadas, podem-se atingir limites mais extensos e, quando em período de estiagem, pode ocorrer diminuição drástica das zonas de influência hídrica, pela desconexão com setores somente interligados nas épocas de maior carga hidráulica.

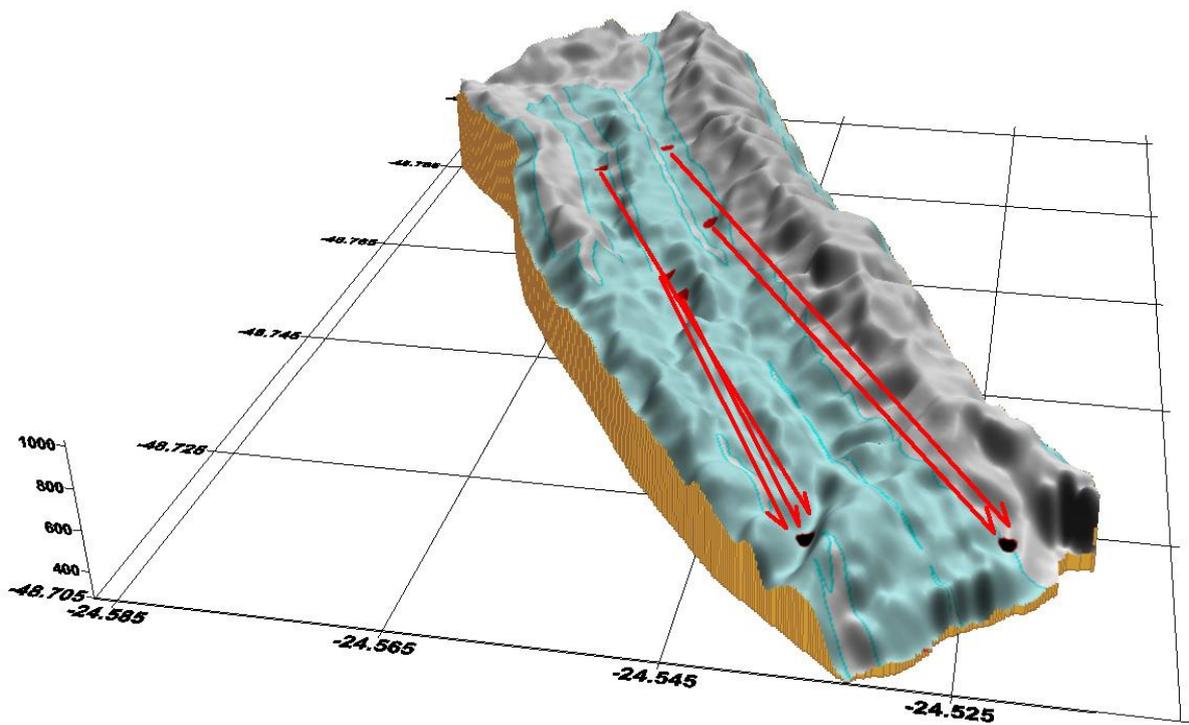
A figura a seguir (Ferrari, 2009) exemplifica a delimitação das áreas de influência de duas cavernas.



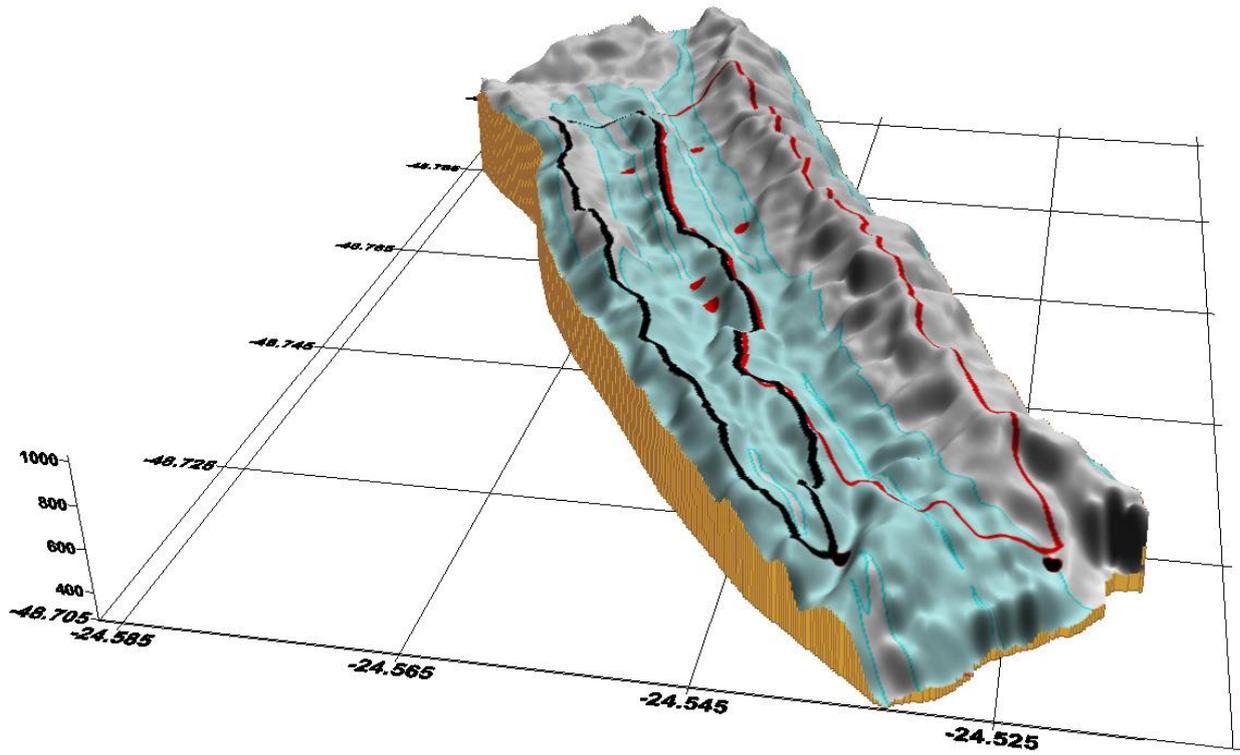
ENTENDER A RELAÇÃO DAS ROCHAS CARSTIFICÁVEIS (AZUL CLARO) COM O RELEVO – LOCALIZAR SUMIDOUROS (PONTOS VERMELHOS)



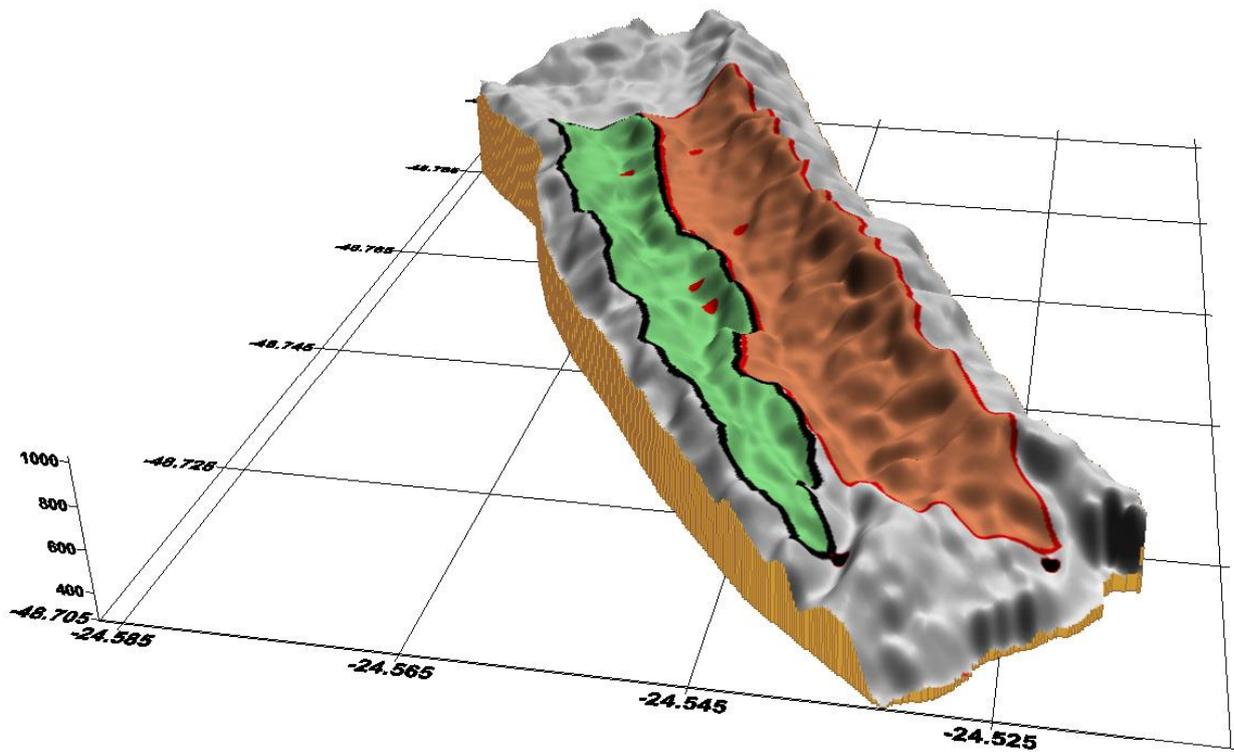
IDENTIFICAR CONEXÕES HIDROLÓGICAS ENTRE SUMIDOUROS E RESSURGÊNCIAS (SETAS VERMELHAS) – RESULTADO DE TESTES COM TRAÇADORES



DELIMITAR AS ZONAS DE RECARGA (AUTÓCTONE/ALÓCTONE) DAS RESSURGÊNCIAS, CONSIDERANDO AS CONEXÕES HIDROLÓGICAS E AS FEIÇÕES DO RELEVO



DEFINIÇÃO DOS SISTEMAS HIDROLÓGICOS DAS RESSURGÊNCIAS
ZONA DE PROTEÇÃO DAS CAVERNAS



Em caso de sobreposição da área diretamente afetada (ADA) do empreendimento à área de influência de cavidade, delimitada com base em dados secundários, recomenda-se que os estudos sejam aprimorados, com dados primários, em relação aos seguintes itens:

- Destacar no estudo da geologia local o grau ou propensão à carstificação (solubilidade) das diferentes litofácies e tectofácies presentes, levando-se em consideração a sua organização estratigráfica, a composição mineral, química e textural, as estruturas deposicionais e tectônicas existentes, bem como o desenvolvimento de feições dissolutivas (tipo, densidade, extensão, volume, frequência etc.) em cada uma;
- O relevo e as feições cársticas descritos e cartografados em nível de detalhe, especialmente as feições de absorção hídrica tais como dolinas, vales cegos, sumidouros (absorção concentrada ou pontual), pavimentos fissurados e campos de lapiás (absorção difusa); as feições de circulação hídrica como condutos e cavernas; e as feições de descarga como nascentes e ressurgências. A abordagem descritiva deve envolver análises morfométricas, e a compartimentação geomorfológica deve delinear unidades morfogenéticas. Ferramentas e recursos de análise espacial digital podem ser explorados para a extração de dados e geração de informações derivadas, aplicadas aos estudos regionais e de semidetalhe e, quando possível, de detalhe. Modelos digitais tridimensionais do relevo, mapas de declividade e índice/concentração de rugosidade devem ser considerados recursos para a análise espacial ambiental e avaliação da fragilidade ambiental intrínseca.

Identificada ainda a sobreposição da área diretamente afetada (ADA) do empreendimento à área de influência de cavidade em conexão hidrológica com um ou mais hidrossistemas recomenda-se que os recursos hídricos superficiais e subterrâneos sejam caracterizados em seus aspectos químicos e dinâmicos, por meio de inventário de poços e pontos d'água e monitoramento hidroclimático sazonal, possibilitando:

- Estabelecer o traçado das redes hidrológicas superficiais e subterrâneas e descrever o seu comportamento hidrodinâmico temporal (vazões específicas, rotas de fluxo permanentes e intermitentes etc.);
- Delimitar as bacias e sub-bacias autógenas, e alógenas ou mistas, reconhecendo seus respectivos sistemas de entrada-circulação-saída de água, com estimativa do balanço hídrico.
- Construir as superfícies potenciométricas locais e regional e o seu comportamento dinâmico temporal;
- Descrever a sazonalidade hidroquímica e os parâmetros de qualidade da água
- Estimar o grau de vulnerabilidade intrínseca e/ou específica dos recursos hídricos superficiais e aquíferos, a partir de métodos consagrados na literatura.

O objetivo dessa abordagem é avaliar a influência da dinâmica de fluxos d'água, incluindo amplitudes e temporalidade de cheias, seu alcance nos diferentes compartimentos da cavidade, dinâmica energética, bagagem detrítica e respostas físico-químicas e biológicas de curto a longo prazo, bem como outros fenômenos vinculados a eventos climáticos determinantes da organização física e biológica no ambiente subterrâneo (Berbert-Born, 2010).

Ao comentar pressupostos da caracterização temporal dos sistemas cársticos na perspectiva hidrológica, Berbert-Born (op. cit.) aborda importantes situações que refletem a relação entre o comportamento da água e os parâmetros de um sistema subterrâneo:

"Um exemplo interessante de como um sistema subterrâneo pode manifestar determinada condição hidroclimática, função de tempo e espaço, está nos estudos de Ryan & Meiman (1996)

realizados em uma bacia cárstica de Kentucky, EUA. A figura 7 traz hidrogramas que retratam o comportamento de uma nascente em resposta a eventos de tempestade, na escala temporal de dois dias e meio.

O gráfico mostra inicialmente a “condição de base” do sistema, com as características de volume de descarga, turbidez e condutividade específica. Segue apresentando o comportamento desses parâmetros após o primeiro e mais intenso episódio de chuva e de outros dois eventos subsequentes. O volume de descarga aumenta súbita e substancialmente como uma rápida resposta às chuvas, fazendo supor uma injeção imediata da água superficial para dentro do sistema e rápido percurso até a sua descarga na nascente. No entanto, nesse intervalo em que aumenta a descarga não há alteração correspondente dos parâmetros turbidez e condutividade, contrariando a idéia de influxo instantâneo, pois além da baixa carga detrítica, a alta condutividade retrata água que teve tempo suficiente em contato com a rocha para com ela reagir. Pelo gráfico, esses dois parâmetros só começam a variar horas após as precipitações, quando o volume da descarga já está em declínio.

O aumento do volume de descarga quase sincrônico à primeira chuva torrencial demonstra seguramente que o sistema responde rápido às chuvas. Mas o padrão de condutividade sugere que este volume adicional de água estaria previamente estocado em algum compartimento interposto à região de recarga e descarga final, e o seu vertimento forçado num primeiro momento de elevação do volume das cabeceiras.

Com a ajuda de traçadores químicos, pôde-se ainda concluir que a turbidez tardia advém da água infiltrada nas porções mais distais da bacia, local em que as condições pedogeomorfológicas e de uso e ocupação do solo favorecem o carreamento de particulados da superfície, bem como o aporte de contaminantes. De fato, o aumento da turbidez é acompanhado por um pico de contaminação por coliformes fecais, indicando que o transporte e alcance à nascente ocorrem em pulsos que podem variar em tempo e intensidade conforme a intensidade das chuvas nos locais remotos. No caso apresentado, o pulso contaminante não teve sincronismo com a elevação da descarga hídrica, e poderia passar despercebido em uma amostragem planejada à margem da real dinâmica do sistema.

Conforme White (2002, p.102), essa complexa dinâmica temporal e espacial em bacias cársticas tem implicações muito importantes quanto ao monitoramento da água subterrânea (e elementos associados a ela): “Reliable sampling requires precise timing and a preknowledge of the hydrology of the basin”.

Em suma, o que se quer destacar é que as observações e amostragens, seja na perspectiva hidrológica ou ecológica de modo geral, devem estar sintonizadas com o comportamento temporal de cada ambiente em particular, de modo que, dentro de um sentido “amostral”, seja contemplado todo o seu espectro de possibilidades, especialmente as possibilidades que fazem toda diferença nos valores dos atributos em julgamento.”

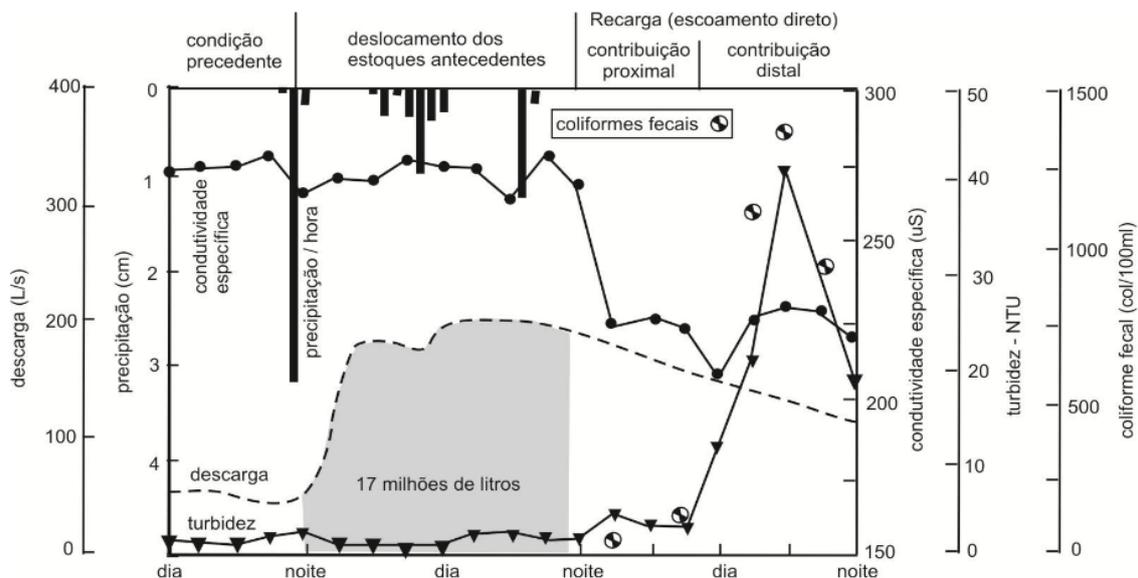


Figura 7. Hidrogramas e parâmetros químicos da nascente "Big Spring" (Kentucky, EUA) relativos a um evento de tempestade ocorrido em Setembro de 1992 (Ryan & Meiman, 1996).

Fonte: Berbert-Born, 2010

Nos casos de sobreposição da área diretamente afetada (ADA) do empreendimento à área de influência de cavidade natural subterrânea com grau de relevância máximo, além das atividades descritas nas situações anteriores recomenda-se também:

- Avaliar a cobertura pedológica quanto ao risco de processos erosivos, levando-se em consideração os tipos de solo, espessuras estimadas, declividade, cobertura vegetal, clima e o uso e ocupação do solo. Avaliar também suas funções quanto à armazenagem, difusão e dispersão da água em cada contexto geomorfológico;
- Estudos climatológicos que descrevam as variáveis climáticas locais (temperatura, umidade, volume e distribuição temporal de chuvas, evaporação, insolação, pressão atmosférica, direção e velocidade dos ventos), bem como determinem os padrões e variações locais e regionais com base em séries históricas de estações climatológicas próximas. Estes estudos subsidiarão as análises morfogenéticas e são complementares aos estudos hidrológicos e ecológicos;
- Caracterização geomecânica e identificação de áreas de risco geotécnico, com ênfase nas zonas de ocorrência de blocos abatidos, tetos ou paredes com rachaduras (locais passíveis de monitoramento), bem como de outros indicadores;
- Avaliação de estabilidade estrutural da cavidade frente a impactos de vibrações do terreno, propagação de ruídos, ultralanchamentos e sobrepressão atmosférica;

2.3 DELIMITANDO SISTEMAS SUBTERRÂNEOS EM ROCHAS FERRÍFERAS

2.3.1 Processos

- Os processos dominantes nas cavernas ferríferas são os que atuam na hidrologia de vertente.
- Infiltração e percolação da água pluvial na canga e rocha geram cavernas.

2.3.2 Hipóteses

- A proximidade das cavernas com a superfície da vertente favorece a ocorrência de fluxos verticais, preponderantemente;

As análises acerca do escoamento subsuperficial (*throughflow*) em vertentes ferríferas devem ser encaradas com certa reserva. Os recentes e pioneiros experimentos sobre a dinâmica hídrica de vertentes constituídas em carapaças ferruginosas (cangas) e formações ferríferas, de modo preponderante, ainda não permitiram compreender adequadamente a importância do escoamento hipodérmico (*interflow* ou *throughflow*), uma vez que os aportes dessa natureza para as cavidades, na forma de fluxos subsuperficiais são evidenciados ainda que a curtas distâncias, de maneira mais intensa ou não, sazonalmente.

- A bacia de captação hídrica estaria restrita aos arredores da cavidade.

2.3.3 Ensaios com traçadores corantes

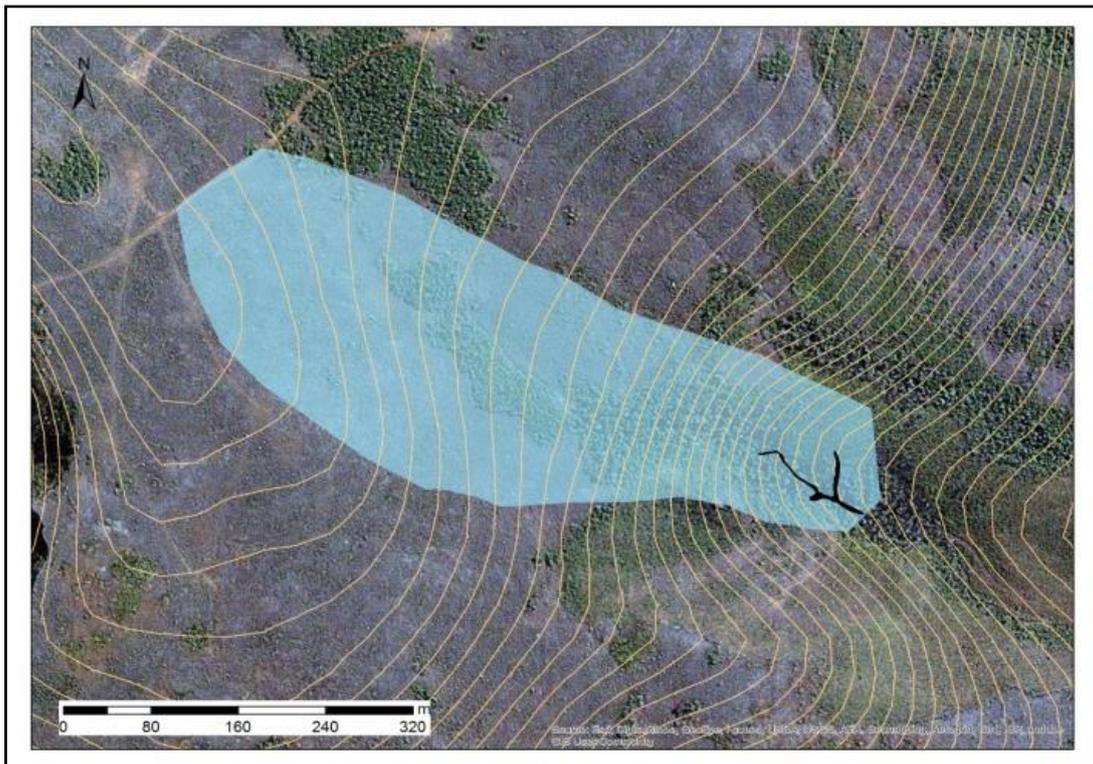
2.3.3.1 Premissas adotadas:

- Estabelecimento da condição de contorno topográfico (área de influência hipotética admitida);
- Existência de uma base planialtimétrica detalhada das cavidades e da área de influência hipotética admitida;
- Reconhecimento de zonas preferenciais de infiltração na vertente, com a descrição de sua natureza, e das características constituintes, a fim de se elucidar / reconhecer as prováveis zonas de retenção / retardamento dos corantes no meio investigado;
- Conhecimento do regime pluviométrico na região de interesse do estudo (estratégia de injeção do corante).

2.3.3.2 Bacia de contribuição hídrica potencial máxima

2.3.3.2.1 Procedimentos metodológicos:

1. Reconhecimento da bacia potencial de contribuição máxima;
2. Análises geomorfológicas e espeleológicas na escala da vertente;
3. Seleção de faixas de interesse para injeção (vertente) e detecção (caverna) dos traçadores corantes;
4. Representatividade da malha de monitoramento com distintos tipos de detectores (passivos – água e carvão);
5. Resultados esperados: definição das zonas de contribuição hídrica em função das conexões de rotas comprovadas.



2.3.3.3 Fatores importantes.

- Análise do *background* (sazonalidade);

Importante avaliar ao longo de pelo menos três meses consecutivos, previamente ao lançamento / injeção dos corantes sobre as vertentes, as potenciais concentrações de elementos naturais que transitam na vertente e que tenham capacidade de mascarar os valores das concentrações esperadas (campos espectrais) dos corantes de interesse aos estudos de conexão hídrica.

- Aprimoramento dos métodos analíticos em laboratório, para rastreamento do perfil de fluorescência das águas e maior confiabilidade dos resultados.
- Aprimoramento do cálculo da massa de corante a ser injetada na vertente a fim de obter concentrações que não ofereçam riscos à fauna e flora dos ambientes investigados e que ao mesmo tempo superem o potencial de retenção desses ambientes.
- Desenvolvimento de métodos de investigação para estabelecer o período de monitoramento adequado para o entendimento do trânsito dos corantes após a injeção na vertente. Estudos em cavidades maiores associadas a Bacias de Contribuição Hídrica Potencial Máxima de grande extensão em área podem exigir períodos de monitoramento longos.
- A não detecção dos corantes injetados na vertente de uma determinada cavidade em estudo, por meio do monitoramento de seus fluxos internos, não deve ser interpretada como prova evidente da não existência de conexão. Porém, a detecção do corante, tendo sido o estudo realizado de forma tecnicamente rigorosa em todas as suas etapas, é evidência clara da existência de conexão hídrica no espaço entre a cavidade e a superfície da vertente, que se vinculam à altura da faixa de injeção.

2.4 Orientações à elaboração dos estudos de conexão hidráulica e de reconhecimento das zonas de influência hídrica sobre cavidades constituídas em formações ferríferas

Para o reconhecimento básico das variáveis intervenientes no ambiente de estudo recomenda-se:

- a) Definição dos domínios de interesse entre a zona de abrangência geográfica da cavidade e a sua demarcação no espaço físico ocupado:
- Tipologia litológica e pedológica do domínio de interesse, considerando-se a sua zona de abrangência, tipo de contato com outras formações litológicas e formas de estruturação;
 - Cenário climatológico local / regional onde estão inseridas as cavidades de interesse, com ênfase ao reconhecimento das variáveis pluviológicas, temporalmente;
 - Cenário geomorfológico local onde estão inseridas as cavidades de interesse, considerando-se as condicionantes relativas às variáveis topográficas ao nível da vertente e sua relação com as feições geo-estruturais e planialtimétricas (desnível e declividade).
- b) Levantamentos espeleológicos necessários ao pleno reconhecimento das características de desenvolvimento do espaço interno das cavidades de interesse, contemplando, no mínimo, a execução de bases planialtimétricas das cavidades bem como sua descrição geoespeleológica:
- Mapa espeleotopográfico em grau de precisão que permita identificar as principais feições geoespeleológicas;
 - Recomenda-se que os estudos dos atributos físicos das cavernas contemplem, no mínimo, análise sobre sua evolução (espeleogênese), morfologia e depósitos secundários (espeleotemas, sedimentos clásticos e orgânicos).
- c) Demarcação das áreas alvo de interesse à aplicação das técnicas de traçadores corantes;
- d) Descrição detalhada das etapas de planejamento para aplicação das técnicas dos traçadores corantes, descrevendo e justificando todos os pontos que compõem a rede de amostragem (injeção e detecção dos corantes);
- e) Descrição detalhada das etapas relativas às coletas das amostras, principalmente das análises laboratoriais a serem utilizadas para atestar a conexão hidráulica entre pontos ou trechos de interesse em um dado domínio;
- f) Aplicação das técnicas de investigação de conexão hidráulica pertinentes. Sugere-se a adoção das técnicas de investigação de conexões hídras por Traçadores Corantes (*Dye Tracing Techniques - DTT*) internacionalmente consagradas e amplamente utilizadas em diversos ambientes, a partir do uso de traçadores fluorescentes (corantes), os quais se mostram como os únicos procedimentos ambientalmente seguros e tecnicamente comprovados, que podem permitir o reconhecimento inequívoco de uma dada rota de fluxos hídras entre pontos que estejam interligados hidráulicamente, de modo menos oneroso e mais eficiente.

A execução dos ensaios de conexão hídrica tem por objetivo entender a dinâmica hídrica em superfície e em subsuperfície nos domínios de interesse de estudo, ou seja, aqueles vinculados às zonas de influência de cavidades existentes em formações ferríferas, carapaças ferruginosas (cangas), itabiritos, etc. De posse desse entendimento busca-se estabelecer o perímetro de proteção das cavidades por meio da identificação da distância em que as águas do escoamento superficial e/ou subsuperficial podem se deslocar até o interior das cavidades, participando de sua dinâmica espeleogênica.

- g) Descrição detalhada de todos os procedimentos de análises e interpretação dos resultados obtidos (cadeia de custódia);
- h) Descrição, análise e interpretação dos resultados:
- a. Caracterização da dinâmica hídrica investigada;

- b. Critérios adotados na interpretação dos dados obtidos nas amostragens;
- c. Apresentação dos laudos laboratoriais com descrição do significado dos resultados;
- d. Delimitação das zonas de influência hídrica junto às cavidades a partir da comprovação da conexão hidráulica das rotas de fluxo entre as vertentes investigadas e as cavidades.

As investigações pautadas nas técnicas citadas (DTT) visam o reconhecimento dos caminhos preferenciais de fluxo hídrico ao longo da superfície dos terrenos e/ou das zonas não-saturadas do aquífero (rotas de escoamento superficial e subsuperficial) passíveis de conexão com o ambiente cavernícola, em sua totalidade ou em parte.

Tais procedimentos fornecem subsídios à avaliação das condições de interferência dos aportes naturais oriundos das precipitações pluviométricas incidentes nos platôs e vertentes imediatamente adjacentes às cavidades de interesse, considerando-se o contexto geológico, geomorfológico e espeleológico local / regional, e de seus atributos essenciais.

As tarefas de investigação devem estar em consonância com os procedimentos comumente adotados em estudos do gênero, enfatizando-se a sua correlação com trabalhos técnicos existentes na literatura, já conhecidos e amplamente realizados com a finalidade de reconhecimento das condições de interconexão hidráulica em ambientes de elevado índice de vazios, como os encontrados nas zonas constituídas por rochas carbonáticas.

- i) Referências Bibliográficas
- j) Equipe Técnica
- k) Anexos – Laudos e Cadeias de custódia¹

¹ Cada amostra (um ou mais frascos) deve ser acompanhada por uma ficha de coleta e os procedimentos de Cadeia de Custódia devem ser iniciados. A Cadeia de Custódia é um processo de documentação da história cronológica da amostra, para garantir a idoneidade e o rastreamento das mesmas. Isto dá a confiança de que a integridade de amostra não foi comprometida se as amostras são para fins legais ou se existe qualquer suspeita que as amostras possam ser adulteradas em qualquer etapa do processo (momento da coleta até a análise). Manual Técnico para Coleta de Amostras de Água. Florianópolis, SC. 2009.

http://www.mp.sc.gov.br/portal/conteudo/cao/cme/atividades/recursos_hidricos/manual_coleta_%C3%A1gua.pdf

3. DIRETRIZES PARA A REALIZAÇÃO DE ESTUDOS DOS ELEMENTOS BIÓTICOS DO PATRIMÔNIO ESPELEOLÓGICO

A adequação dos estudos específicos está relacionada à geração de conhecimento por meio de métodos cientificamente robustos que permitam compreender a estrutura e o funcionamento do ecossistema em questão, atendendo às demais orientações deste documento, consideradas requisitos a essa compreensão.

- Aplicação de testes de suficiência amostral reconhecidos na literatura;
- Amostragem suficiente para o entendimento da composição das comunidades ao longo do tempo (mínimo de três anos) e compreensão mínima da estacionalidade (as amostragens deverão ser realizadas nos picos das estações).

Conectividade subterrânea da cavidade – os estudos devem permitir compreender qual a conectividade subterrânea e com quais outras macrocavidades a caverna em questão se conecta. Para tanto se sugere:

- O uso de traçadores químicos (em cavernas com circulação ativa de água, perene ou temporária);
- O uso de traçadores biológicos (em qualquer cavidade), por exemplo, a distribuição da ocorrência de espécies troglóbias (presença x ausência). Neste último caso, os limites mínimos considerarão a sobreposição da distribuição das espécies da caverna em questão (limite mais extremo da projeção horizontal de todas as cavidades onde ocorrem essas espécies);
- A avaliação da “presença x ausência” deve ser realizada com a utilização de testes de suficiência amostral cientificamente reconhecidos;
- A conectividade em ambientes secos sem ocorrência de espécies troglóbias pode ser avaliada por meio de parâmetros físicos que indiquem potencial elevado para dispersão de fauna subterrânea (sistema cárstico).

Aporte de nutrientes da cavidade - definir a área necessária para a manutenção do abastecimento trófico da cavidade:

- Quando a água for agente importante de aporte de recursos:
 - Considerar a caracterização e delimitação do sistema cárstico (ou sistema subterrâneo) no qual está inserido o empreendimento;
 - Interferências (empreendimento) à montante do habitat (incluindo áreas de recarga do sistema hidrológico) têm potencial para afetar a área de influência do patrimônio espeleológico (ecossistema).
- Quando troglóxenos forem agentes importantes de aporte de recursos:
 - Considerar os troglóxenos de maiores áreas domiciliares;
 - Considerar a área domiciliar de morcegos (e/ou outros vertebrados, como andorinhões) de acordo com: (1) as espécies presentes na cavidade, (2) determinadas na literatura ou (3) estudo realizado pelo empreendedor. Na ausência de dados, trabalhar com aproximação de acordo com dados disponíveis para espécies aparentadas e com mesma dieta (utilizar sempre as maiores áreas);
 - Referências:
 - BERNARD , E. & B. FENTON, 2003. Bat mobility and roosts in a fragmented landscape in central Amazônia, Brazil. *Biotropica*, Storrs, 35(2): 262-277.

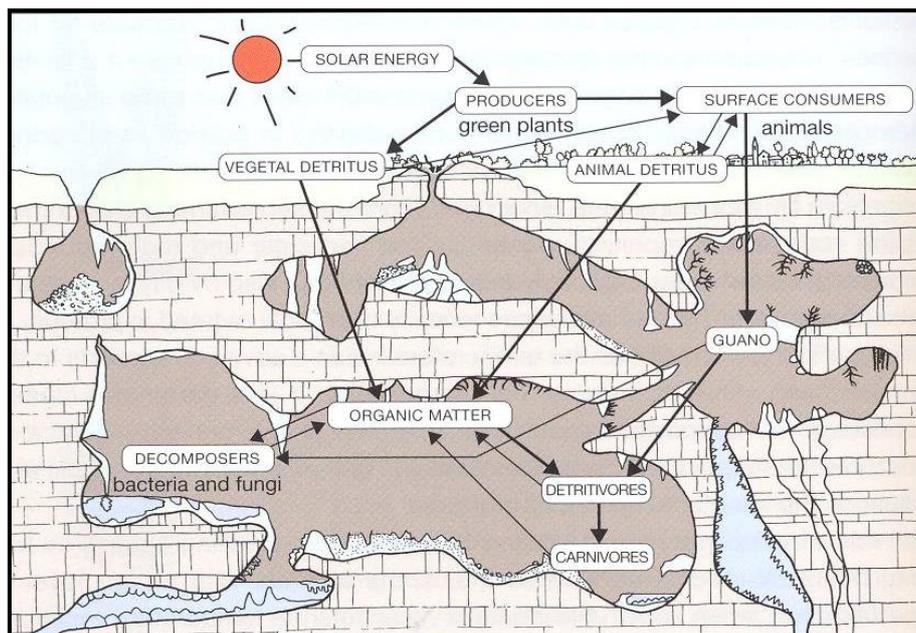
- BIANCONI, G.V.; S.B. MIKICH & W.A. PEDRO. 2004. Diversidade de morcegos (Mammalia, Chiroptera) em remanescentes florestais do município de Fênix, noroeste do Paraná, Brasil. *Revista Brasileira de Zoologia* 21 (4): 943-954.
- ESBÉRARD, C.E.L. 2003. Diversidade de morcegos em uma área de Mata Atlântica regenerada no sudeste do Brasil (Mammalia: Chiroptera). *Revista Brasileira de Zoociências* 35(2): 189-204
- TRAJANO, E. 1995. Protecting caves for bats or bats for the caves? *Chiroptera Neotropical*, 1(2): 19-22.

- Na ausência de morcegos e havendo outros troglóxenos aplicar métodos específicos para o grupo.

Contribuição de acidentes no aporte trófico da cavidade - se o estudo de caracterização da caverna indicar que organismos acidentais constituem fonte importante e regular de recursos tróficos, para a delimitação da área de influência da cavidade devem ser consideradas áreas epígeas contínuas compatíveis com a manutenção de comunidades fontes desses organismos.

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. (Prof. Dr. Rodrigo Lopes Ferreira – UFLA, apresentação em 15/04/13).

Contribuição de sistemas radiculares no aporte trófico da cavidade - nos casos em que sistemas radiculares constituírem elementos importantes no aporte de recursos tróficos, o estudo deve incluir a determinação das espécies no meio epígeo, sua distribuição acima do sistema subterrâneo, bem como sua bionomia (incluindo eventual dependência em relação a polinizadores e dispersores específicos). Estes aspectos devem ser considerados para a delimitação da área de influência da cavidade.



Fluxo de energia: aporte de nutrientes: Circulação de água, Troglóxenos, Acidentais.

4. CONSIDERAÇÕES GERAIS PARA O ESTUDO DOS ELEMENTOS FÍSICOS DO PATRIMÔNIO ESPELEOLÓGICO

- a) Os estudos espeleológicos devem ser elaborados de forma integrada aos demais estudos ambientais no processo de licenciamento ambiental.
- b) Os componentes e processos da cavidade devem ser caracterizados observando suas relações mútuas e as relações com componentes e processos externos.
- c) A delimitação e caracterização do sistema cárstico (ou sistema subterrâneo) e suas feições morfológicas subsidiarão a prospecção espeleológica e de feições exocárstica não identificáveis com métodos cartográficos.
- d) Para a definição da área de influência de cavidade natural subterrânea, recomenda-se realizar estudos temáticos integrados ao diagnóstico ambiental do empreendimento para:
 - Compreender a situação da cavidade na estrutura morfodinâmica local e regional. Individualizar (reconhecer, descrever e quantificar) subsistemas nos contextos de recarga/absorção, escoamento/transmissão e descarga;
 - Delinear padrões territoriais por meio de ferramentas de análise espacial digital e estudos hidrogeológicos;
 - Mapear e caracterizar as unidades estratigráficas relacionadas com o desenvolvimento da cavidade;
 - Caracterização estrutural;
 - Descrição e caracterização dos sistemas deposicionais da cavidade (clásticos e químicos);
 - Caracterização das feições exocársticas e suas relações com a cavidade;
 - Caracterização morfogenética da cavidade;
 - Caracterização hidrodinâmica e hidroquímica de sistemas hidrológicos relacionados à cavidade(s);
 - Análise dos parâmetros meteorológicos das áreas externas com séries históricas das estações mais próximas.
 - Identificação da suscetibilidade à erosão nas áreas próximas ao patrimônio espeleológico e que apresentem potencial de risco à sua integridade;
 - Identificar e descrever os impactos negativos potenciais, de cada fase do empreendimento (planejamento, implantação, operação e desativação), para a área de influência da caverna. Proceder à análise conclusiva acerca dos impactos sobre os atributos ambientais relevantes à área de influência (meio físico, biótico e sócio-econômico) e sua capacidade de tolerar ou não essas interferências;
- e) Como resultado dos estudos sobre os elementos abióticos do Patrimônio Espeleológico orienta-se que sejam apresentados os seguintes produtos, em escala de detalhe que permita sua visualização:
 - Todos os estudos e levantamentos para a definição da área de influência de forma contextualizada, com tabelas, gráficos e mapas, impressos e em formato digital, geoespacializados e respectivos dados brutos.

- Polígono sugerido para a delimitação da área de influência de cada cavidade identificada e sua relação com as demais cavidades e respectivas áreas de influência, de maneira a permitir a compreensão da área de influência sobre o patrimônio espeleológico em razão da instalação e operação do empreendimento.

5. ORIENTAÇÕES E RECOMENDAÇÕES GERAIS

- a) Recomenda-se que as diretrizes e orientações ora apresentadas sejam adotadas antes da emissão da licença prévia. Para a regularização de empreendimentos já instalados ou em outras fases do processo de licenciamento, o órgão ambiental competente avaliará a sua aplicação caso a caso.
- b) A avaliação dos critérios sugeridos e sua integração com os demais estudos ambientais do empreendimento/atividade visam fundamentar a definição das áreas de influência sobre o patrimônio espeleológico e contribuir para a avaliação dos impactos ambientais associados.
- c) Poderá haver diferentes traçados (temáticos) de área de influência. No âmbito do ordenamento, regras específicas podem incidir sobre cada um desses traçados temáticos.
- d) Recomenda-se que após a delimitação da área de influência sobre o patrimônio espeleológico, o órgão ambiental solicite ao empreendedor sua demarcação em campo e a respectiva averbação em cartório, quando viável, bem como que comunique aos demais responsáveis por imóveis limítrofes à área de influência sobre o estabelecimento desta e eventual sobreposição, mencionando ainda a legislação relacionada.
- e) Das diferentes “áreas de influência temáticas”, interessa ao processo de licenciamento o traçado daquela que está efetivamente sujeita a determinado impacto da atividade licenciada, ou seja, a interseção entre:
 - Áreas de influência da caverna (temáticas), com respectivos graus de fragilidade/vulnerabilidade; e
 - Áreas de alcance de cada tipo de impacto previsto, sua extensão e magnitude (áreas de influência da atividade/empreendimento).
- f) E ainda, o estabelecimento de medidas de proteção e monitoramento que impeçam impactos negativos nocivos à área de influência de caverna, como por exemplo:
 - Estabelecer propostas de controle (preventiva ou corretiva), visando à garantia da integridade e da continuidade dos processos físicos e biológicos da caverna e de sua área de influência;
 - Elaborar plano de monitoramento sempre que necessários, visando à coleta de dados, estudo e acompanhamento contínuo e sistemático das variáveis envolvidas na área de influência, com o objetivo de identificar e avaliar - qualitativa e quantitativamente - as condições dos processos físicos e biológicos em um determinado momento, assim como as tendências ao longo do tempo.
- g) O órgão ambiental poderá subsidiar as demais instituições responsáveis pela elaboração de regulamentos sobre o uso e ocupação do solo, tais como Plano Diretor e Zoneamento Ecológico Econômico, em regiões onde forem delimitadas áreas de influência sobre o patrimônio espeleológico.

6. Referências Bibliográficas

BERBERT-BORN, M. L. C. 2010. Instrução Normativa MMA 2/09 - Método de classificação do grau de relevância de cavernas aplicado ao licenciamento ambiental: uma prática possível? Espeleo-Tema, São Paulo, v. 21, p. 67-103.

BRASIL. Decreto 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. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1990-1994/d99556.htm>. Acesso em: 04/08/2014.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Instrução Normativa nº 2, de 20 de agosto de 2009. Diário Oficial da União, Brasília, 21 de agosto de 2009, Seção 1, nº 160, p. 68-71.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (Brasil). Resolução nº 347, de 10 de setembro de 2004. Dispõe sobre a proteção do patrimônio espeleológico. Diário Oficial da União, Brasília, 13 de setembro de 2004, Seção 1, n. 176, p. 54-55.

FERRARI, J. A. 2009. A Dinâmica da drenagem subterrânea nos planaltos cársticos do rio Betari Vale do Ribeira - SP. Processo FAPESP - 2009/05115-5.



MINISTÉRIO DO
MEIO AMBIENTE

